

## آلية تحمل النبات لشد الملوحة

مصطفى جمال الخفاجي

مدرس مساعد

مدحت مجيد الساهوكي

أستاذ متمرس – تربية النبات

elsahookiemeritus@yahoo.com

قسم المحاصيل الحقلية – كلية الزراعة – جامعة بغداد

## المستخلص

تعيش في بعض البيئات الملحية في العراق وبعض دول العالم نباتات متحملة للملوحة. يمكن الاستفادة منها بإكثارها وزراعتها بالأراضي المتأثرة بالملوحة لتوفير أعلاف أو مسطحات خضراء أو أحزمة خضراء للمحافظة على البيئة. أما بالنسبة لمحاصيل الحقل والخضر فإنها لازالت تعاني من قلة عدد الأصناف المستنبطة منها والمتحملة للملوحة فعلا. ربما يعود ذلك إلى صعوبة آلية الاستنباط من جهة، وقلة الإقبال على شراء بذور تلك الأصناف من جهة أخرى. تسبب ملوحة التربة أو ماء الري إعاقة امتصاص بعض العناصر من قبل النبات وإذا ازداد امتصاص الأملاح فإنها تسبب التسمم الأيوني للخلية، كذلك تسبب زيادة الأملاح قلة امتصاص الماء من قبل النبات بسبب ارتفاع أزموزية ماء التربة. تتميز النباتات النامية في البيئات الملحية بصفات مظهرية وكيميائية وتشريحية ووظيفية تختلف بها عن النباتات المنزرعة. كذلك تختلف آلية تحمل شد الملوحة في النباتات المنزرعة بحسب أنواعها وأجناسها النباتية. تتضمن تلك الآليات واحدة أو أكثر من النقاط التالية وهي عدم السماح لأيونات الأملاح بالدخول إليها، أو مقدرتها على طردها إلى الفجوات أو المسافات البينية. إن ذلك يعود لوجود واحدة أو أكثر من آليات تحمل الملوحة، وهي أنظمة Proteomic أو Metabolomic أو Transcriptomic أو Genomic. إن من بين أبرز أجزاء الخلية في التعامل مع شد الملوحة هو غشاء البلازما، فيما نجد أن من بين أبرز المركبات هي البروتينات. تقوم بعض هذه البروتينات ولاسيما تلك التي ترتبط مع مادة DNA، أما بتقليل ضرر الملوحة وتقليل إنتاج ROS أو بالسماح لجزء منها ثم القيام بإصلاح الضرر بالتخلص من أضرار ROS وإعادة تركيب البروتينات التي تجمعت أو انحلت نتيجة الشد. إنه وفي كلتا الحالتين تلعب ظاهرة فوق الوراثة دورا هاما وأساسيا في آليات التحمل والتي لا بد من دراستها وتشخيصها لفهمها والعمل بمضمونها لدى التعامل مع برامج دراسة تحمل النباتات لشد الملوحة. تميزت ثلاثة صفات في الشوفان بنسب تغييرها الوراثي إلى البيئي في تحملها لشد الملوحة، وهي معدل وزن الحبة وعدد السوق في المتر المربع والأيام اللازمة للنضج. عليه نوصي بدراسة تحمل الملوحة لأصناف نوع معين عبر ثلاث مراحل أساسية هي الإنبات والبزوغ ثم التفرع والاستطالة ثم التزهير والنضج، وذلك لأن لكل مرحلة جيناتها الخاصة.

الكلمات المفتاحية: فوق الوراثة، مثيلة DNA، تغاير وراثي وبيئي.

The Iraqi Journal of Agricultural Sciences – 45(5): 430-438, 2014 Elsahookie &amp; Al-Khafajy

## MECHANISM OF PLANT SALINITY STRESS TOLERANCE

M. M. Elsahookie

Professor Emeritus - Plant Breeding

Dept. of Field Crop – Coll. of Agric. – Univ. of Baghdad

elsahookiemeritus@yahoo.com

M. J. Al-Khafajy

Assist. Instructor

## ABSTRACT

Halophytes grown in some saline areas in Iraq and other countries could be propagated to be grown as green areas, green belts and for fodder. Field crops still suffer from low number of released cultivars tolerant to salinity stress. This could be attributed to difficulties in their breeding techniques and to low handling of such cultivars in the markets. Soil and water salinity cause osmosis to the plants, nutrient imbalance and cell toxicity. Halophytes are characterized by morphological, histological, chemical and physiological traits different from those in cultivated crop cultivars. Accordingly, the mechanism of salt tolerance between these two groups of plants will be different. Some of these mechanisms is prevention of some ions to be absorbed by plant and/or translated, compartmentation of ions in the cell vacuole on apoplast, and the ability of plants to survive well under salinity stress due to high ability of osmotic adjustment. The latter is considered as the best trait. However, the mentioned traits of plant salt tolerance are directly related to one or more of mechanisms; proteomic, metabolomics, genomic and/or transcriptomic. Plasma membrane, aquaporins, proteins and sugars are playing prime roles in salt tolerance. Meanwhile, DNA-methylation, histone modified and RNAi have another dimension beside genotype genetic background. Low reactive oxygen species (ROS), and/or ROS damage repair are importance in many crop species to be salt tolerant. Results of molecular analyses revealed that epigenetics plays an important role in salt stress tolerance. It was found in oats cultivars tested under salt stress that grain weight, number of tillers/m<sup>2</sup> and longer time for maturity were positively correlated with plant salt tolerance. These traits could be used in selecting tolerant plants to salt stress.

Key words: Epigenetics, DNA-methylation, genetic and environmental variances.

## المقدمة

في الأراضي الملحية وإكثارها لاستخدامات الإنسان، ولأجل تربية أصناف محاصيل وخضر وأشجار فاكهة وزينة متحملة للملوحة، لا بد من فهم طبيعة آلية التحمل في هذه النباتات والجينات أو المواقع الجينية (QTL) المسؤولة عنها. إن ذلك يكون بإكثار النباتات الاقتصادية المتحملة للملوحة ونشر زراعتها للاستفادة من وقودها أو للرعي أو للزينة أو للحفاظ على بيئة حضارية للإنسان. كذلك يمكن استنباط أصناف محاصيل إما بالانتخاب والتضريب أو بالنقل الوراثي، وبحسب حالة شد الملوحة الذي يتحملة نبات ذلك النوع من المحاصيل.

## الماء والملوحة

تختلف النباتات في كمية الماء التي تحتاجها خلال موسم نموها. تقدر كمية الماء اللازمة لإكمال دورة حياة معظم النباتات الحولية المزروعة ما بين 300-1800 ملم (3). تتحمل الكمية الواطئة نباتات ذات موسم قصير مثل الدخن (*Panicum miliaceum*) نتيجة قصر دورة حياته أو نباتات ذات مساحة ورقية مختزلة ذات طبقة جيدة من الكيوتكل وغيرها من التحوارات مثل الذرة البيضاء (*Sorghum bicolor*). أما الكميات العالية (1800 ملم) فعادة يحتاجها نبات طويل الموسم مثل القطن (*Gossypium hirsutum*). إن هذه المياه عندما تعطى للنبات خلال موسم النمو، وهي (هذه النباتات المذكورة) كلها صيفية، فإنها تترك كميات من الأملاح في التربة نتيجة فعل التبخر-نتح، فيزداد تملح التربة مع تعاقب سنين الزراعة، ولاسيما مع مياه ري رديئة النوعية. يصنف بعض الباحثين (7) ملوحة الماء بأن الماء العذب يحوي معدل 0.6 ديسي سيمنز ( $ds.m^{-1}$ ) و 0.6-1.5 هو مح نسبي و 1.5-3.0 مج، و 3-8 معتدل الملوحة، و 8-15 مالح وأكثر من 15 ديسي سيمنز هو عالي الملوحة، أما بالنسبة لتقدير الديسي سيمنز كم يساوي من جزء بالمليون، فإن بعض المراجع (10) وكثير آخرون يجعل كل 625-640 جزء بالمليون يعادل ديسي سيمنز واحد، كذلك فإن كل واحد ديسي سيمنز يعادل 10 مليمول (mM) ( $1 ds.m^{-1} = 10 Mm$ ) (3).

## نباتات متحملة للملوحة

هنالك نباتات مستوطنة في البيئات الملحية، تعيش فيها وتتمو وتكمل دورة حياتها بصورة طبيعية، ويطلق عليها

تعيش مجموعة كبيرة من النباتات العشبية الحولية والمعمرة، والشجيرات والأشجار في بيئات ملحية، وتكمل دورتها بصورة جيدة من دون ظهور أعراض ضرر عليها. إن ذلك يعود إلى طبيعة جذر وساق وأوراق وأزهار تلك النباتات، وطبيعة الوظائف التي تقوم بها خلايا وأنسجة تلك الأعضاء وتحت ظروف الشد الملحي، وهي كلها محكومة وراثيا بأعداد من جينات معينة تمتلكها هذه النباتات. إن الطبيعة الجزيئية لجينوم هذه النباتات تكونت نتيجة التطور عبر مئات وآلاف السنين تحت شتى الظروف القاسية من عوامل النمو. إن المساحات المتأثرة بالملوحة في العالم اخذت في الزيادة، إذ تشكل اليوم نسبة ما بين 20-50% من الأراضي الزراعية سواء كانت اروائية أو ديمية (10)، إذ تزداد مع شحة المياه وزيادة تملحها ولاسيما مياه البحيرات العذبة والآبار. إن ذلك من دون شك مرتبط بظاهرة السخونة الكونية التي ادت وتؤدي إلى ارتفاع معدل درجة حرارة كوكب الأرض في عدة مناطق في العالم. يؤدي هذا الارتفاع في درجات الحرارة إلى زيادة معدلات التبخر-النتح، فتزداد ملوحة المياه والتربة الزراعية، ويتكرر الري بمثل هذه المياه الرديئة النوعية يزداد تملح الأرض الزراعية. تقدر مساحة اليابسة على كوكب الأرض بحدود 13.2 بليون هكتار، منها حوالي 7 بليون هكتار قابلة للزراعة، فيما يزرع منها حوالي 1.8 بليون هكتار فقط (10) تروى منها حوالي 17% وتنتج معدل 30% من مجموع الغذاء. عليه، فإن مجال التوسع الأفقي في الأرض الزراعية متوفر من حيث الأرض، لكنه غير متوفر بالضرورة من حيث المياه الصالحة للزراعة. تقدر نسبة الماء في البحار والبحيرات من مجموع الماء الكلي على سطح الأرض بحدود 97.4%، و 2% تلوج في القطبين وقمم الجبال و 0.6% مياه عذبة صالحة للاستخدام (ماء أنهار وأرضي)، منها (0.6%) حوالي 98% جوفية، ويبقى حوالي 0.01% من مجموع الماء الكلي صالح لاستخدامات الإنسان (9)، وأن هذه النسبة هي بحدود 475 مليون كم<sup>3</sup>، فيما قدرها آخرون (6) أنها بحدود 1386 مليون كم<sup>3</sup>. إن ذلك يوحي أن كمية الماء محدودة بالنسبة للمساحات المزروعة، غير أن الإدارة الجيدة لمصادر المياه تضمن في الأقل زراعة ضعف المساحات المزروعة اليوم. هذا ولأجل الاستفادة من أنواع وأجناس النباتات النامية

5000 غدة في السنتيمتر المربع من الورقة (10). إن الذي يهمننا هنا هو آلية التحمل في النباتات المنزرعة، لأن هذه النباتات المتحملة للملوحة (Halophytes) فيها تحورات عديدة في الأوراق والجذور والسيقان تختلف عما موجود في النباتات المنزرعة والتي تحتاج إلى دراسة خاصة يتمكن منها الباحثون من تشخيص تلك الآليات، وتحديد الصفات الحقلية المرتبطة وراثيا بآلية التحمل في البعض منها.

#### تأثير الملوحة في وظائف وشكل النبات

تؤثر الملوحة في شكل خلايا النبات، وكذلك مظهر النبات ومعدل تنفسه والتمثيل الكربوني فيه وإنتاجية المادة الجافة في وحدة المساحة. بشكل عام، تصغر خلايا جذر النبات وأوراقه وسوقه عندما ينمو في الوسط الملحي. كذلك جدران الخلايا هي الأخرى تتضرر بالشد الملحي، إذ يزداد تثخن جدران الخلايا وتميل نحو التصلب، أي إنها تكون أقل مرونة (Plasticity) وأكثر صلابة (Rigidity) نتيجة فعل تجمع الأملاح في الخلايا، وكذلك بعض المركبات مثل Glucan. عليه، فإن الخلايا تكون جدرانها أكثر صلابة لدى تعرضها لشد الأملاح. لقد لوحظ مثل هذا في كل من خلايا نبات شوك الشام (*Prosopis alba*) والذرة البيضاء (*Sorghum bicolor*) الناميين تحت شد الملوحة. فضلا عن ذلك، فإن بعض الخلايا قد تقوم بتجميع حبيبات النشا والدهون في الكلوروبلاست. في الوقت نفسه، فإنه لأجل التخلص من التركيز العالي لأيونات الصوديوم بالذات، فإن فجوات الخلية تبدأ بزيادة حجمها حتى تحتل حيزا كبيرا من سايتوبلازم الخلية، وذلك لتجمع أكبر قدر من الأملاح. أما بالنسبة للمركبات المختلفة الموجودة في الخلية، سواء من الهرمونات أو مركبات التمثيل، فإنها هي الأخرى تتأثر سلبا أو إيجابا. لقد لوحظت أنشطة كثيرة لزيادة تصنيع ABA و SA و IAA والأثيلين في النباتات المتحملة للملوحة والنامية تحت شد الملوحة، وذلك في آلية لحماية أزموزية الخلايا من جهة (Osmoprotectants) وإصلاح ضرر الملوحة (Salinity Damage Repair) من جهة أخرى. قام العديد من الباحثين في العالم بمعاملة النباتات بمثل هذه الهرمونات النباتية لأجل دراسة طبيعة سلوك هذه النباتات لتحمل الملوحة، غير أن فعل هذه المركبات عندما تكون داخلية التصنيع (Endo-genous) ليس مثلما تكون خارجة عن النبات (Exo-

Halophytes). تنمو في البيئة العراقية عدة نباتات متحملة للملوحة بدرجات متفاوتة ويمكن الاستفادة منها لعدة أغراض. إن من بين تلك النباتات ما يعود إلى الأجناس *Shanginia* و *Imperata* و *Cynodon* من النباتات الحولية أو المعمرة، أما من بين الشجيرات فربما أهمها النباتات التابعة لجنس *Tamarix* التي تنتشر في عدة مواقع وسط وجنوب وغربي العراق، ومن الأشجار النباتات التابعة للجنس *Casuarina* فضلا عن أشجار أخرى (1). ذكر بعض الباحثين (12) أن بعض هذه الأجناس ومن بينها *Tamarix* تتحمل ملوحة تربة تصل ما بين 40-48 ديسي سيمنز، وربما أعلى من ذلك في بعض المناطق وذلك بحسب شدة الرياح ودرجة الإشعاع ووفرة الماء ودرجة حرارة الجو وغيرها من عوامل النمو.

#### أضرار الملوحة ومراحل النمو

يمكن إيجاز ضرر الملوحة على النبات بالآتي:

1. إعاقة امتصاص بعض العناصر الأساسية لنمو النبات، بسبب وجود أيونات بعض عناصر الأملاح ولاسيما أيونات الصوديوم.
  2. التسمم الأيوني للخلية نتيجة تجمع معدلات عالية من الصوديوم والكلور والكبريتات فوق طاقة تحمل خلية نبات ذلك النوع.
  3. قلة امتصاص الماء بسبب الشد الأزموزي المسلط على جذر النبات النامي في الوسط الملحي العالي.
  4. التسمم الوراثي (Genotoxic) إذ إنه بزيادة تركيز الأملاح في سايتوسول الخلية لحد معين يتحطم DNA الخلية وتموت حالاً.
- أما مراحل نمو النبات فهي الأخرى مختلفة التحمل وبحسب ذلك النوع من النباتات. يمكن إيجاز تلك المراحل بأنها:
1. الإنبات والبروغ.
  2. البادرات والتفرع.
  3. الاستطالة والتزهير والاختصاص.
- إن من بين المشاكل التي يواجهها مربي النبات إذا حصل على نبات متحمل للملوحة في مرحلة معينة، فليس بالضرورة أن يكون متحملاً في المراحل اللاحقة، وذلك لأن كل مرحلة لها جينات معينة للتحمل بآلية معينة، وبذا لا بد من اختبار التحمل في المراحل الأخرى. تمتلك النباتات الملحية الغدد الملحية (Salt Glands) قد يصل عددها ما بين 600-

3. مقدرة الخلايا على إزالة السمية (Detoxification) الناتجة من تجمع الأملاح.

4. مقدرة الخلايا على تنظيم النمو تحت شد الملوحة، عن طريق حماية نفسها.

أوضح العديد من البحوث المطبقة على هذا الجانب أن غشاء البلازما (Plasma Membrane) له دور فاعل في الحفاظ على مرونته (Plasticity) تحت الشد، وذلك يضمن التنافذ الطبيعي للماء والأيونات بين الخلايا، ومنع الأيونات الضارة من إلحاق الضرر بالخلايا، ولاسيما الجدار الداخلي (Tonoplast) للساييتوبلازم والفجوات، وكذلك مقدرة الخلية على زيادة حجم الفجوات واحتجاز (Compartmentation) أيونات الصوديوم بشكل خاص. تكون الخلية في هذه الحالة بمنأى عن تأثير ضرر أيونات الصوديوم لأنها انتقلت من ساييتوسول الخلية إلى داخل الفجوة المحاطة بجدار. إن ذلك يؤدي إلى حالة ثبات الخلية في وظائفها تحت الشد، إذ يحدث واحد أو أكثر من الآتي:

1. تقييد أو استبعاد أيونات الصوديوم عن ساييتوسول الخلية بواسطة غشاء البلازما.
2. حبس أيونات الصوديوم داخل الفجوات.
3. طرد أيونات الصوديوم من الخلية إلى المسافات البينية (Apoplast).

إن ذلك كله مرتبط بجينات عديدة من بين أبرزها ما يطلق عليه SOS (Salt Overly Sensitive Proteins)، وهي جينات بروتينات متخصصة بالتحكم بأيونات الأملاح. هذه الجينات (مواقعها) تضم جينات عدة لكل منها فعل معين مع الأملاح. تلعب أيونات الكالسيوم دورا هاما في إيعازات (Signaling) الخلية في النباتات النامية تحت شد الملوحة، غير أن خلايا النبات لا تتحمل إلا نسبة محددة من الكالسيوم فيها، بتعبير آخر أنه إذا زاد الكالسيوم عن حد معين في الخلية فإنه يصبح ساما لها (8) وذلك بسبب علاقة أيون الكالسيوم مع تحولات الطاقة، ولاسيما ATP والكالمودولين. من ذلك نفهم أن هنالك إيعازات تحدث في الخلية من دون تأثير DNA أو RNA!! مثل ذلك ما يقوم به ارتباط جزيئة CH<sub>3</sub> مع DNA الخلية أو أستلة الهستون (Histone acetylation) أو حتى أية تحورات في الهستون (Histone Modification). هنالك عناصر أصلها مادة DNA

، وبذا فإن إضافة هذه المركبات قد تحافظ على إكمال دورة حياة النبات، لكنها لا تزيد من حاصله تحت شد الملوحة. كذلك فإن الأحماض الأمينية والبروتينات كانت هي الأخرى تظهر بتركيز أكثر من الاعتيادي تحت شد الملوحة أو الجفاف أو الحرارة العالية مثل المسماة بروتينات الصعقة الحرارية (Heat Shock Proteins = hsps) التي تقوم بحماية النبات من جهة (من ضرر الحرارة العالية) وإصلاح البروتينات الأخرى المتضررة بالحرارة التي أصبحت متكتلة (Aggregated). إن مثل هذه البروتينات تقوم بإعادة ترتيب البروتينات (Refolding) المتكتلة أو التي انحلت (Dena-tured) بالحرارة (4). هنالك مركبات أخرى مثل السكريات والدهون والأحماض العضوية مثل glycine betaine و proline betaine و alanine betaine و polyols وغيرها، أن هذه المركبات وأخرى عديدة مثلها معرضة للزيادة أو النقصان في النبات لدى تعرضه للشد اللاحيوي. تلعب هذه المركبات دورا هاما في بعض الأنواع النباتية في حماية الخلايا من ضرر الشد، ولها آليات في التحول من صيغة لأخرى بفعل أنزيمات معينة لكل منها، وذلك كله يقع تحت الاصطلاح Metabolome. إن من الأمور التي لا بد من معرفتها أن هذه المركبات لها دورها من خلال تداخلها مع مركبات الطاقة (ATP و NADPH)، فإن كانت إيجابية حافظت على معدل الطاقة في النبات، وإن كانت سلبية، مثل عدم مقاومة تخليق مركبات الأوكسدة (ROS)، فإن نمو النبات سوف يضعف تحت الشد المذكور. كذلك فإن الملوحة تسبب قلة انقسام الخلايا وصغر حجمها، وصغر حجم الثغور فقلة المساحة الورقية للنبات، ومن ثم انخفاض معدل التمثيل الكربوني للنبات النامي تحت الشد، فقلة حاصله (4).

#### آلية تحمل شد الملوحة في النبات

تختلف نباتات الأنواع والأجناس النباتية في آلية تحملها لشد الملوحة بحسب ما لديها من مجموعة الجينات المسؤولة عن صفات نباتية مظهرية وتشريحية وكيميائية ووظيفية، وهذه المجاميع الأربع لها مجاميع خاصة من الجينات ومواقع الصفات الكمية (QTL) تحكمها، ويمكن إيجاز ذلك بالآتي:

1. ثبات خلايا النبات (Homeostasis) في وظائفها تحت الشد.
2. مقدرة الخلايا على عدم حدوث ضرر من شد الملوحة.

وذلك بسبب صغر حجم الجينوم فيه. لقد شجع هذا الباحثين في العالم أن يدرسوا بقية المحاصيل بمثل ما درست به وظائف وأعضاء نبات إذن الفأر. كذلك كانت الزراعة النسيجية مرتبطة بدور بارز مع تلك الأبحاث بعلاقتها بإكثار نباتات بهذه الطريقة واختبارها لاحقاً، ودراسة تأثيرات فوق الوراثة فيها، واعتماد تغيّرات Somaclonal التي يحصلون عليها بهذه الطريقة. قام بعض الباحثين باستخدام خلايا مفردة من ناتج الزراعة النسيجية ودرسوها في مغلقات مائية وإنتاج Haploid ثم معاملته بالكولشيسين لإنتاج Doubled Haploid تجنباً لنباتات أصناف متباينة المواقع الجينية (Heterozygous) وعلى الأقل في نباتات ذاتية التلقيح، وكذلك لسلاسل خطية التلقيح. لقد ذكر Jenks وآخرون (8) إن عدد QTL لطبيعة التفرعات في نبات الرز كانت 29 موقعا ولصفات الجذر 39 موقعا، ولصفات الأفرع 42 موقعا و10 مواقع لصفات الأوراق و14 موقعا لموعد التزهير و48 موقعا لمكونات حاصل البذور. إذا أخذنا بنظر الاعتبار أن كل موقع قد يضم ما بين 100 إلى 300 زوج من الجينات، فإن المحصلة النهائية لطبيعة تداخلات هذه الجينات ستكون كبيرة جداً، الأمر الذي يدعو إلى تضيق دائرة البحث وجعل هدف البحث يتركز على مجموعة أو بضع مجاميع منها فقط. كذلك لابد من ذكر جينات أخرى مسؤولة عن صفات أخرى في النبات تتعلق بمقدرته على سحب الماء تحت شد أزموزي معين، ومقدرته الوراثية على استغلال ذلك الماء وعدم فقده بسهولة لأجل اتمام العمليات الوظيفية المختلفة داخل خلايا وأنسجة النبات. تختلف النباتات في حاجتها إلى كمية الماء لإكمال موسم نموها، إذ تتراوح تلك الكمية بين 300 ملم إلى 1800 ملم (1) وبذا فإن هذه النباتات ستكون مقدرتها متباينة جداً في الآليات المذكورة لكونها متباينة وراثياً ومظهرياً ووظيفياً وكيميائياً وتشريحياً في امتصاص الماء وحفظه.

#### أموذج لتحمل الشوفان لشد الملوحة

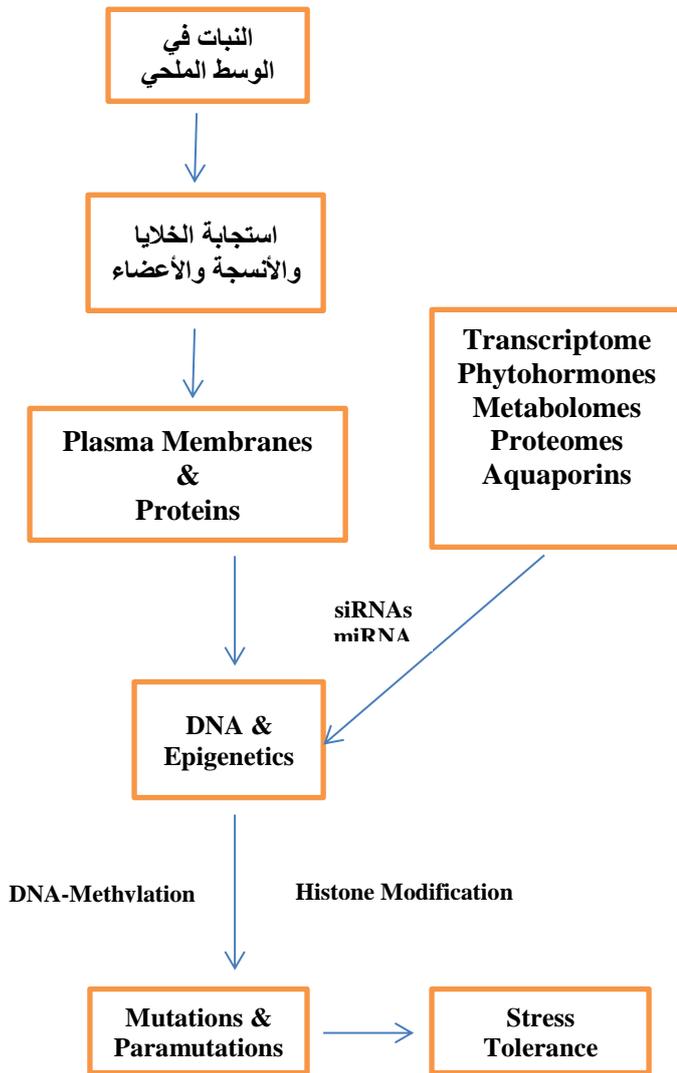
لأجل معرفة تحمل بعض أصناف الشوفان ( *Avena sativa* ) لشد الملوحة، ولكون هذا المحصول غير معروف لدينا في تحمل لشد الملوحة، فقد اختبرت ثلاثة أصناف منه تحت اثنين من شذود الملوحة  $1.5 \text{ ds.m}^{-1}$  (ماء بئر) و  $6 \text{ ds.m}^{-1}$  (ماء مملح بكلوريد الصوديوم) (2). كان ذلك في

موجودة بأعداد كبيرة في السايكوسول مثل TE و IR و small RNAs أو microRNA يطلق عليها siRNAs وهي بطول 21-25 nt تقوم بأدوار فعالة تحت الشد. إن ذلك كله يدخل في موضوع فوق الوراثة (Epigenetics) وما يترتب عليها من صفات موروثية إلى الأجيال اللاحقة من دون تغيير عدد أو تتابع قواعد DNA!!.

#### QTL وتحمل النبات لشد الملوحة

أصبح هذا الموضوع من بين أبرز المواضيع الساخنة في آلية تحمل النباتات لشذود الملوحة والجفاف والحرارة العالية وغيرها، وفي نباتات المحاصيل والخضر والأشجار. عندما ننظر إلى هذا الموضوع ونعلم أن آلية التحمل للشد هي متلازمة مركبة (Complex Syndrome) ناتجة من تداخلات لأعداد كبيرة من الجينات (مئات أو آلاف) تتحكم بعشرات الصفات المتباينة التأثير ومئات المركبات في النبات، فإن الصورة تكون أوضح للباحث لكي يسلك الطريق السليم أمام تشخيص بعض الصفات أو بعض المركبات المرتبطة بآلية التحمل وعلاقتها بذلك الموقع (QTL) أو المواقع المسؤولة عنها. هنالك جينات مثلاً تتحكم بهرمونات ABA و SA و IAA والأثيلين وغيرها لها دورها المعلوم والفاعل في تحمل الشذود. كذلك هنالك مجاميع أخرى من الجينات تتحكم بأنواع السكريات أو الدهون أو الأحماض الأمينية أو الأحماض الدهنية أو البروتينات. عليه، فإن عدد التداخلات سيكون كبيراً جداً لأجل الحصول على نباتات أصناف متحملة فعلاً للشد اللاحيوي، وبذا فإن المربي سوف يقتصر في عمله البحثي على الاكتفاء بمجموعة محددة منها تعطيه تحملاً معيناً لشد معين. إن تلك الجينات أو مواقعها لها علاقة مباشرة كذلك بطبيعة الجذر والساق والأوراق والتزهير ونظام القنوات الموصلة للماء (Aquaporins) والتي كلها بالتالي تتداخل بدرجات متباينة في تحمل النبات للشد (4). لقد درس بعض الباحثين في أبحاثهم مثلاً على QTL مسؤولة عن طبيعة الجذر في نبات الرز ( *Oryza sativa* ) وآخرون على QTL الأزهار والخصاب، وآخرون على QTL المساحة الورقية وتحوراتها، وآخرون على طبيعة الطبقة الشمعية التي تغطي أوراق وساق النبات والشعور والشعيرات (Trichomes) التي تغطي أوراق وساق بعض تلك النباتات، خصوصاً نبات إذن الفأر ( *Arabidopsis* )

الأصناف لبعض أنواع المحاصيل تختلف استجابتها في النمو والحاصل بصورة غير خطية أحيانا وذلك لأسباب غير معلومة إلى اليوم، إذ قد تنشط مركبات عضوية أو أنزيمات أو هرمونات نباتية أو بروتينات عند شد ملوحة معين دون آخر، فتختلف الاستجابة. هذا ولأجل الحكم على صنف معين أنه متحمل للملوحة أم لا فلا بد من تحديد مستوى الملوحة أولا ثم تعريف الصنف المتحمل تحت ذلك الشد، كأن نقول أنه ذلك الصنف الذي يعطي معدل 50% في الأقل من حاصله الذي ينتجه في تلك البيئة إذا روي بالماء العادي، وهكذا. يوضح شكل 1 الحالة العامة لتحمل الشد في النبات.



شكل 1. مخطط عام يوضح مراحل عامة لحدوث الاستجابة لشد الملوحة

الصفات المرتبطة بتحمل شد الملوحة

درست في البحث المذكور عن تحمل أصناف الشوفان لشد ملوحة ماء الري، أربع عشرة صفة حقلية لنباتات الأصناف

حقل قسم المحاصيل الحقلية التابع لكلية الزراعة/جامعة بغداد في الموسمين 2011-2012 و 2012-2013. يوضح جدول 1 بيانات حاصل البذور (غم.م<sup>-2</sup>) للأصناف الثلاثة المزروعة تحت نوعين من الماء.

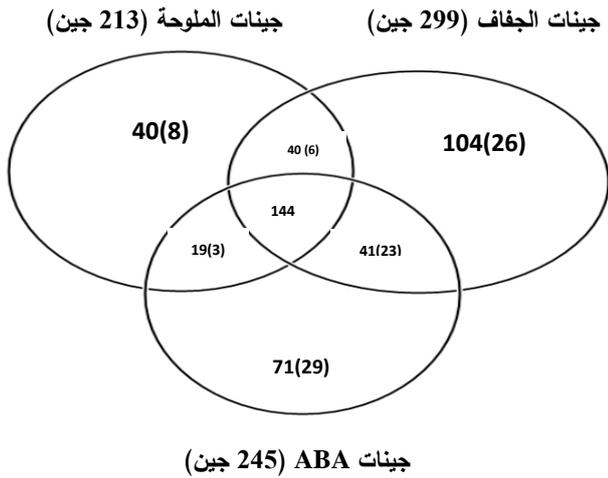
جدول 1. حاصل حبوب (غم.م<sup>-2</sup>) لثلاثة أصناف من الشوفان

تحت تأثير نوعين من الماء (2)

2012-2011				
نوع الماء	الأصناف			المتوسط
	هامل	بمولا	جنزانيا	
مالح	478	435	487	467
عادي	563	477	590	533
أ.ف.م 5%	44			17
المتوسط	521	441	538	
أ.ف.م 5%	36			
2013-2012				
نوع الماء	الأصناف			المتوسط
	هامل	بمولا	جنزانيا	
مالح	426	442	475	448
عادي	631	574	580	595
أ.ف.م 5%	28			14
المتوسط	528	508	528	
أ.ف.م 5%	20			

يمكن ملاحظة أن الصنف بمولا كان أطولها في حاصل الحبوب في السنة الأولى غير أنه لم يختلف معنويا عن الصنفين الآخرين في السنة الثانية. إن ذلك يؤكد حالة عدم الثبات في حاصل حبوب هذا الصنف بالمقارنة مع الصنفين الآخرين اللذين اعطيا حاصلًا متماثلًا في معدل السنيتين، فيما كان الصنف جنزانيا هو الأفضل نسبيًا في حاصل الحبوب تحت شد ملوحة ماء الري. لقد انخفض معدل حاصل حبوب الأصناف الثلاثة في السنيتين لدى ربيها بالماء المالح. كان معدل حاصل الأصناف الثلاثة المروية بالماء العادي 564 غم.م<sup>-2</sup> وانخفض إلى 458 غم.م<sup>-2</sup> تحت الري بالماء المالح. إن ذلك يعطي معدل انخفاض في الحاصل بنسبة 18.8% منسوبًا إلى معدل حاصلها تحت الري بالماء العادي. بتعبير آخر فقد انخفض معدل حاصل الحبوب للأصناف بنسبة 4.2% لكل زيادة ديسي سيمنز واحد في ملوحة ماء الري. إن من بين الأمور التي تجب معرفتها هو هل أن هذا الانخفاض سيكون خطيًا مع زيادة ملوحة ماء الري إلى مستويات أعلى؟ إن ذلك لا يمكن التنبؤ به إلا من تطبيق بحث آخر واعتماد ملوحة أعلى من التي استخدمت في البحث. إن بعض

كذلك مما يجب أن يضعه الباحث في الحساب لدى العمل على مثل هذه المواضيع الهامة هو معرفة طبيعة التداخلات التي تحدث في النبات الواقع تحت الشد. لقد درس Seki وآخرون (11) ما مجموعه حوالي 7000 زوج من الجينات مكلونة من جينوم نبات إذن الفأر، وذكروا أن هناك مجاميع من الجينات (299 زوجاً) تحفزت تحت شد الجفاف و 213 تحت شد الملوحة و 245 تحفزت لحمض ABA. يوضح شكل 2 طبيعة تلك التداخلات المعقدة.



شكل 2. تداخل فعل ثلاث مجاميع من الجينات المتحفزة بفعل شذوذ الملوحة والجفاف و ABA. تشير الأرقام داخل الأقسام إلى الجينات التي تحفزت بخمسة أضعاف فأكثر عن حالتها الاعتيادية بتأثير الشد، فيما تشير الأرقام خارج القوسين إلى عدد الجينات التي تعمل بمفردها مثل 40 و 104 و 71، أما الأرقام داخل قطاعين متداخلين مثل 40 و 19 و 41 فهي جينات تشترك بمجموعتي شد، أما الرقم 144 فهو لعدد الجينات التي تعمل تحت ثلاثة شذوذ متداخلة مع بعضها (Seki وآخرون، 11) بعد مطالعة الشكل ووضع أفكاره في الذاكرة نجد أن تشخيص جينات بعينها مسؤولة بمفردها عن تحمل الملوحة أو الجفاف ونقلها كلها إلى صنف آخر، هو احتمال ضعيف جداً بسبب الأعداد الكبيرة لتلك الجينات، وتداخلاتها مع جينات صفات أخرى، ولصعوبة نقل كافة هذه الجينات بطرائق النقل الوراثي المستخدمة اليوم. عليه، فإن مربي النبات يكتفي بحصوله على صنف أو تركيب وراثي يحوي عدداً من الجينات أو المواقع الجينية المسؤولة عن تحمل الشد، وهكذا بالتضريب والانتخاب يمكن بعد عدة مواسم الحصول على صنف متحمل أفضل للشد. إن زراعة واختبار نباتات الأصناف والأنواع والأجناس تحت واحد أو أكثر من الشذوذ اللاحيوية

من حيث تغيراتها الوراثية المرتبطة بتحمل شد الملوحة، وكذلك التغيرات البيئية لأجل معرفة نسبة التغير الوراثي إلى التغير البيئي لكل صفة. اتضح من التحليل الاحصائي لتلك البيانات أن وزن الحبة كان أفضل الصفات المرتبطة بتحمل شد الملوحة من بين كافة الصفات الأخرى، تلاه في ذلك عدد السوق في المتر المربع (جدول 2).

جدول 2. نسب التغير الوراثي إلى البيئي والتوريث لبعض صفات الشوفان في سنتي البحث (1 و 2)

الصفة	التغير الوراثي/البيئي		h <sup>2</sup> <sub>D.S</sub>	
	1	2	1	2
ارتفاع النبات	1.3	0.1	56.7	39.0
أيام التزهير	6.1	8.9	86.0	90.0
أيام النضج الفسلي	6.7	13.8	87.1	98.0
الوزن الجاف	1.6	2.8	61.0	94.0
ساق م <sup>2</sup>	11.0	15.3	91.6	87.0
راسيم م <sup>2</sup>	3.9	6.9	79.7	83.0
حبة راسيم <sup>1</sup>	2.0	4.8	65.7	62.5
حبة م <sup>2</sup>	0.4	0.5	35.0	32.0
معدل نمو النبات	1.1	0.0	52.9	24.0
معدل نمو الحبة	3.0	8.0	84.8	93.0
أيام امتلاء الحبة	7.2	15.0	88.0	97.0
دليل الحصاد	6.5	5.4	88.0	85.0
وزن الحبة	19.7	8.5	86.8	82.5
حاصل الحبوب	9.8	0.3	35.2	25.0

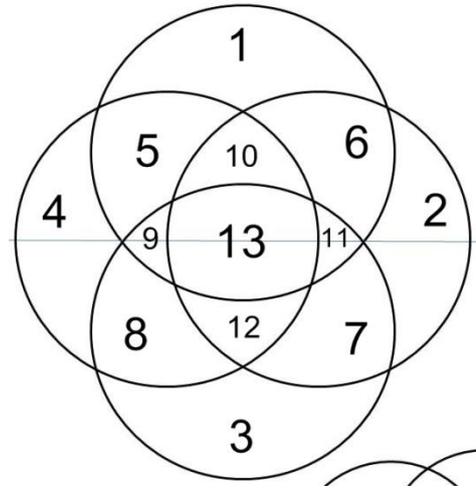
يتضح من بيانات الجدول ومعدل السنتين لنسبة التغير الوراثي إلى البيئي أن وزن الحبة اعطى نسبة 1410% وهو الأعلى من بين الصفات كلها المدروسة في البحث، تلاه في ذلك عدد السوق/م<sup>2</sup> بنسبة 1315% ثم بالمرتبة الثالثة أيام النضج بنسبة 1025%. نجد في بيانات الجدول أن نسبة التوريث بالمعنى الواسع لهذه الصفات كانت بمعدلات تراوحت بين 82.5% إلى 98%، وبمقارنتها مع نسبة التوريث لحاصل الحبوب نجد أنها كانت بحدود 30% لمعدل السنتين. إن ذلك يعطي فكرة عن ثبات مثل هذه الصفات عبر السنين وشد الملوحة لاعتمادها معياراً للتحمل، سواء لمقارنة الأصناف وتشخيص أفضلها أو لاختبار أصناف جديدة منتخبة بعد تضريب أصناف ذات إنتاجية جيدة مع أخرى ذات تحمل جيد لشد الملوحة. استناداً لما ذكرنا في مقدمة هذا البحث عن طبيعة تحمل الملوحة وآليات التحمل المختلفة في النباتات، والبيانات التي تمت مناقشتها عن بعض أصناف الشوفان، يتأكد لنا أن هذه الآلية معقدة وفي نفس الوقت مختلفة من نباتات نوع وجنس إلى نباتات نوع وجنس آخر.

فضلا عن دراسة الصفات الحقلية المعروفة. إن الأفكار والنتائج التي عرضت في هذا المقال دلت على أن موضوع تحمل الملوحة يخضع لآلية معقدة ذات عدة أبعاد. تتميز النباتات الملحية النامية في الطبيعة في بيئات مالحة أنها ذات آلية خاصة في تحملها لتلك الملوحة وتختلف بها عن طبيعة تحمل الملوحة في النباتات المنزرعة. تمتلك النباتات الملحية صفات جذور متعمقة ومتشعبة وأوراقها محورة أو مختزلة أو عصيرية ذات محلول غروي، أو ذات أشواك تغطي الأوراق والسيقان، فضلا عن طبقة كيوتنل سميكة وغدد ملحية في الأوراق، فضلا عن آلية خاصة بعدم تضررها بالأملاح. أما عند العمل على انتخاب أو استنباط أصناف محاصيل منزرعة متحملة للملوحة فلا بد من دراسة صفات معينة ذات تغاير وراثي إلى التغاير البيئي عالي. هذا وفي كافة الحالات لا بد من وضع تعريف للصفة المدروس المتحمل للملوحة، وتحديد درجة تلك الملوحة. هذا وتبقى طرائق النقل الوراثي لتعطينا بعض الأمل مستقبلا لنقل عدة مواقع جينية إلى الصنف الهدف بدلا من نقل موقع واحد أو جين واحد، فيسهل تحقيق الهدف.

#### المصادر

1. Elshahookie, M. M. 1994. Farming on Degraded Lands. Dept. of Field Crops, Coll. of Agric., Univ. of Baghdad. pp. 346.
2. Elshahookie, M. M., N. Younis, and M. Al-Khafajy. 2013. Genetic variation of some oat traits related to water salinity tolerance. The Iraqi J. Agric. Sci. 44(6): 655-669.
3. Elshahookie, M. 2013. Some Environmental Data Concerns Crop Productivity in Baghdad. Dept. of Field Crop, Coll. of Agric., Univ. of Baghdad. pp. 13.
4. Elshahookie, M. M. 2013. Breeding Crops for Abiotic Stress: A Molecular Approach and Epigenetics. Coll. of Agric., Univ. of Baghdad. pp. 244.
5. Elshahookie, M. M. 2014. Number of genes interactive models in plants grown under stress variables. The Iraqi J. Agric. Sci. 45(1): 99-104.
6. Ghassemi, F., A. Jakeman, and H. Nix. 1995. Salinization of Land and Water Resources. Univ. of New South Wales Press Ltd., Canberra, Australia.

سيحدث فيه تداخلات لعدة عوامل، سواء رغب الباحث في ذلك أو لم يرغب. لقد وضع أحد الباحثين (5) معادلة تم فيها حساب عدد التداخلات الجينية التابعة لعدة عوامل شد. إذا أخذنا  $n =$  عدد مجاميع الجينات و  $x = n-1$ ، فإن عدد التداخلات المتوقعة سيساوي  $n^2-x$ . عليه، إذا كان عدد العوامل المدروسة أثنان فقط، فإن عدد التداخلات ثلاثة، وإذا كان العدد ثلاثة عوامل فإن عدد التداخلات سيكون سبعة (شكل 2)، وإذا كان عدد العوامل المدروسة أربعة، فإن عدد التداخلات سيكون 13!! (شكل 3)، وهكذا صعودا.



شكل 3. التداخلات المتوقعة من فعل أربع مجاميع جينية تعمل على الشد في النبات. نلاحظ أن الأرقام من 1-4 تمثل فعل الجينات لمجاميع فردية و 5-8 لتداخلات مجموعتين من الجينات و 9-12 تداخلات لثلاث مجاميع من الجينات، فيما يمثل القطع 13 تداخل أربع مجاميع من الجينات (Elshahookie, 5). إن المعادلة الأخيرة قد اعطت صورة واضحة يمكن للباحث اعتمادها لدى التعامل مع جوانب دراسة التحمل لعوامل الشد المختلفة، ولاسيما إذا زرع محصوله تحت عوامل فيها مستويات مختلفة من ذلك الشد، فإنه سوف يتوصل إلى نتائج دقيقة حديثة تفتح أفقا علميا جديدا أمامه وأمام الباحثين الآخرين المختصين في هذا المجال. إن الأبحاث المطبقة على نباتات مراعي عشبية أو شجيرات لا بد من دراستها، بأن يدرس معدل النمو فيها بحسب مراحل النمو، وحساب مادتها الجافة سواء للنبات أو في وحدة المساحة. أما بالنسبة للنباتات البذرية، فلا بد من دراسة نسبة الاخصاب فيها، ومدى تأثير هذه النسبة بعوامل الشد، ذلك أن عدد البذور للنبات أو في وحدة المساحة أساسي جدا في حاصل البذور، وذلك

7. Hillel, D. 2000. Salinity Management of Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D. C., USA.
8. Jenks, M. A., P. M. Hasegawa, and S. M. Jain (eds). 2007. Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops. Springer Publ., Netherland. pp. 817.
9. Jury, W., and H.Vaux. 2007. The emerging global water crisis: Managing scarcity and conflict between water users. Adv. in Agronomy. 95: 1-76.
10. Lauchli, A., and U. Luttge (eds.). 2004. Salinity: Environment – Plants – Molecules. Kluwer Academic Publ. pp. 552.
11. Seki, M., J. Ishida, M. Narusaka, M. Fujita, T. Nanjo, T. Umezawa, A. Kamiya, M. Nakajima, A. Enju, T. Sakurai, M. Satou, K. Akiyama, K. Yamaguchi-Shinozaki, P. Carninci, J. Kawai, Y. Hayashizaki, and K. Shinozaki. 2006. Monitoring the expression pattern of ca. 7000 *Arabidopsis* genes under ABA treatments using a full-length cDNA microarray. *Funct. Integr. Genom.* 2: 282-291.
12. Zhu, J. 2000. Genetic analyses of plant salt tolerance using *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 124: 941-948.