3. تخفيف إجهاد الملح من خلال استراتيجيات مختلفة في النباتات طورت النباتات أنظمة مرنة للتعامل مع إجهاد الملوحة من خلال التغيير على المستويات المورفولوجية والفسيولوجية والكيميائية الحيوية والجزيئية. يمكن تحقيق تحمل الملح من خلال إدارة محتوى الأيونات السيتوبلازمية، والذي يتضمن استتباب الأيونات وتقسيمها، وزيادة التمثيل الغذائي المضاد للأكسدة، مثل حمض الأبسيسيك (ABA)، زيادة القدرة على إزالة أنواع الأكسجين التفاعلية [57]، تعد العديد من الهرمونات النباتية الذاتية مثل ضرورية في تعديل استجابة النبات لإجهاد الملوحة، وفي إنشاء تحمل أعلى للملوحة [59]، يتم زيادة (BR) والبراسينوستيرويدات تنظيم العديد من الجينات وعوامل النسخ الخاصة بإجهاد الملوحة عند التعرض لإجهاد الملوحة، مما يمكّن النباتات من التكيف مع بيئة إجهاد الملوحة. يُعد تراكم المواد العضوية المذابة المتوافقة، مثل البرولين والسكريات القابلة للذوبان والجليسين بيتايين والبوليولات، أحد أكثر الاستجابات شيوعًا في النباتات المزروعة تحت ظروف الإجهاد الملحي. تعمل هذه المركبات القابلة للذوبان ومنخفضة الوزن الجزيئي كعوامل حماية للتناضح، وتساهم في التعديل الأسموزي داخل الخلايا وإزالة سموم أنواع الأكسجين التفاعلية، مع حماية بنية الغشاء دون الإضرار بعملية الأيض الخلوي [61]. جلايسين بيتاين هو مركب أمونيوم رباعي يتراكم بكثرة استجابة للجفاف والإجهاد الملحي في العديد من النباتات [62]، يتم تصنيع جلايسين بيتاين في البلاستيدات الخضراء، حيث يتراكم للعب دور في التعديل الأسموزي لغشاء الثايلاكويد، وبالتالي الحفاظ على كفاءة التمثيل الضوئي [64]. استجابةً للإجهاد الملحي، يتم تصنيع جلايسين بيتاين في العديد من النباتات لتخفيف الآثار الضارة للإجهاد الملحي للحفاظ على الحالة الأسموزي للخلية. تتم دراسة جلايسين بيتاين على نطاق واسع عن طريق تعديل مساراته الأيضية من خلال الأساليب المعدلة وراثيًا. فإن جين بيتايين ألدهيد ديهيدروجينيز من نبات الملح Suaeda liaotungensis، والذي يشفر إنزيمًا يحول ألدهيد البيتايين إلى بيتايين، يتم التعبير عنه بشكل مفرط في نباتات التبغ المعدلة وراثيًا وقد أظهر تحملًا متزايدًا بشكل كبير للملح [65]. في أرز إنديكا، ويمكن للأرز المعدل وراثيًا تحمل إجهاد الملح Arthrobacter globiformis تم إدخال جين أوكسيديز الكولين من حتى 150 ملي مولار. من المحتمل أن يكون تحمل الملح المرتفع بسبب تحويل وتراكم الجلايسين بيتايين من الكولين المحفز بواسطة أوكسيديز الكولين كتفاعل أكسدة من خطوتين [66]. بصرف النظر عن نجاح النباتات المعدلة وراثيًا في زيادة تحمل الملح، فقد تم أيضًا استخدام تقنيات أخرى. أدى التطبيق الخارجي للجلايسين بيتايين في الفاصوليا الشائعة (Phaseolus vulgaris L.) إلى تقليل امتصاص الصوديوم بشكل كبير، وحفز امتصاص البوتاسيوم وبالتالي الحفاظ على نسبة مرتفعة من البوتاسيوم / الصوديوم، مما عزز تحمل الملح في الفاصوليا الشائعة [67]. أوضحت مجموعة أخرى من العلماء أن التطبيق الخارجي للجلايسين بيتايين في عزز نمو النبات [68]. باعتباره مادة اسمولية متوافقة حيوية ومضاد للأكسدة، تحت ضغط الملوحة ويساعد النباتات في الحفاظ على امتلاء الخلايا. وقد تم تحديد الكمية المرتفعة من محتوى البرولين واستخدامها كعلامة فسيولوجية في استجابة النبات لضغط الملوحة [69]. يتم تنشيط التعبير عن الجينات المشاركة في التخليق الحيوي للبرولين عن طريق ضغط الملوحة، مما يؤدي لاحقًا إلى إنتاج وتراكم البرولين في الخلايا النباتية [70]، إن إنزيم بيرولين-5 كاربوكسيلات سينثيتاز (P5CS) هو إنزيم مسؤول عن تحفيز الخطوة الأولى في التخليق الحيوي للبرولين. إن P5CS1 هو أحد الشكلين المتماثلين لـ P5CS ويلعب دورًا حيويًا في تراكم البرولين الناجم عن ضغط الملح. وقد أظهرت الدراسات أن إخراج P5CS1 في نبات أرابيدوبسيس ثاليانا يؤدي إلى فرط الحساسية لضغط الملح [72]. أدى التطبيق الخارجي للبرولين إلى تقليل التأثيرات المثبطة للملوحة بشكل كبير وتحسين نمو النبات والعائد في ظل ظروف الإجهاد الصحراوي في ظل ظروف الملوحة في الحفاظ على Capsicum annuum L. الملحي [73]. يساعد تراكم البرولين في نبات Pancratium maritimum L. أنشطة الإنزيمات المضادة للأكسدة، وزيادة إنتاج بروتينات الديهيدرين الواقية من الإجهاد وتحسين تحمل الملح [74]. تتكون السكريات القابلة للذوبان بشكل أساسي من الجلوكوز والسكروز والتريهالوز، وهي تشارك في تحمل النباتات للإجهاد الملحي. يحمي التراكم العالي للسكريات القابلة للذوبان الإنزيمات القابلة للذوبان من سمية التركيزات الأكبر من الأيونات غير العضوية داخل الخلايا تحت ضغط الملح [75]. يمكن للسمات المميزة للتريهالوز التي تمكن من قدرة امتصاص الماء القابلة للعكس أن تحمي الجزيئات من التلف الأسموزي [76]. أظهرت نباتات أرابيدوبسيس المعدلة وراثيًا والتي تفرط في التعبير عن جين القمح TaSST المرتبط بالملح محتوى سكر قابل للذوبان أكثر من نباتات أرابيدوبسيس البرية تحت معالجة كلوريد الصوديوم [77]. وعلى الرغم من مشاركة السكريات القابلة للذوبان، تعمل البوليولات أيضًا كمذيبات متوافقة وكاسحات لأنواع الأكسجين التفاعلية. دورًا كبيرًا في التنظيم الأسموزي ويعزز تحمل الملح في النباتات العليا. (2007) أدخل جين مانيتول-1-فوسفات

Summarized by © lakhasly.com

وهو جين يشارك في تخليق المانيتول، وأظهرت نباتات الأرز المعدلة وراثيًا ارتباطًا بين زيادة تحمل .E من (mt/D) ديهيدروجينيز الملح وتراكم المانيتول [78]. فإن معرفة الآليات ذات الصلة بالتناضحات المحددة يمكن أن تكون مفيدة في توليد المحاصيل المقاومة للملح. التوازن الأيوني والتقسيم إلى أقسام يؤثر اختلال التوازن الأيوني الناتج عن الإجهاد الملحي على جوانب عديدة من نمو النبات وتطوره. يتعطل الأيض الخلوي، وبنية الجذور بسبب انخفاض امتصاص العناصر الغذائية المعدنية في ظل ظروف الإجهاد الملحي. فقد تطورت النباتات للحفاظ على التوازن الأيوني داخل الخلايا من خلال التحكم في تدفق الأيونات وتقسيمها لل الإجهاد الملوحة. يشير التوازن الأيوني إلى عملية ديناميكية أساسية في النباتات تتضمن تدرجًا مكلفًا من حيث dealing with الطاقة لامتصاص الأيونات المطلوبة والتخلص من الأيونات السامة. معرضة لتركيزات أعلى من الصوديوم في السيتوبلازم. يحدث امتصاص الصوديوم في النباتات بشكل رئيسي عند نقطة التقاء الجذر بالتربة، ومن المرجح أن يتم تسهيله بواسطة قنوات بالإضافة إلى ذلك، يتم استخدام .(GLRs) ومستقبلات الغلوتامات (CNGCs) كاتيونية غير انتقائية، مثل القنوات الحلقية البوابية والأكوابورينات أيضًا في امتصاص الصوديوم في النباتات [79، يحدث انتقال الصوديوم (HKTs) ناقلات البوتاسيوم عالية الألفة من الجذور إلى البراعم من خلال المسار الأبوبلازمي، حيث ينتقل إلى البلاستيدات السمبلاستية لبشرة الجذر قبل تحميله في القصيبات الهوائية للخشب، حيث تكون آثاره أكثر وضوحًا [6]. طورت النباتات استراتيجيات مختلفة لحماية السيتوبلازم من التأثيرات السامة للصوديوم عن طريق تقييد تدفق الصوديوم إلى الخلية، وتعزيز استبعاد الصوديوم خارج الخلية، وتعظيم تقسيم إلى وسط خارجي أو أبوبلاست Na الصوديوم إلى الفجوة العصارية. من بين الاستراتيجيات الرئيسية الثلاث، تم إثبات تصدير ،SOS3 و SOS2 و SOS1 ،المحدد جيدًا والذي يتضمن ثلاثة جينات (SOS) من خلال مسار الإشارة شديد الحساسية للملح في مقابل بروتون [81]. تم إثبات ضرورة Na موضعيًا في الغشاء البلازمي يصدر Na/H ناقلًا مضادًا لـ SOS1 يشفر جين مع طفرات ناقل الصوديوم / SOS1 يشير تكامل ،Na لمسافات طويلة، وقدرة تدفق Na للتحكم في حركة SOS1 في خلايا البرنشيم عند حدود النسيج الخشبي/النسيج البلاستيدي إلى أن SOS1 الهيدروجين في الخميرة والتعبير التفضيلي عن يشارك في تدفق الأيونات من السيتوزول إلى الوسط المحيط وتنظيم استرجاع الصوديوم من عصارة النسيج الخشبي SOS1 مع جينات أخرى متسامحة SOS1 [84]. أظهرت العديد من الدراسات أن الإفراط في التعبير أو الإفراط المشترك في التعبير عن مع الملح يؤدي إلى تحمل معزز بشكل كبير للإجهاد الملحي في نباتات مختلفة، بما في ذلك نبات أرابيدوبسيس [84، 85، ٣,٢. وقد من Na تم وصفها على نطاق واسع في نباتات مختلفة وأثبتت أنها تلعب دورًا حاسمًا في تحمل الملح من خلال استبعاد أيونات ،MPM من خلال أربع تكرارات لـ HKTs أنسجة البراعم الحساسة للنباتات [89، 90، 91]. يتم تعريف السمة الهيكلية لناقلات M1A–P_A–M2A–M1D–P_D– إلى "مجال حلقة المسام". إن تجميع التكرار "P" إلى الجزء عبر الغشاء ويشير "M" حيث يشير وبالتالي .[89] HKT–2 ونوع HKT1 نوع :HKTs يحدد فئتين من ،PA، الأول P والمحدد الهيكلي الموجود في المجال M2D وتقع في فئة Na تُظهر فقط نفاذية انتقائية لـ HKT فإن ناقلات ،Ser بـ Gly عندما يتم استبدال .Na/K تعمل كناقل مترافق لـ في البراعم عن طريق تفريغ الصوديوم الزائد من عصارة الخشب وحجزه في Na حيث تمنع نقل وتراكم ،[93] HKT1 نوع خلايا برانشيم الخشب [94]. 3.2. 3. مضخات البروتون يُعدّ تنظيم المستويات السامة لتراكم الصوديوم وزيادة امتصاص البوتاسيوم حدثين حاسمين في تحمّل الملح، ويُفسّران عمومًا في سياق ارتفاع نسبة البوتاسيوم إلى الصوديوم في السيتوبلازم. H–ATPase وبالتالي، تُصبح مضخات البروتون الغشائية، وناقلات الأيونات، تشمل مضخات البروتون النباتية الأساسية، إنزيم H–PPase الفجوي. يتكون إنزيم H–PPase الفجوي، وإنزيم بيروفوسفاتاز H–ATPase وإنزيم ،(P في الغشاء البلازمي (من النوع من بولي ببتيد واحد، وهو مُدمج في الغشاء البلازمي كجزيء ثنائي متماثل. على الرغم من أن جميع أنسجة P من النوع ATPase بدرجات متفاوتة، إلا أن بعض الأشكال المتماثلة تُظهر P-type H ATPase النبات تحتوي على العديد من الأشكال المتماثلة لـ P-type H ATPase تعبيرًا مكانيًا أكثر تحديدًا. وبصرف النظر عن سمة تحمل الملح المتمثلة في تنشيط الناقلات الثانوية، فإن لها أيضًا وظائف منزلية مثل التوسط في ضغط التورغو، وتمديد جدار الخلية، ودرجة الحموضة داخل الخلايا. وفي الوقت نفسه، تتميز أهمية مضخة البروتون هذه جيدًا في ظل ظروف الإجهاد الملحي وبالتالي تم تصويرها على أنها إنزيم بيئي. فإن إنزيم الفجوي هو بولي ببتيد مفرد يتكون من ثنائي متماثل بوحدات فرعية 80 كيلو دالتون. تستخدم مضخة البروتون H بيروفوسفاتاز كمصدر للطاقة لتوليد فرق تدرج البروتون من أجل النقل الصاعد للبروتونات (Mg^2PPi) الكهربية هذه بيروفوسفات غير عضوي المرتبطة بالغشاء بواسطة ثلاثة جينات في نبات أرابيدوبسيس H–PPase من السيتوزول إلى تجويف الفجوة. تم ترميز إنزيمات

Summarized by © lakhasly.com

من النوع H⁺-PPase 1 واحد فقط، والمعروف أيضًا باسم إنزيم H⁺-PPase ثاليانا. من بين هذه الجينات، يتم استهداف إنزيم السيتوبلازمي فحسب، بل PPi على تنظيم توازن PPases الفجوي: لا تقتصر وظيفة إنزيمات H⁺ إنزيم ،(AVP1 أو AtVHP1) تُولّد أيضًا تدرجًا كهروكيميائيًا للبروتون عبر الغشاء الفجوي، في ظل ظروف الإجهاد الملحي، تُستخدم قوة دافعة للبروتون بواسطة ناقلات ثانوية، مثل ناقلات الصوديوم والبوتاسيوم المقترنة بالبروتون، لعزل الأيونات السامة الزائدة من السيتوزول إلى وحده أو الإفراط AVP1 من خلال الإفراط في التعبير عن AVP1 الفجوة [97، 98]. تم إجراء استكشاف واسع النطاق لوظيفة المشترك في التعبير مع جينات مفيدة أخرى لدراسة تحمل الملح في نبات أرابيدوبسيس [99، 100، 102، 107، ويتمركز على AtNHX5 في الغشاء الداخلي (يساعد AtNHX6و AtNHX5 في الغشاء الفجوي، بينما يتمركز باقي الأعضاء AtNHX1-4 إلى زيادة تحمل الملح في AtNHX1 إلى الفجوة العصارية) [111]. يؤدي التعبير المرتفع عن Na غشاء جولجي أيضًا في نقل أنواع نباتية مختلفة مثل نبات أرابيدوبسيس [85، 112] والأرز [113، 114] والقطن [115، 116] والطماطم [117]. تقلل النباتات أيضًا من تلف الأملاح عن طريق تقييد تدفق الصوديوم إلى الأجزاء الهوائية، تعمل شرائط كاسباريان وصفائح السوبرين كحواجز أبوبلاستيكية كارهة للماء خارج الخلية، وتقع في جدار الخلية الأديمية الباطنة، وتلعب دورًا مهمًا في تقييد الانتشار الحر للمواد المذابة. يفرض شريط كاسباريان في خلايا الجذر الأديمية الباطنة حاجزًا تقييديًا لحركة الأيونات من الجذر إلى البراعم. يجب أن تنتقل الأيونات من مسار الأبوبلاست إلى مسار السمبلاست لعبور غ membrane the cell wall and pass through the endodermis to avoid the Casparian strip. This transition allows plants to partially exclude harmful ions, limiting their movement to the xylem. Suberin lamellae play a secondary role in reducing sodium leakage into endodermal cells, thereby reducing the plant's energy needs. Several studies have indicated that enhancing apoplastic barriers is an effective approach to reducing sodium flux. For example, Krishnamurthy et al. (2011) showed that intensified apoplastic barriers in roots led to reduced sodium uptake, enhanced survival, [118]. The above-mentioned transporters and channels related to salt stress tolerance contribute to the absorption, and distribution of sodium and potassium. such as potassium uptake transporter (KUP)/potassium transporter, and cation-calcium exchanger, have been proven to maintain cytoplasmic ion homeostasis under salt stress conditions. 3.3. الإجهاد التأكسدي والدفاع المضاد الناتج عن الملح بقدرة تأكسدية قوية، مما (ROS) للأكسدة في ظل ظروف الإجهاد الملحي يتميز تراكم أنواع الأكسجين التفاعلية يُسبب تلفًا تأكسديًا للدهون الغشائية والبروتينات والأحماض النووية، تحتوي النباتات على إنزيمات مضادة للأكسدة وجزيئات غير إنزيمية لإزالة سموم أنواع الأكسجين التفاعلية الناتجة عن الملح، والتي يُحتمل أن تكون ناتجة عن سلاسل نقل الإلكترون في والبيروكسيديز ،(CAT) والكاتالاز ،(SOD) الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء. تُعتبر إنزيمات سوبر أكسيد ديسميوتاز والكاروتينات ،(GSH) من الإنزيمات المضادة للأكسدة، بينما تُصنف الجلوتاثيون (APX) والأسكوربات بيروكسيديز ،(POX) والجذور (O⁻²)والأكسجين الأحادي (¹ (H₂O₂) كجزيئات مضادة للأكسدة غير إنزيمية [119، 120]. مثل بيروكسيد الهيدروجين في ظل ظروف الإجهاد الملحي بواسطة إنزيمات وجزيئات مضادات الأكسدة. (O⁻²) والأكسيد الفائق (OH⁻) الهيدروكسيلية كخط الدفاع الأول ويقضي على الجذور الفائقة عن طريق تحويل الجذور الفائقة إلى أكسجين وبيروكسيد SOD يعمل مما يؤدي إلى ،(Cu^{2} و Fe^{3}) الهيدروجين، وبالتالي تقليل الجذور الهيدروكسيلية. تقلل الجذور الفائقة من أيونات المعادن تكوين الجذور الهيدروكسيلية التي تسبب أضرارًا بالغة للدهون والأغشية الخلوية بسبب قدرتها على الأكسدة. ثم يتم تكسير وقد أظهرت العديد من .[121] CATو POX بيروكسيدات الهيدروجين ومشتقاتها الناتجة في ظل ظروف الإجهاد الملحي بواسطة الدراسات العلاقة بين تحمل الملح وزيادة أنشطة مضادات الأكسدة. على سبيل المثال، أظهرت دراسة حديثة على نباتات أوراق للمساعدة في إزالة (VA14) في صنف متسامح مع الملح APXوالأسكوربات و SOD كمية مرتفعة من .A الشجر ثلاثية الألوان قام حسين وآخرون (2022) بالتحقيق في تحمل الملح للأنماط الجينية المتناقضة للقمح وخلصوا إلى أن .[122] ROS سموم في الأصناف المتسامحة مع الملح يرتبط بأكسدة الدهون في الغشاء المنخفض [123]. أظهرت دراسة أخرى MDA انخفاض إنتاج من فول الصويا البري زاد من تحمل الملح مع تعزيز مصاحب لاستجابة GsPRX9 أن الإفراط في التعبير عن جين بيروكسيديز مضادات الأكسدة [124]. الأنثوسيانين هي مجموعة من مضادات الأكسدة وتراكمها في النباتات تحت ضغط الملح موثق جيدًا.

Summarized by © lakhasly.com

هو جين متحور معزول في نبات أرابيدوبسيس، ويشارك في تحمل الملح من خلال تنظيم (air1) استجابة الأنثوسيانين الضعيفة 1 خطوات مختلفة من مسارات تخليق الفلافونويد والأنثوسيانين حيث أن الطفرة غير قادرة على تراكم الأنثوسيانين تحت ضغط الملح [125]. تشير هذه النتائج إلى أن العديد من الإنزيمات والجزيئات والأصباغ تلعب أدوارًا وقائية في تخفيف الأضرار التأكسدية نحو تعزيز تحمل النبات للملح. 3.4. تحمل الملح بوساطة الهرمونات النباتية الهرمونات النباتية أو الهرمونات النباتية على أنها JA و SA و ethylene و ABA هي جزيئات تنظيمية داخلية حيوية تنظم نمو النبات وتطوره. من بينها، يتم تصنيف (SLs) والستريجولاكتون (BRs) والسيتوكينينات والبراسينوستيرويدات GA هرمونات تستجيب للإجهاد، بينما تعتبر الأوكسين و هو هرمون لا يمكن الاستغناء ABA ،هرمونات تعزيز النمو [59، ترتبط الهرمونات النباتية بشكل معقد؛ وبالتالي، في هذا السياق الذاتية على الفور لتنشيط سلسلة كيناز عند التعرض للإجهاد الملحي [128]. يحدث إغلاق الثغور ABA عنه، ترتفع مستويات لتنظيم التوازن المائي والتناضحي. يؤدي الإجهاد التناضحي الناتج عن الإجهاد الملحي إلى تعزيز ABA بسبب زيادة مستويات والتي تتضمن مكونًا أساسيًا يُعرف باسم كينازات البروتين غير المخمرة المرتبطة بالسكروز 1 ،ABA مسارات نقل إشارات وأنشطة عوامل النسخ البروتين 6 .3/2 .2/2 .SnRK2 في ظل ظروف الإجهاد الملحي، تعمل أنشطة كيناز .[129] (SnRK2s) على تعزيز إغلاق الثغور بشكل أكبر [130]. ينظم ABRE (AREB/ABF) عامل رابط/(ABRE) ABA الرابط لعنصر الاستجابة لـ وبالتالي يتوسط نمو الجذر SnRK2 تحمل الملح سلبًا عن طريق تثبيط نشاط كيناز (ABI1) حمض الأبسيسيك غير الحساس 1 الأساسي [131]. عند التعرض للإجهاد الملحي، يتم تنظيم مستويات النسخ للعديد من جينات تخليق حمض الأبسيسيك بشكل إن أوكسيديز .(MEP) تصاعدي، مما يتسبب في إنتاج حمض الأبسيسيك من خلال مسار ميثيل إريثريتول 4-فوسفات هي إنزيمات (SCAD) وديهيدروجينيز الكحول قصير السلسلة (NCED) و9-سيس-إيبوكسي كاروتينويد (ZEP) الزياكسانثين يتم تحفيزها في ظل ظروف الإجهاد الملحي وتلعب أدوارًا أساسية في تنظيم مسار تخليق حمض الأبسيسيك [128، 132]. علاوة تتخذ .[133] SOS2 أيضًا مع إشارات حمض الأبسيسيك عن طريق منع فرط تنشيط SOSو Ca^{2+} على ذلك، ينسق مسارا النباتات آلية تكيفية لتثبيط النمو للبقاء على قيد الحياة في بيئات الملوحة القاسية. يؤدي انخفاض نقل الأوكسين القطبي وتراكم الأوكسين المنخفض المرتبط به في الجذور [134] وانخفاض تنظيم الجينات المشفرة لمستقبلات الأوكسين (استجابة مثبط النقل إلى انخفاض إشارات الأوكسين وبالتالي انخفاض تنظيم نمو الجذر بوساطة الأوكسين. [135] (F-BOX 1 وإشارات الأوكسين يتم تعديل مستويات الجبرلين النشط بيولوجيًا في مراحل نمو مختلفة من النباتات لتعزيز تحمل الملح من خلال النمو المتأخر. [137] GA والعديد من الجينات الأخرى المرتبطة باستقلاب [136] GA وهو مثبط لإشارات ،DELLA SLR1 يسبب بروتين بعد الإنبات، وهو أمر ضروري لتعزيز تحمل النبات لضغط الملح. يعزز السيتوكينين نمو GA أو إشارات GA انخفاض مستويات الخلايا وتطورها وتمايزها ويشارك في العديد من العمليات الفسيولوجية والكيميائية الحيوية في النباتات. يضحي السيتوكينين بنفسه للمساعدة في تحمل الإجهاد الملحي لأنه يلعب أدوارًا متعارضة في تكيف النبات مع الإجهاد الملحي. على سبيل المثال، وهو إنزيم مهم في مسار تخليق السيتوكينين) أو الإفراط في التعبير عن أكسيداز السيتوكينين ،IPT) يؤدي فقدان ناقلة إيزوبنتينيل وباعتباره هرمونًا يستجيب للإجهاد، يتراكم الإيثيلين تحت ضغط الملح ويتوسط العديد من العمليات البيولوجية الحرجة. ،CKX) بالإضافة إلى ذلك، تعمل إشارات الإيثيلين أيضًا على تعديل استجابات الملوحة. على سبيل المثال، في إحدى الدراسات، تسبب فقدان وظيفة مستقبلات الإيثيلين، على النقيض من ذلك، يؤدي فقدان الوظيفة في المنظمات الإيجابية للإيثيلين، لذلك، كما أنها تحافظ على التوازن بين نمو النبات واستجابات الإجهاد. اللوائح الوراثية لتحمل الملح والإجهاد على مدار العقد الماضي، مما أدى إلى تحديد مختلف البروتينات التنظيمية وأهدافها. علم الوراثة فوق الجينية هو تنظيم التعبير الجيني من خلال تعديلات تساهمية وراثية في بنية الكروماتين لتسهيل الوصول إلى آليات النسخ. تُعد ميثلة الحمض النووي، وتعديلات الهيستون، ميثلة الحمض النووي هي تعديل وراثي تم بحثه على نطاق واسع، والذي يتضمن إدراج مجموعة ميثيل في الموضع 5' من السيتوزين في سياقات وقد تم إثبات وجود اضطراب في أنماط المثيلة .(C أو T أو H A يمثل) CHHو CHGو CG تسلسل الحمض النووي مثل وعواقبه على التعبير الجيني في ظل الظروف الملحية على نطاق واسع. على سبيل المثال، كان مستوى المثيلة عند محفز الجين المستجيب للإجهاد الملحي، أقل بشكل ملحوظ في صنف متسامح مع الملح، مما يشير إلى دور محتمل لميثلة الحمض النووي في لبروتينات الهيستون تساهميًا 'N تحمل الملح [141]. بالإضافة إلى ميثلة الحمض النووي، يتم تعديل ذيول الهيستون أو الأطراف عن طريق الأستلة والمثيلة والفسفرة والسوميل واليوبيكويتين. تحدد إنزيمات تعديل الهيستون المحددة هذه التعديلات وهي

Summarized by © lakhasly.com

أظهروا أن الفسفرة ،GsMYST1 ضرورية في تنظيم الجينات تحت الإجهاد الملحي. فنج وآخرون. (2022) أظهر مؤخرًا دور على الجينات المستهدفة أدت إلى زيادة التعبير H4 والأستلة الناتجة للهيستون GsSnRK1 بواسطة كيناز GsMYST1 المنسقة لـ الجيني المستجيب للإجهاد، مما أدى إلى زيادة تحمل الملح [142]. ميثيل الهيستون هو عملية ديناميكية ترفع من كراهية الهيستون في حبوب الخروع نسخ جين منظم استجابة H3K27me3 و H3K4me3 للماء وتخلق مواقع ارتباط جديدة. ينظم الميثيل في والذي يشارك في إشارات ،(MYB عامل نسخ مرتبط بـ – RADIALIS LIKE SANT الذي يشفر) RSM1 ،الملوحة الحرجة بالإضافة إلى العوامل المذكورة أعلاه التي تؤثر على ديناميكيات الكروماتين، فإن إعادة .[143] ABA الإجهاد الملحي بوساطة تشكيل الكروماتين تغير أيضًا التعبير الجيني. يؤدي تعطيل تفاعلات الهيستون-الحمض النووي إلى تغيير إمكانية وصول آلية والذي يشمل العديد ،(CHR) النسخ إلى منطقة الحمض النووي المحددة [144]. يمكن أن يلعب عامل إعادة تشكيل الكروماتين دورًا في كل من إعادة تشكيل الكروماتين ،(ISWI) ومفتاح التقليد ،SWI/SNF مثل ،ATPases من العائلات الفرعية من وتعديلات الهيستون بعد الترجمة [145]. وفقًا لدراسة أجراها نجوين وآخرون (2019)، أظهرت الطفرة ATP المعتمدة على عند تعرضها لعلاج كلوريد (HAI1 و ABI2 و ABI1) ABA المرتبطة بـ PP2C مستويات نسخ متزايدة من جينات brm-3 وقد وجد ،BRAHMA لإعادة تشكيل الكروماتين يُعرف باسم ATPase وهي إنزيم ،BRM الصوديوم [146]. يشير هذا إلى أن تغير من حالة الكابِت (بواسطة مُكابِت) إلى حالة النسخ (بواسطة مُنشِّط) PP2C الباحثون أن الكروماتين المرتبط بجينات استجابةً للإجهاد الملحي. تشير الأبحاث الحديثة حول التعديلات الجينية إلى أن فهم هذه العمليات بشكل أفضل واستخدام تقنيات تحرير الجينوم قد يُسهمان في تحسين المحاصيل في ظل ظروف الإجهاد الملحي. ومع استمرار تطور معرفتنا بعلم الوراثة الجينية، سيتسنى تطوير استراتيجيات بديلة لتربية المحاصيل تُعزز قدرتها على تحمل الملوحة، وبالتالي زيادة إنتاجيتها.

Summarized by © lakhasly.com