يمكن لنباتات المقارنة تحمل تركيز ٠,٢٥٪ كلوريد صوديوم. وقد نمت أنسجة الكالوس التى نتجت من زراعة أجنة تلك النباتات — بنجاح — فى بيئات مغذية ملحية.

ومقارنة بسلالات الخلايا غير المنتخبة لتحمل الملوحة .. تمكنت سلالات الموالح المنتخبة لتحمل الملوحة من احتفاظها بمستوى طبيعى من أيونى البوتاسيوم والكالسيوم، بالرغم من وجود تركيز عال من أيونى الصوديوم والكلور فى البيئة المغذية. وقد تراكم أيونا الصوديوم والكلور بتركيزات عالية فى الفجوات العصارية لسلالات خلايا أصل الـ *Poncirus* المنتخبة لتحمل الملوحة، بينما لم يحدث ذلك فى سلالات خلايا أصل الـ *Citrange* التى بدت كأنها قادرة على استبعادهما.

كذلك تمكن Bouharmont (١٩٩٠) من الحصول على نباتات أرز قادرة على تحمل الملوحة من مزارع كالوس تحتوى على ١,٥٪ كلوريد صوديوم، وذلك بعد نحو أربعة شهور من تعرض خلايا الكالوس لتلك الظروف.

يتبين مما تقدم أن انتخاب سلالات خلايا قادرة على تحمل الملوحة فى مزارع الأنسجة أمر ممكن، وإنتاج نباتات من الخلايا أمر ممكن — أيضًا — فى عديد من النباتات، ولكن إنتاج النباتات من سلالات الخلايا المنتخبة لتحملها للملوحة كان إلى الآن محدودًا (ربما بسبب بقاء المزارع لمدة طويلة قبل محاولة إنتاج النباتات منها)، كما كانت النباتات الكاملة الناتجة من سلالات الخلايا — فى عديد من تلك الحالات — غير متميزة فى تحملها للملوحة؛ أى إنها لم تكن أكثر تحملاً للملوحة من نباتات الصنف أو السلالة الأصلية التى استخدمت فى عمل مزارع الأنسجة، وهو ما يجعلها — فى مثل هذه الحالات — عديمة الأهمية. ومع ذلك .. فقد كانت هناك حالات قليلة — من مزارع الأنسجة — تميزت فيها نباتات كاملة قادرة على تحمل الملوحة.

وراثة تحمل الملوحة

لعل أول محاولة أجريت لدراسة وراثة تحمل الملوحة كانت تلك التى قام بها Lyon عام ١٩٤١ (عن Flowers ٢٠٠٤)، والتى أجرى فيها تهجينًا نوعيًا بين الطماطم والنوع

البرى *L. pimpinellifolium*، وتبين أن محصول الهجين من الثمار كان أكثر حساسية لزيادة الملوحة (فى صورة كبريتات الصوديوم) عن أى من الأبوين. وأوضحت تلقيحات نوعية أخرى شملت الطماطم وأنواع أخرى برية أن تحمل الملوحة صفة معقدة. وظهرت قوة الهجين — متمثلة فى استطالة السيقان تحت ظروف الشدّ الملحى — فى هجن الجيل الأول بين الطماطم وكلا من: *L. cheesmanii*، و *L. peruvianum*، و *L. pennellii*.

وفى الأرز .. أظهرت الدراسات أن حالة العقم التى تحدث بفعل الملوحة العالية يتحكم فيها ثلاثة جينات على الأقل. كما أظهر تحليل دايالليل عن تأثير الملوحة فى مرحلة البادرة وعلى العقم وجود تأثيرات إضافية وسيادة فى كلتا الصفتين، مع درجة توريث عالية.

وظهرت دلائل على سيادة صفة التحمل فى بسلة بيجون *Cajanus cajan*، وذلك فى تلقيحات بينها وبين أحد أكثر الأنواع القريبة منها تحملاً للملوحة وهو *Atylosia albicans*. كذلك توجد أدلة على سيادة صفة التحمل فى الذرة الرفيعة.

وتتوفر دلائل قوية على أن تحمل الملوحة العالية فى النباتات صفة كمية، وأن مردها إلى عدة صفات تحتية قد تكون كل منها بسيطة فى وراثتها أو كمية. وتلك الصفات التحتية تتضمن القدرة على تحجيم تراكم الصوديوم والكلورين فى النسيج النباتى، وتفضيل اختيار امتصاص البوتاسيوم من بيئة عالية فى محتواها من الصوديوم.

ولقد دُرست وراثة صفة التحكم فى المحتوى الأيونى بالنباتات النامية فى ظروف الشدّ الملحى، وتبين أن تراكم الكلورين صفة كمية فى تلقيحات نوعية بالجنس *Citrus*، وأن درجة توريث تلك الصفة متوسطة (٠,٢٤–٠,٣٧) فى *Trifolium repens*.

كذلك فإن تراكم الصوديوم فى الطماطم فى ظروف الشدّ الملحى صفة وراثية، وتبين أن أكثر من ٩٠٪ من التباين الوراثى يعود إلى تأثير الإضافة بينما لم يكن للسيادة تأثير كبير عليها.

وبينما لا توجد علاقة بين تراكم الصوديوم وتراكم البوتاسيوم فى الأرز، فقد وجد أن نسبة تراكم الصوديوم إلى البوتاسيوم Na/K ratio صفة وراثية كمية. هذا .. فى الوقت

الذى تتباين فيه التراكيب الوراثية للقمح فى التمييز بين البوتاسيوم والصوديوم فى انتقالهما للنمو الخضرى، وهو ما يعبر عنه بالـ K/Na ratio بالأنسجة الورقية، ويتحكم فى ذلك جين واحد أعطى الرمز Kna1 (Flowers ٢٠٠٤).

وأوضحت نتائج الدراسات التى أجريت على تحمل الملوحة فى مختلف المحاصيل أنها – غالبًا – سمة كمية، كما يلى:

١– الشعير:

عندما كان المحصول هو الصفة المقيسة كدليل على تحمل الملوحة، فإنها كانت مرتبطة بالقدرة على استبعاد أيون الصوديوم، وبالقدرة على الإنبات فى بيئة ملحية، وقدرت درجة توريث صفة المحصول تحت ظروف الملوحة بنحو ٢٨٪.

٢– النوعان *Elytriga* (*Agropyron*) *elongata*، و *E. pontica* (فى تهجينات مع القمح):

عندما كان المحصول هو الصفة المقيسة كدليل على تحمل الملوحة وجد أن الجينات المسئولة عنها تتوزع على عدة كروموسومات، وكانت بالعدد ٦ كروموسومات – على الأقل – فى *E. pontica* وتبين أن مرجع المقاومة إلى استبعاد الصوديوم عند الجذر.

٣– الأرز:

عندما كان الوزن الجاف للنمو الخضرى هو الصفة المقيسة كدليل على تحمل الملوحة فإنها كانت ذات سيادة فائقة، وقدرت درجة توريثها بنحو ٣٩٪–٦٢٪ فظهرت بها انعزالات فائقة الحدود.

وعندما كان النمو الجذرى – فى مستوى ملوحة ٨٠ ملل مول كلوريد صوديوم – هو الصفة المقيسة كدليل على تحمل الملوحة كان التباين الإضافى أهم من تباين السيادة، وقدرت درجة التوريث بنحو ٤٩٪–٨٣٪.

٤– الخيار:

عندما كان تحلل الأوراق leaf necrosis هو الصفة المقيسة كدليل على تحمل الملوحة

وجد أنه يتحكم فيها جين واحد سائد وعديد من الجينات الثانوية، وكانت درجة توريث الصفة ٤١٪-٨٦٪.

٥- البرسيم الحجازى:

عندما كان إنبات البذور فى ظروف الملوحة هو الصفة المقيسة لتحمل الملوحة كانت درجة توريثها ٥٠٪، وأجرى الانتخاب المتكرر - بكفاءة - لخمس دورات.

٦- فول الصويا:

عندما كان استبعاد أيون الكلور من النموات الخضرية هو الصفة المقيسة كدليل على تحمل الملوحة (علمًا بأن امتصاص أيون الكلور كان متقاربًا بين السلالات المتحملة وغير المتحملة)، وجد أنه يتحكم فيها جين واحد سائد.

٧- الحمضيات والعنب:

عندما كان استبعاد أيون الكلور هو الصفة المقيسة لتحمل الملوحة فإنها كانت عديدة الجينات polygenic (Singh ١٩٩٣).

إن الحالات التى تعرف فيها جينات رئيسية تتحكم فى صفة تحمل الملوحة أو الحساسية لها قليلة، ومن أمثلتها ما يلى:

١- يتحكم جين واحد متنحٍ فى صفة الحساسية لكلوريد الصوديوم فى فول الصويا؛ حيث لا يمكن للنباتات الحاملة لهذا الجين - بحالة أصيلة - منع انتقال أيون الكلور من الجذور إلى النموات الخضرية.

٢- يتحكم جين آخر متنحٍ sd (نسبة ال فعل الجين scabrous diminutive) فى صفة الحساسية للملوحة العالية فى الفلفل؛ حيث تكون النباتات الحاملة له بصورة أصيلة أقل كفاءة فى استبعاد الصوديوم وامتصاص البوتاسيوم من النباتات العادية؛ الأمر الذى يؤدى إلى حالة من عدم التوازن الأيونى فى النبات.

٣- تعرف طفرة تؤدى إلى انخفاض فى الضغط الأسموزى بخلايا النبات *Arabidopsis thaliana*.

٤- توجد فى الذرة طفرة يوجد بها نقص فى البرولين. وبالمقارنة .. تعرف طفرة فى البكتيريا *Salmonella typhimurium* يزيد فيها إنتاج البرولين (عن Tal ١٩٨٤).

وقد درس Ashraf وآخرون (١٩٨٦) درجة توريث القدرة على تحمل الملوحة — على النطاق الضيق — فى سبعة أنواع نباتية، وكان دليلهم على تحمل الملوحة هو مدى نمو جذور النباتات بعد بقائها لمدة ثلاثة أسابيع فى محلول مغذٍ يحتوى على كلوريد الصوديوم. وكانت درجات التوريث المقدرة كما يلى:

النوع	درجة التوريث على النطاق الضيق
Lolium perenne	٠,٤٤
Dactylis glomerata	٠,٣٢
Agrostis stolonifera	٠,٢٨
A. castellana	٠,٢٦
Holcus lanatus	٠,١٩
Festuca rubra	٠٤٤
Pucinnellia distans	٠,٧٢

ولمزيد من تفاصيل الدراسات المبكرة عن وراثة وفسيولوجيا تحمل الملوحة فى النباتات .. يراجع Staples & Toenniessen (١٩٨٤).

ومن بين الجينات الرئيسية المعروفة والخاصة بتحمل الملوحة فى النباتات، ما يلى (عن Shannon ١٩٩٧):

المحصول	الجين	ما يشفر له الجين وتأثيره
فول الصويا	Ncl	يستبعد NaCl من النموات الخضرية
البسلة	proC	Δ1-pyrroline-5-carboxylate reductase
		يزيد مستوى إنتاج البرولين
الطماطم	LHA[x°]	ATPase
	NP24	Osmotin
التبغ	mtl1	زيادة المانيتول

المحصول	الجين	ما يشفر له الجين وتأثيره
Nicotiana plumba-giniflora	PMA[x]	ATPase
البرسيم الحجازى	pSM1409	
	rbcL	rbulose-1,5-biphosphate
	rbcS	crboxylase/oxygenase
Arabidopsis	AHA[x]	ATPase
القمح	Kna1	K/Na selectivity
الشعير	dbn	إنتاج حامض الأبسيسك وتحمل الجفاف – dehydrin
	GS1	Oxalate oxidate
	GS2	
الأرز	rab	(؟) Dehydrin
	SalT	يستبعد Na^+ من النمو الخضرى
النبات الثلجى iceplant	Gdp1	Glyceraldehyde-3-pbosphate dehydrogenase
	lmt1	My-inositol O-methyl transferase
	Ppc1	Phosphoenolcarboxylase