الأمهات فى حجم البذور؛ الأمر الذى أثر فى الصفات التى اتخذت كمقياس لصفة التحمل.

كما وجدت - فى فول الصويا - اختلافات بين الهجن العكسية فى تحملها لزيادة تركيز عنصر المنجنيز، واقترح أن هذه الصفة يتحكم فيها عوامل سيتوبلازمية وأخرى كروموسومية.

كذلك وجدت اختلافات بين أصناف وسلالات جنس الخس Lactuca فى تحملها للتركيزات العالية من المنجنيز فى الأراضى المعقمة بالبخار (يؤدى التعقيم بالبخار إلى تيسر كميات كبيرة من المنجنيز - بتركيزات سامة للنبات - فى التربة). وتبين من التلقيحات التى أجريت بين صنف الخس الحساس للمنجنيز وثلاثة أصناف خس غير حساسة (هى: Plenos، و Celtuce، و Troppo) وسلالة غير حساسة من النوع البرى L. serriola.. تبين وجود أعداد مختلفة من الجينات المسئولة عن عدم الحساسية للمنجنيز فى مختلف الأصناف والسلالات كما يلى: جين واحد فى كل من Plenos، و Troppo، وجينان فى سلالة L. serriola، وربما أربعة جينات فى Celtuce، وتبين وجود ثلاثة من هذه الجينات فى مجموعة ارتباطية واحدة (عن Devine ١٩٨٢).

تحمل نقص العناصر المغذية

إن الاختلافات الوراثية بين النباتات يمكن أن تحدد مدى كفاءة النبات فى امتصاص العناصر الغذائية من التربة (Brown ١٩٦٧). وقد أوضح Vose أن دراسة مثل هذه الاختلافات يمكن أن تساعد المربى فى انتخاب وتربية أصناف تصلح للإنتاج تحت ظروف نقص بعض العناصر، أو بغرض زيادة نسبة عنصر معين فى النبات؛ بهدف تحسين قيمته الغذائية.

ومن أمثله المحاصيل التى حدث فيها تقدم فى التربية فى هذا المجال ما يلى :

١ - الذرة :

وجدت اختلافات فى صفة القدرة على امتصاص أيون الكبريتات بين ثلاث سلالات مرباة داخليا من الذرة، كما ظهرت قوة هجين لتلك الصفة فى الهجن.

وتبين أن تراكم عنصر الكالسيوم فى الذرة يتحكم فيه عدة جينات ذات تأثير إضافى. كما أظهرت الدراسات الوراثية تحكم نظام وراثى إضافى فى تركيز كل من الفوسفور، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم، والنحاس، والبورون، والزنك، والمنجنيز، والألومنيوم، والحديد فى كيزان الذرة. ووجدت كذلك اختلافات وراثية فى امتصاص وتراكم الفوسفور - فى النبات - فى كل من المحاليل المغذية والحقل. وتوضح الدراسات إمكان إنتاج هجن من الذرة أكثر قدرة على امتصاص الزنك من الأراضى التى تؤدى فيها زيادة التسميد الفوسفاتى إلى ظهور أعراض نقص الزنك.

٢ - فول الصويا :

أنتج صنف فول الصويا Weber الذى يتميز بتحمله لنقص الحديد الذى يحدث فى الأراضى الجيرية التى أجرى فيها برنامج التربية.

٣ - الأرز :

قيمت عدة آلاف من أصناف وسلالات الأرز لتحمل النمو فى الأراضى القلوية، وأمكن التعرف على أفضلها؛ حيث استخدمت فى برنامج تربية لإنتاج سلالات عالية المحصول ذات قدرة كبيرة على تحمل قلوية التربة؛ مثل: IR 4427 - 28 - 3 - 2، و- IR 4227 - 10 - 4 - 3 - 1.

كذلك أمكن التعرف على نحو ١٠٠ سلالة من الأرز قادرة على تحمل نقص الزنك، وعلى اختلافات وراثية كثيرة بين السلالات فى تحمل نقص كل من الفوسفور والزنك.

٤٠ - الفاصوليا :

أمكن التوصل إلى سلالات من الفاصوليا أكثر قدرة على تحمل نقص الفوسفور؛ بل إنها قد تغل محصولاً أعلى عند نقص الفوسفور؛ مقارنة بما تغله عن زيادة التسميد بالعنصر (عن Devine ١٩٨٢).

٥ ـ الشوفان :

تتوفر اختلافات وراثية بين أصناف الشوفان فى مدى كفاءتها فى الاستفادة من المنجنيز الميسر لها فى التربة، وتبين أن الأصناف العالية الكفاءة تتميز بارتفاع محتوى نمواتها القمية من عنصر الكالسيوم. وفسر ذلك على أساس أن الكالسيوم يقوم ـ فى الأصناف العالية الكفاءة فى الاستفادة من المنجنيز ـ بجزء من الدور الذى يقوم به المنجنيز؛ الأمر الذى يوفر هذا العنصر للتفاعلات الحيوية التى لا غنى عنه فيها.

كذلك يتميز صنف الشوفان Cooker 227 بكفاءة أعلى فى الاستفادة من الحديد الميسر فى التربة عن الصنف TAM 0 - 312، وتبين أن الصنف الأول (الكفء) كان قادرا على اختزال أيون الحديديك إلى حديدوز على سطح الجذور، وأن محتواه من الكالسيوم كان أقل من محتوى الصنف الثانى (القليل الكفاءة). وقد اقترح أن الكالسيوم ينافس الحديد أو يثبط فعله فى الصنف TAM 0 - 312 .

٦ ـ الطماطم :

أ ـ النيتروجين :

قيم O'sullivan وآخرون (١٩٧٤) ١٤٦ سلالة من الطماطم للقدرة على النمو فى محلول مغذ، يحتوى على مستوى منخفض من الآزوت؛ بتوفير العنصر بمعدل ٣٥ ملليجراماً فقط لكل نبات، ووجدوا اختلافات وراثية بين السلالات من حيث كفاءتها فى الاستفادة من الكميات المتاحة من العنصر، معبراً عن ذلك بالملليجرام من المادة الجافة التى يُصنِّعها النبات مقابل كل ملليجرام من الآزوت الممتص. وتحت هذه الظروف.. كان الوزن الجاف للسلالات ذات الكفاءة أعلى بمقدار ٤٥٪ من السلالات القليلة الكفاءة.

وقد تبين من الدراسات الوراثية ـ التى أجريت على أكثر وأقل الأصناف كفاءة فى الاستفادة من الكميات القليلة المتاحة لها من الآزوت ـ أن هذه الصفة يتحكم فيها عدد قليل من الجينات، وأن الكفاءة العالية صفة سائدة، مع ظهور تفاعلات أليلية من النوع الإضافى × الإضافى.

ب ـ الفوسفور :

وجد Coltmann وآخرون (١٩٨٥) اختلافا فى معدل النمو بين سبع سلالات من الطماطم عند نقص الفوسفور فى بيئة الزراعة، علماً بأن هذه السلالات تتماثل فى معدل نموها فى ظروف التغذية الطبيعية. وقد وصلت هذه الاختلافات إلى ٧٣٪. وأوضحت الدراسة أن معدل امتصاص الفوسفور لكل وحدة من وزن ـ أو طول ـ الجذر كان عاملاً أولياً فى تحديد قدرة السلالة على امتصاص العنصر. كذلك كان لمدى قدرة السلالات على الاستفادة من الفوسفور الممتص دور هام فى إبراز فروق النمو بينهما تحت ظروف نقص العنصر.

ونظراً لأن الفوسفور لا ينتقل فى التربة.. فإن كفاءة النباتات فى الاستفادة من الكميات المتاحة منه تتحدد بمدى تغلغل المجموع الجذرى فى التربة (عن Bliss ١٩٨١). وقد أوضحت دراسات Coltman (١٩٨٧) أن سلالات الطماطم القادرة على تحمل نقص الفوسفور كانت أكثر كفاءة فى امتصاص العنصر، كما كانت شعيراتها الجذرية ـ تحت ظروف نقص العنصر ـ أطول، وغطّت الجذور لمسافة أطول مما فى السلالات الحساسة.

وقد وجد أثناء تقييم عدد من سلالات الطماطم للكفاءة فى امتصاص الفوسفور من محلول مغذ يحتوى على العنصر ـ بتركيز منخفض قدره ٩٧ ميكرومولاً ـ أن السلالة P.I. 121665 كانت على درجة عالية من الكفاءة. وقد تميزت هذه السلالة ـ دون غيرها ـ بكثافة شعيراتها الجذرية؛ لذا أطلق على هذا الشكل المظهرى اسم الجذر القطنى Cottony root. وبرغم أن سلالة أخرى ـ هى P.I. 1102716 ـ كانت على نفس القدر من الكفاءة فى امتصاص الفوسفور.. إلا أن جذورها كانت عادية. وقد وجد Hochmuth وآخرون (١٩٨٥) أن صفة الجذر القطنى متنحية، ويتحكم فيها جين واحد أعطى الرمز crt.

جـ ـ البوتاسيوم :

قيم Makmur وآخرون (١٩٧٨) ١٥٦ سلالة من الطماطم للقدرة على النمو فى محلول مغذ يحتوى على مستوى منخفض من البوتاسيوم قدره ٥ ملليجرامات لكل نبات، ووجدوا

اختلافات كبيرة بينها فى كفاءتها فى استغلال الكميات القليلة المتاحة من العنصر؛ معبراً عن ذلك بعدد ملليجرامات المادة الجافة التى ينتجها النبات مقابل كل ملليجرام من البوتاسيوم الممتص. وكان الوزن الجاف لأعلى السلالات كفاءة فى الاستفادة من البوتاسيوم - تحت هذه الظروف - يزيد بمقدار ٧٩٪ عن أقل السلالات كفاءة. وقد احتوت السلالات العالية الكفاءة على بوتاسيوم يقل بنسبة ٣٩٪، وصوديوم يزيد بنسبة ٢٩٪ فى أنسجتها؛ مقارنة بالسلالات المنخفضة الكفاءة. وأوضحت الدراسات الوراثية على هاتين السلالتين أن الجينات التى تتحكم فى الكفاءة العالية ذات تأثير إضافى أساساً، بينما كان تأثير السيادة والتفوق أقل.

وبرغم أن عنصر الصوديوم ليس ضرورياً لنمو الطماطم، إلا أنه يمكن أن يحل محل البوتاسيوم فى أمور عامة؛ مثل تنظيم الضغط الأسموزى؛ لذا.. فإن فصل تأثيرات كفاءة استفادة النبات من عنصر البوتاسيوم - فى الأمور التى ليس للصوديوم علاقة بها - عن التأثيرات فى الأمور التى يكون للصوديوم علاقة بها.. يعد ضرورياً لتحديد كفاءة السلالات فى الاستفادة من البوتاسيوم بصورة أفضل؛ وبناء على ذلك.. قام Figdore وآخرون (١٩٨٩) بتقييم ١٠٠ سلالة من الطماطم فى محلول مغذ يحتوى على مستوى منخفض من البوتاسيوم قدره ٠,٠٧١ ملى مول فى غياب - أو وجود - الصوديوم (المضاف)؛ للتعرف على الاختلافات بين السلالات فى كفاءة استعمال البوتاسيوم، وفى كفاءة إحلال الصوديوم محل البوتاسيوم، وفى تراكم الصوديوم بالأوراق العليا.

واعتماداً على النتائج المتحصل عليها.. اختيرت خمس سلالات تمثل أقصى الاختلافات فى الصفات السابقة، وأجريت بينها كل التلقيحات لدراسة وراثة تلك الصفات. وقد توصل الباحثون إلى أن درجة توريث صفة كفاءة استعمال البوتاسيوم - فى غياب الصوديوم - منخفضة، وتتأثر.. جوهرياً جداً - بكل من فعل الإضافة والسيادة والإضافة × الإضافة. وكانت درجة توريث صفة كفاءة إحلال الصوديوم محل البوتاسيوم عالية، وتأثرت جوهرياً جداً بفعل الإضافة والسيادة. كذلك كانت درجة توريث صفة تراكم الصوديوم بالأوراق

العليا عالية، وتأثرت - جوهرياً جداً - بفعل الإضافة. هذا.. وكان Makmur وآخرون قد وجدوا أن إحدى السلالات ذات الكفاءة العالية فى الاستفادة من البوتاسيوم تستجيب لإضافة الصوديوم حتى مع توفر البوتاسيوم بدرجة متوسطة.

د - الكالسيوم :

قام English & Maynard (١٩٨١) بتقييم ٢٤ صنفاً وسلالة من الطماطم من حيث القدرة على النمو فى محلول مغذ يحتوى على تركيز منخفض من الكالسيوم قدره ١٦,٥ ملليجراماً كالسيوم لكل نبات، ووجدا اختلافات وراثية بينها فى الاستفادة من الكميات المتاحة من العنصر، معبراً عن ذلك بعدد ملليجرامات المادة الجافة التى ينتجها النبات مقابل كل ملليجرام من الكالسيوم الممتص. كانت أكثر السلالات كفاءة هى سلالة الطماطم P.I. 205040، والسلالة P.I. 129021 من الهجين النوعى L. esculentum x L. pimpinellifolium اللتان احتفظتا بكفاءتهما العالية حتى فى المستويات المرتفعة من الكالسيوم.

كذلك قام Giordano وآخرون (١٩٨٢) بدراسة مماثلة على ١٣٨ سلالة من الطماطم، ووجدوا اختلافات وراثية بينها فى كفاءة الاستفادة من الكالسيوم المتاح لها؛ حيث أعطت السلالات العالية الكفاءة وزناً جافاً يزيد بمقدار ٨١٪ على السلالات القليلة الكفاءة، بينما كان الوزن الجاف لجميع السلالات متقارباً حينما كان الكالسيوم متوافرا بتركيز كاف قدره ٤٠٠ ملليجرام لكل نبات. وقد أظهرت الدراسة أن السلالات العالية الكفاءة كانت أكثر قدرة على امتصاص الكالسيوم من المحاليل المغذية الفقيرة بالعنصر، وأكثر كفاءة فى الاستفادة مما تمتصه منه.

كما تبين من دراسة وراثية - أجريت على أكثر وأقل السلالات كفاءة - أن هذه الصفة تتأثر أساساً بالفعل الإضافى للجينات. وفى دراسة وراثية أخرى - أجريت على أربع سلالات تمثل أقصى الاختلافات فى الاستفادة من الكالسيوم المتوفر بكميات قليلة قدرها ١٠ ملليجرامات من العنصر لكل نبات (Li & Gabelman ١٩٩٠) - وجد أن الكفاءة (معبراً عنها بالوزن الجاف للنبات) تتأثر بفعل الإضافة والسيادة للجينات المتحكمة فى الصفة، التى

تراوحت درجة توريثها ـ على النطاق العريض ـ من ٦٣٪ إلى ٧٩٪، وعلى النطاق الضيق.. من ٤٧٪ إلى ٤٩٪، ومن ٦٨٪ إلى ٧٥٪ فى عائلتين مختلفين.

٧ ـ الفاصوليا :

أ ـ الفوسفو :

درس Fawole وآخرون (١٩٨٢) وراثة كفاءة استفادة نبات الفاصوليا من الكميات المتاحة من عنصر الفوسفور ـ تحت ظروف نقص العنصر ـ واستخدمت لذلك ست عائلات من الفاصوليا، ناتجة من تلقيحات بين سلالات منتخبة ذات كفاءة عالية، أو متوسطة، أو منخفضة فى الاستفادة من العنصر. واتخذ الباحثون الوزن الكلى للنبات ـ تحت ظروف نقص العنصر ـ دليلاً على كفاءة النبات فى الاستفادة منه. وقد أوضحت الدراسة أن التفوق Epistasis كان له دور كبير فى وراثة تلك الصفة، خاصة تأثيرات الإضافة × الإضافة، والسيادة × السيادة، والإضافة × السيادة. وقد كانت تقديرات درجة توريث الصفة على النطاقين (العريض والضيق) عالية.

ب ـ البوتاسيوم :

لم يتمكن Shea وآخرون (١٩٦٧) من التعرف على اختلافات وراثية بين أصناف وسلالات الفاصوليا؛ من حيث قدرتها على امتصاص عنصر البوتاسيوم، إلا أنهم وجدوا اختلافات بينها فى مدى كفاءتها فى تمثيل البوتاسيوم الممتص، علما بأن تلك الاختلافات لم يكن مردها إلى اختلاف السلالات فى حجم البذور. وقد تبين أن صفة الكفاءة العالية فى تمثيل البوتاسيوم يتحكم فيها جين واحد متنح، أعطى الرمز Ke.

جـ ـ الحديد :

درس Coyne وآخرون (١٩٨٢) وراثة القدرة على تحمل نقص عنصر الحديد فى الفاصوليا فى النسل الناتج من التلقيح بين السلالة الشديدة الحساسية P.I. 165078، والأصناف المقاومة GN Valley، و GN Emerson، و GN UI 59. وقد أوضحت نتائج الجيل

الثانى أن المقاومة كمية وسائدة سيادة تامة، بينما تبين من نتائج الجيل الثالث أن المقاومة يتحكم فيها زوجان من الجينات.

هذا.. وتتحكم الجنور فى امتصاص الحديد فى الطماطم، وفول الصويا، والحمص؛ وهو ما تحقق بدراسات التطعيم التى استخدمت فيها طعوم حساسة لنقص الحديد، وأصول مقاومة؛ حيث لم تظهر أعراض الاصفرار الناشىء من نقص الحديد فى الطعوم.كما تأكدت هذه الحقيقة بعمل التطعيم العكسى (باستخدام طعوم مقاومة لنقص الحديد، وأصول حساسة)؛ حيث ظهرت أعراض الاصفرار الناشىء من نقص الحديد على الطعوم.

وحينما أجرى Zaiter وآخرون (١٩٨٧) دراسة تطعيم مماثلة على الفاصوليا ـ استخدموا فيها الصنفين المقاومين لنقص الحديد GN Emerson، و Neb - WMI - 83 - 10 والصنفين الحساسين P.I. 165078، و Steuben Yellow Eye ـ تبين أن الأصول هى التى تتحكم فى المقاومة لنقص العنصر، ربما بسبب قدرتها على امتصاص العنصر أو نقله إلى السيقان. وقد كان نقص الحديد أكثر وضوحاً فى الحرارة المنخفضة (٢٤°م نهاراً، و١٣°م ليلاً) منه فى الحرارة المرتفعة (٢٩,٥°م نهاراً، و١٨,٥°م ليلاً).

وفى دراسة موسعة عن وراثة القدرة على تحمل نقص عنصر الحديد استخدمت فيها ثلاثة تراكيب وراثية حساسة، وسبع مقاومة (هى: GN Valley، و GN 1140، و UI 59، و GN Emerson، و Pinto Ep-1، و Pinto Olathe، و Black Neb - WMI - 83 - 10)، ودرست الصفة فى الآباء والجيل الثانى، وبعض سلالات الجيل الثالث ـ وجد Zaiter وآخرون (١٩٨٧ أ) أن صفة المقاومة يتحكم فيها زوجان من العوامل الوراثية السائدة المكملة لبعضها.

وتجدر الإشارة إلى أن مستوى الحديد المنخفض فى أوراق الفاصوليا ليس دليلاً على نقص العنصر فى النبات؛ إذ إن تركيز العنصر فى الأوراق التى تظهر عليها أعراض الاصفرار غالباً ما يكون مساويا ـ أو أعلى من ـ تركيز العنصر فى الأوراق الخضراء العادية؛ ويرجع ذلك إلى أن أقل من ١٪ من كمية الحديد التى توجد فى النبات هى التى

تدخل فى التفاعلات الحيوية، بينما يتواجد معظم الحديد فى الفيتوفرّين Phytoferrin الذى لا يكون ميسراً بسرعة عند الحاجة إليه فى التفاعلات الحيوية.

٨ ـ القنبيط :

اختبر Hochmuth (١٩٨٤) كفاءة ٤٠ سلالة من القنبيط فى الاستفادة من الكالسيوم الذى وفره لها فى محلول مغذ بمعدل ٣٧٥ ميكرومولاً/ نبات، ووجد أن أكثر السلالات كفاءة أنتجت ١٤ مثل الوزن الجاف لأقل السلالات كفاءة. كما زادت نسبة كفاءة الكالسيوم (مجم مادة جافة/ مجم كالسيوم بالنسيج النباتى) فى أعلى السلالات كفاءة بمقدار ثلاثة أمثال عما فى أقل السلالات كفاءة.

حالات عدم القدرة الوراثية على تحمل نقص العناصر الغذائية

ليس من بين أهداف المربى إنتاج أصناف غير قادرة على تحمل النقص فى العناصر الغذائية فى التربة، ولكن تلك الحالات توجد كطفرات طبيعية، وقد تفيد دراستها فى إنتاج أصناف أكثر تحملاً لتلك الظروف، ومن أمثلة تلك الحالات ما يلى :

١ ـ يوجد فى إحدى سلالات فول الصويا جين متنحٍ ـ أعطى الرمز fe ـ يتحكم فى ضعف كفاءة النبات فى الاستفادة من الحديد الميسر له، ويرجع ذلك إلى ضعف قدرة النباتات المتنحية الأصيلة fe fe على اختزال الحديديك Fe^{3+} إلى حديدوز Fe^{2+} على سطح الجذور. ولا يظهر تأثير هذا الجين إلاّ فى الجذور.

٢ ـ وجد أن سلالة الطماطم T 3820 غير قادرة على امتصاص ونقل الحديد بكميات تفى بحاجة النبات من هذا العنصر؛ حيث بلغ تركيز الحديد بها ربع التركيز الطبيعى، بالرغم من توفر العنصر للنبات. وقد تبين أن هذه الصفة يتحكم فيها جين واحد متنح أعطى الرمز fer (Brown وآخرون ١٩٧٢)، كما تبين من دراسات التطعيم أن التركيب الوراثى للأصل هو الذى يتحكم فى امتصاص الحديد.