٤- المحصول:

طبيعى أن صفة المحصول تحت ظروف شدّ نقص العناصر تكون هى الأفضل للانتخاب على أساسها. ولذا .. يتعين تقدير المحصول فى كل من ظروف نقص العنصر، وظروف عدم النقص، وإجراء الانتخاب على أساس المحصول تحت ظروف الشدّ، وكذلك على أساس النسبة بين المحصول فى حالة الشد والمحصول فى حالة عدم الشد. وكبديل لذلك .. يمكن زراعة التراكيب الوراثية التى يُراد اختبارها تحت ظروف الشدّ، مع زراعة صنف قياسى — ذات قدرة معلومة على تحمل نقص العنصر — على مسافات منتظمة فى الحقل. ويمكن التعبير عن محصول مختلف التراكيب الوراثية كنسبة مئوية من محصول الصنف القياسى فى أقرب قطعة تجريبية مزروعة منه لتلك التراكيب الوراثية. وطبيعى أن الاعتماد على خاصية المحصول يكون — فقط — للآباء والسلالات المنتخبة، حيث لا يمكن تطبيقه على النباتات الفردية فى الأجيال الانعزالية (Singh ١٩٩٣).

مصادر صفة تحمل نقص العناصر وطبيعة التباينات فى الصفة ووراثتها

إن الاختلافات الوراثية بين النباتات يمكن أن تحدد مدى كفاءة النبات فى امتصاص العناصر الغذائية من التربة (Brown ١٩٦٧). وقد أوضح Vose (١٩٦٧) 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 النباتات؛ بهدف تحسين قيمته الغذائية.

تتوفر صفة تحمل نقص العناصر الغذائية فى السلالات البرية وفى الأنواع القريبة من الأنواع المنزرعة وفى الطفرات الطبيعية والمستحدثة، كما أنها تتوفر فى بعض الأصناف المحسنة، وخاصة تلك التى أجريت برامج تربيتها فى مناطق تعانى من نقص معين فى واحد أو أكثر من العناصر الغذائية للنبات. ومن الأمثلة على ذلك صنف فول الصويا Hawkeye ذات الكفاءة العالية فى استخدام الحديد، وكذلك صنف الطماطم Rutgers الذى يتميز بكفاءته فى استخدام الحديد. كما أن نسبة جوهرية من

أصناف القمح التى رُبيت فى استراليا — حيث نقص المنجنيز فى التربة أمر شائع — تعد مقاومة لنقص المنجنيز (Singh ١٩٩٣).

وتتوفر التباينات الوراثية بين أصناف وسلالات المحصول الواحد فى حالات كثيرة، كما تتباين وراثتها من محصول لآخر، كما يلى:

١- الذرة:

وجدت اختلافات فى صفة القدرة على امتصاص أيون الكبريتات بين ثلاث سلالات مرباة داخليًا 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، والنحاص، والبورون، والزنك، والمنجنيز، والألومنيوم، والحديد فى كيزان الذرة. ووجدت كلك اختلافات وراثية فى امتصاص وتراكم الفوسفور — فى النباتات — 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.

وبالنسبة لأصناف الذرة ذات القدرة العالية على تحمل نقص الفوسفور، وجد أن تلك الخاصية ترتبط بكثافة النمو الجذرى، وزيادة نسبته إلى النمو الخضرى، وكثافة تكوين الشعيرات الجذرية، وكذلك ترتبط تلك الخاصية بإفرازات جذرية خاصة تعمل على تيسر الفوسفور المثبت فى صورة فوسفات الحديد أو الألومنيوم.

٢- القمح

توجد تباينات بين أصناف القمح فى قدرتها على تحمل البوتاسيوم.

كذلك تتباين أصناف القمح فى تحملها لنقص الزنك، ووجد أن التراكيب الوراثية المتحملة تفرز جذورها كميات أكبر من الـ phytosiderophore 2-deoxymuginec acid عما تفرزه جذور التراكيب الوراثية الحساسة. كذلك فإن نقص الزنك يزيد من أعداد

بكتيريا الزيدومونادز الفلورية fluorescent pseudomonads، إلاّ أن تلك الزيادة تكون أكبر مع التراكيب الوراثية المتحملة لنقص الزنك.

وتزداد فى التراكيب الوراثية للقمح المتحملة لنقص المنجنيز نسبة مختزلات المنجنيز إلى مؤكسداته فى المحيط الجذرى عما يحدث فى المحيط الجذرى للتراكيب الوراثية الحساسة.

وتزداد كفاءة استخدام النحاس فى أقماح الخبز bread wheat عما فى الأقماح الصلبة durum wheat (Kant & Kafkafi ٢٠١١).

٣- 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 — فى الأصناف العالية الكفاءة فى الاستفادة من المنجنيز — 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 قادرًا 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 (عن Devine ١٩٨٢).

وإذا ما قورنت محاصيل الحبوب الصغيرة من حيث كفاءتها فى استخدام الزنك وتحملها لنقصه، فإن ترتيبها يكون كما يلى: الراى > الترتيكيل > الشعير > قمح الخبز > الشوفان > الأقماح الصلدة. وترجع كفاءة الراى العالية فى تحمل نقص الزنك إلى قوة نموه الجذرى، وكفاءته فى امتصاص العنصر ونقله إلى النمو الخضرى، وإفراز

الجذور لـ phytosiderphores محركة للزنك من الجذور، وكفاءة استعمال النبات للعنصر (Kant & Kafkafi ٢٠١١).

٤- 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.

٥- الفول السودانى:

تفرز جذور الفول السودانى المتحملة لنقص الحديد من الصنف ICGV-86031 أيون الأيدروجين فى ظروف نقص الحديد بدرجة أكبر مما يحدث فى الأصناف الحساسة مثل TCGV-37 (عن Devine ١٩٨٢).

وقد وجدت اختلافات جوهرية فى مقاومة الاصفرار الناشئ عن نقص الحديد فى ١٦ صنفًا من الفول السودانى. وقد ازدادت فى الأصناف المقاومة القدرة الاختزالية للجذور (اختزال الحديد) وقدرتها على إطلاق أيون الأيدروجين تحت ظروف شدّ الحديد. وقد لوحظت علاقات ارتباط عالية (ر = ٠,٧٩) بين قدرة الجذور على اختزال الحديد وشدة الاصفرار (Gao & Shi ٢٠٠٧).

٦- العدس:

يتبين من دراسة أجريت على ١٠ تراكيب وراثية من العدس أن التراكيب الوراثية ذات الشعيرات الجذرية الكثيفة (وهى: Barimasur-3، و Barimasur-4) كانت الأكثر تفوقًا فى امتصاص العناصر الأقل تيسرًا فى التربة (وهى البوتاسيوم والفوسفور والحديد والمنجنيز والنحاس والزنك والموليبدنم)، وهى التى يكون انتقالها نحو الجذور بالانتشار محدودًا (Gahoonia وآخرون ٢٠٠٦).

٧- الطماطم:

أ- النيتروجين:

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

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

ب- الفوسفور:

وجد Coltmann وآخرون (١٩٨٥) اختلافًا فى معدل النمو بين سبع سلالات من الطماطم عند نقص الفوسفور فى بيئة الزراعة، علمًا 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 — أو طول — الجذر كان عاملاً أوليًّا 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.

ونظرًا 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 — تحت ظروف نقص العنصر — 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 — بتركيز منخفض قدره ٩٧ ميكرومول — أن السلالة P.I. 121665 كان على درجة عالية من الكفاءة. وقد تميزت هذه السلالة — دون غيرها — بكثافة شعيراتها الجذرية؛ لذا أطلق على هذا الشكل المظهرى اسم الجذر القطنى Cottony root. وبرغم أن سلالة أخرى — هى P.I. 1102716 — 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 — البوتاسيوم:

قيم Makmur وآخرون (١٩٧٨) ١٥٦ سلالة من الطماطم للقدرة على النمو فى محلول مغذٍ يحتوى على مستوى منخفض من البوتاسيوم قدره ٥ ملليجرامات لكل نبات، ووجدوا اختلافات كبيرة بينها فى كفاءتها فى استغلال الكميات القليلة المتاحة من العنصر؛ معبرًا 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 أساسًا، بينما كان تأثير السيادة والتفوق أقل.

وبرغم أن عنصر الصوديوم ليس ضروريًا 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 ضروريًا لتحديد كفاءة السلالات فى الاستفادة من البوتاسيوم بصورة أفضل؛ وبناء على ذلك .. قام Fidgore وآخرون (١٩٨٩) بتقييم ١٠٠ سلالة من الطماطم فى محلول مغذٍ 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.

واعتمادًا 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 — جوهريًا جدًا — بكل من فعل الإضافة والسيادة والإضافة × الإضافة. وكانت درجة توريث صفة كفاءة إحلال الصوديوم محل البوتاسيوم عالية، وتأثرت جوهريًا جدًا بفعل الإضافة والسيادة. كذلك كانت درجة صفة تراكم الصوديوم بالأوراق العليا عالية، وتأثرت — جوهريًا جدًا — بفعل الإضافة. هذا .. وكان Makmur وآخرون (١٩٧٨) قد وجدوا أن إحدى السلالات ذات الكفاءة العالية فى الاستفادة من البوتاسيوم تستجيب لإضافة الصوديوم حتى مع توفر البوتاسيوم بدرجة متوسطة.

كذلك قيمت ١٠٠ سلالة من الطماطم — حُصل عليها من مناطق جغرافية متباينة — للقدرة على امتصاص البوتاسيوم، والنمو فى صورة تراكم للمادة الجافة، وذلك فى مستويين من البوتاسيوم (فى مزرعة رمل وزيوليت sand-zeolite) هما: مستوى منخفض (٠,٢٥ ملى مول K)، ومستوى مرتفع (١,٠ ملى مول K)، وأمكن تقسيم السلالات إلى ثلاث مجاميع، كما يلى:

١- مجموعة كفوءة تميزت بقدرتها على امتصاص البوتاسيوم فى ظل ظروف شدّ العنصر، مع تراكم للمادة الجافة مساوٍ للتراكم الحادث فى ظل ظروف كفاية البوتاسيوم.

٢- مجموعة غير كفوءة تميزت بقدرتها على النمو الجيد فى ظروف كفاية البوتاسيوم، ولكن بقدرة منخفضة على امتصاص العنصر فى ظل ظروف نقصه، مع انخفاض فى الوزن الجاف فى تلك الظروف.

٣- مجموعة بطيئة النمو تميزت بمحتوى منخفض من البوتاسيوم فى أنسجتها وبوزن جاف منخفض أيًّا كان مستوى البوتاسيوم فى بيئة الزراعة.

ولقد تميزت سلالات المجموعة الكفوءة بكثافة نموها الجذرى وطوله، وبزيادة معدل تدفق البوتاسيوم لكل وحدة من طول الجذر فى ظل ظروف شدٍّ العنصر (Chen & Gabelman ١٩٩٥).

د- الكالسيوم:

قام English & Maynard (١٩٨١) بتقييم ٢٤ صنفًا وسلالة من الطماطم من حيث القدرة على النمو فى محلول مغذٍ يحتوى على تركيز منخفض من الكالسيوم قدره ١٦,٥ ملليجرام كالسيوم لكل نبات، ووجدا اختلافات وراثية بينها فى الاستفادة من الكميات المتاحة من العنصر، معبرًا 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 وزنًا جافًا يزيد بمقدار ٨١٪ على السلالات القليلة الكفاءة، بينما كان الوزن الجاف لجميع السلالات متقاربًا حينما كان الكالسيوم متوفرًا بتركيز كافٍ 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 أساسًا بالفعل الإضافي للجينات. وفي دراسة وراثية أخرى — أجريت على اربع سلالات تمثل أقصى الاختلافات في الاستفادة من الكالسيوم المتوفر بكميات قليلة قدرها ١٠ ملليجرامات من العنصر لكل نبات (Li & Gabelman ١٩٩٠) — وجد أن الكفاءة (معبرًا عنها بالوزن الجاف للنبات) تتأثر بفعل الإضافة والسيادة للجينات المتحكمة في الصفة، التي تراوحت درجة توريثها — على النطاق العريض — من ٦٣٪ إلى ٧٩٪، وعلى النطاق الضيق .. من ٤٧٪ إلى ٤٩٪، ومن ٦٨٪ إلى ٧٥٪ في عائلتين مختلفتين.

هـ — البورون:

لوحظ وجود اختلافات وراثية في توزيع البورون بين الأعضاء النباتية في صنفي الطماطم المتحمل Rutgers وغير المتحمل Brittle، كما كان امتصاص البورون أعلى جوهريًا في Rutgers (Bellaloui & Brown ١٩٩٨).

٨ — الفاصوليا:

قيمت ٢٨٠ سلالة وصنفًا من الفاصوليا (معظمها من برامج تربية أجريت في أفريقيا) لتحمل نقص عناصر النيتروجين والفوسفور والبوتاسيوم، وتحمل سمية الألومنيوم والمنجنيز، وأمكن التعرف على عدة تراكيب وراثية متحملة، كما يلي:

الصفة	السلالات المتحملة
تحمل نقص الفوسفور	**RWR 382, RAO 55, ACC 433, XAN 76, MMS 224**
تحمل نقص البوتاسيوم	**ICA Pijao, EMP 84**
تحمل سمية الألومنيوم	**Muhinga, Ntekerabsilimu, 7/4 ACC**
تحمل سمية المنجنيز	**MCM 5001, XAN 76**

وقد أظهرت الأصناف XAN 76، و RAO 55، و OBA 1 قدرة جيدة على النمو تحت عدة ظروف نقص وسمية للعناصر، وكان برنامج تربية الفاصوليا في راوندا الأغنى في التراكيب الوراثية المتحملة لنقص النيتروجين وسمية المنجنيز، بينما بدا برنامج التربية في أوغندا الأفضل في السلالات المتحملة لنقص الفوسفور، وكان واضحًا أن

منطقة البحيرات العظمى كانت الأغنى بالسلالات المتحملة لسمية الألومنيوم (Wortmann وآخرون ١٩٩٥).

ونتناول – فيما يلي – عرضًا للتباينات بين أصناف وسلالات الفاصوليا فى تحمل نقص مختلف العناصر الغذائية وجهود التربية فى هذا الشأن:

أ– النيتروجين:

توجد تباينات وراثية بين أصناف وسلالات الفاصوليا فى قدرتها على الحصول على النيتروجين من التربة، وفى تثبيت النيتروجين من خلال العلاقة التعاونية مع بكتيريا العقد الجذرية، وفى توجيه استخدامات النيتروجين. ومن أهم استخدامات النيتروجين فى النبات تلك التى تكون فى البناء الضوئى، وخاصة فى تكوين الـ 1-ribulose 1,5-biphosphate carboxylase (الـ rubisco) والكلوروفيل والبروتينات ذات الصلة. وتعرف كفاءة الأوراق المفردة فى استخدام النيتروجين فى البناء الضوئى بأنها المعدل اللحظى لتمثيل ثاتى أكسيد الكربون لكل وحدة مساحة ورقية مقسومًا على كتلة النيتروجين لكل وحدة مساحة ورقية، وتعد هذه الكفاءة مكونًا هامًا للكفاءة العامة لاستخدام النيتروجين فى النبات؛ وبذا .. فإن لها أهمية فى تربية الفاصوليا لزيادة كفاءة استخدام النيتروجين. ولقد وجدت ارتباطات بين مساحة الورقة ومحتواها من المادة الجافة، ومحتواها من النيتروجين (Kimani وآخرون ٢٠٠٣).

وتعد أصناف الفاصوليا القصيرة أقل كفاءة من الأصناف غير المحدودة النمو والمدادة فى امتصاص النيتروجين، ولكن توجد مع ذلك تباينات وراثية كبيرة بين أصناف كل فئة منها. وتعد فترة بقاء الأوراق هامة بالنسبة لكفاءة استخدام النيتروجين (Wortmann وآخرون ١٩٩٥)؛ حيث وجد أن التراكيب الوراثية ذات الأوراق التى لا تعمرٌ كثيرًا أكثر كفاءة فى استعمال النيتروجين عن نظيراتها من ذوات الأوراق التى تعيش لفترات أطول (Kimani وآخرون ٢٠٠٣).

وقد أُجريت تلقيحات دايليل diallel بين ثمانية أصناف واسعة الانتشار من

الفاصوليا، منها ثلاثة متحملة لنقص النيتروجين (هى: CAL 143، و CIM 9314-36، و AFR 708)، والخمسة الأخرى غير متحملة، وقيمت الآباء وعشائر الجيل الأول تحت ظروف نقص النيتروجين وظروف توفره باعتدال. ولقد تبين أن النمو الجيد تحت ظروف نقص النيتروجين يتحكم فيه نظام وراثى إضافى. وكان CAL 143 أفضل الأصناف فى تحمل نقص النيتروجين وتميز بقدرة عالية على التآلف فى كل من ظروف نقص العنصر وتوفره باعتدال (Kimani وآخرون ٢٠٠٣).

ب- الفوسفور:

تتوفر اختلافات وراثية كبيرة فى كفاءة امتصاص الفوسفور بين أصناف وسلالات الفاصوليا البرية والمنزرعة (Araujo وآخرون ١٩٩٨).

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

ووجد أن لكثافة الشعيرات وكثافة النموات الجذرية وأطوالها (وليس أقطارها) وبنائها أهمية كبيرة فى امتصاص الفوسفور، وهى الصفات التى وجدت تباينات وراثية كبيرة فيها بين أصناف وسلالات الفاصوليا (Kimani وآخرون ٢٠٠٣).

وأوضحت دراسات Yan آخرون (١٩٩٥أ) وجود تباينات كبيرة بين أصناف وسلالات الفاصوليا فى كفاءة امتصاص واستخدام الفوسفور للنمو الخضرى، وبدا أن التراكيب الوراثية ذات البذور الكبيرة الحجم كانت أكثر كفاءة. كما تبين (Yan وآخرون ١٩٩٥ب) وجود تباينات مماثلة خاصة بكفاءة استخدام الفوسفور للنمو التكاثرى، إلاّ أنه لم يلاحظ وجود ارتباط دائم بين كفاءة استخدام الفوسفور للنمو الخضرى والنمو التكاثرى.

وقد درس Fawole وآخرون (١٩٨٢) وراثة كفاءة استفادة نبات الفاصوليا من الكميات المتاحة من عنصر الفوسفور — تحت ظروف نقص العنصر — 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 — تحت ظروف نقص العنصر — 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.

وتُعد صفات الوزن الجاف للجذور والنموات الخضرية، وامتصاص الفوسفور واستخدامه من الصفات الهامة لتحمل نقص الفوسفور فى الفاصوليا. وقد قدرت درجة توريث صفة امتصاص الفوسفور — المتحصل عليها من الـ parent offspring regression (درجة توريث على النطاق الضيق) بنحو ٤٠٪. أما النمو الجذرى — كدليل على كفاءة استعمال الفوسفور — فقد وجد أنه صفة كمية، وقدرت درجة توريثها على النطاق العريض بين ٠,٦٩، و ٠,٨٩. وفى دراسة أخرى .. لعب التفوق epistasis (وخاصة التفاعلات إضافى × إضافى، وسيادة × سيادة) دورًا رئيسيًّا فى كفاءة استعمال الفوسفور. كذلك وجدت تأثيرات جينية جوهرية للإضافة والسيادة، وتقديرات لدرجة التوريث على النطاق الضيق تراوحت بين ٠,٤٥، و ٠,٧٦ وقد استخدمت سلالة الفاصوليا P.I. 206002 — ذات الكفاءة العالية فى امتصاص الفوسفور — فى برنامج للتربية لُقحت فيه مع الصنف Sanilac، وأفرز البرنامج عدة سلالات متحملة لنقص الفوسفور (Wortmann وآخرون ١٩٩٥).

ولمزيد من التفاصيل الخاصة بتحمل الفاصوليا لنقص الفوسفور يراجع Lynch & Beebe (١٩٩٥).

جـ – 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، علمًا 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.

د- 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 الجذور 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 الناشئ من نقص الحديد فى الطعوم. كما تأكدت هذه الحقيقة بعمل التطعيم العكسى (باستخدام طعوم مقاومة لنقص الحديد، وأصول حساسة)؛ حيث ظهرت أعراض الاصفرار الناشئ من نقص الحديد على الطعوم.

وحينما أجرى Zaiter وآخرون (١٩٨٧) دراسة تطعيم مماثلة على الفاصوليا استخدموا فيها الصنفين المقاومين لنقص الحديد GN Emerson، و Neb-WMI-83-10 والصنفين الحساسين P.I. 165078، و Steuben Yellow Eye — 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 وضوحًا فى الحرارة المنخفضة (٢٤°م نهارًا، و ١٣°م ليلاً) منه فى الحرارة المرتفعة (٢٩,٥°م نهارًا، و ١٨,٥°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 — وجد Zaiter

وآخرون (١٩٨٧أ) 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 غالبًا ما يكون مساويًا – أو أعلى من – 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 الفيتوفرِّين Phytoferrin الذى لا يكون ميسرًا بسرعة عند الحاجة إليه فى التفاعلات الحيوية.

٩- اللوبيا:

تستجيب سلالة اللوبيا IT90K-277-2 لإضافات صخر الفوسفات للتربة بزيادة المحصول، هذا بينما تستجيب السلالة IT89KD-288 سلبيًّا لمعاملة صخر الفوسفات بارتفاع المحصول عند عدم إضافة الصخر، وانخفاضه عند المعاملة بالصخر.

وأوضحت الدراسات أن بعض البقوليات قادرة على إفراز كميات كبيرة من الأحماض العضوية فى المحيط الجذرى استجابة لنقص الفوسفور.

وتبعًا لإحدى الدراسات فإن خصائص استعمال الفوسفور فى اللوبيا ربما يتحكم فيها جين واحد سائد. وفى دراسة اخرى وجدت انعزالات فائقة الحدود فى كفاءة امتصاص الفوسفور؛ مما يدل على تحكم عدة جينات فى الصفة بتأثير قليل لكل منها (عن Ojo وآخرين ٢٠٠٧).

دُرست وراثة استخدام الفوسفور فى اللوبيا بالتلقيح بين السلالة IT90K-277-2 التى تستجيب إيجابيًّا للمعاملة بصخر الفوسفات والسلالة IT89KD-288 التى تستجيب سلبيًّا لتلك المعاملة، وذلك فى كل من الآباء والجيلين الأول والثانى والتهجينين الرجعيين، وكانت النتائج كما يلى:

١- ظهرت اختلافات جوهرية عالية جدًّا بين العشائر الست فى كل من محتوى البذور من الفوسفور ومحصول البذور.

٢- كان محتوى بذور نباتات الجيل الأول من الفوسفور (٠,٣١ مجم/جم) أعلى من القيمة الوسطية بين الأبوين (٠,٢٧ مجم/جم).

٣- كان محصول بذور الجيل الأول (٤٨,٠٣ جم/نبات) أعلى جوهريًّا - كذلك - من القيمة الوسطية بين الأبوين (٢٨,٠٨٥ جم/نبات)؛ بما يعنى وجود قوة هجين فى كلتا الصنفين.

٤- لم يظهر أى تأثير أمى أو سيتوبلازمى على أى من الصنفين.

٥- أسهمت التأثيرات غير الإضافية (تأثيرات السيادة والتفوق) بصورة جوهرية فى التباينات الوراثية الكلية لكلتا الصفتين.

٦- كانت صفة تركيز الفوسفور بالبذور ومحصول البذور تحت تأثير وراثى كمى، بينما تأثرت الصفة الثانية سلبيًّا بوجود تفوق.

٧- كانت درجة التوريث على النطاق الضيق لصفة تركيز الفوسفور بالبذور ٥٠,١٥٪ (Ojo وآخرون ٢٠٠٧).

١٠- النوع *Cucumis melo*:

قيمت ٤٠ سلالة من *Cucumis melo* - تمثل أكبر قدر من التنوع الوراثى داخل النوع - للتعرف على بنائها الجذرى فى الظروف الطبيعية وظروف نقص الفوسفور، وذلك فى مرحلة البادرة. أظهرت الدراسة وجود اختلافات وراثية بين السلالات المقيَّمة فى طبيعة بناء مجموعها الجذرى، حيث كان الجذر الوتدى هو السائد فى السلالات البرية والمجلوبة exotic، فيما كان المجموع الجذرى الأكثر تفريعًا هو السائد فى السلالات والأصناف المزروعة. كذلك لوحظت اختلافات بين مجموعة من السلالات المختارة من بين الـ ٤٠ سلالة فى استجابة الجذور للنقص الشديد فى

الفوسفور. وقد ارتبطت التباينات فى امتصاص الفوسفور وكفاءة استعماله مع التباينات فى بناء المجموع الجذرى. ففى كل من *C. melo* ssp. *melo*، و *C. melo* ssp. *inodorus*، و *C. melo* ssp. *flexuosus* كان المجموع الجذرى للسلالات البدائية أكبر وأكثر تفرعًا وأكثر كفاءة فى امتصاص الفوسفور، وهى تمثل مجموعة قريبة من بعضها وراثيًا لأجل التربية. وفى كل من *C. melo* ssp. *agrestis*، و *C. melo* ssp. *conomon*، و *C. melo* ssp. *momordica* يمكن استخدام سلالات منها كمصادر لتحسين التباين فى بناء المجموع الجذرى وكفاءة استعمال الفوسفور (Fita وآخرون ٢٠١١).

١١- القنبيط

اختبر Hochmuth (١٩٨٤) كفاءة ٤٠ سلالة من القنبيط فى الاستفادة من الكالسيوم الذى وفره لها فى محلول مغذ بمعدل ٣٧٥ ميكرومول/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.

١٢- الكرفس:

قورن امتصاص وتوزيع البورون بين صنف الكرفس Emerson Pascal (المتحمل لنقص البورون) والسلالة S48-54-1 (غير المتحملة).

لم تلاحظ اختلافات جوهرية بين الصنف والسلالة فى أى من معدل امتصاص البورون أو معدل النمو النسبى، إلاّ أن توزيع البورون بين مختلف الأعضاء النباتية (الأوراق والسيقان والجذور) اختلف بينها، حيث تراكم أكثر من ٦٣٪ من البورون الممتص فى النموات الخضرية فى Emerson Pascal، بينما لم تحدث زيادة فى تلك النسبة فى النموات الخضرية للسلالة S 48-54-1 عن ٤٥٪ (Bellaloui & Brown ١٩٩٨).

١٣- فول الصويا:

أنتج صنف فول الصويا Weber الذى يتميز بتحمله لنقص الحديد الذى يحدث فى الأراضى الجيرية التى أجرى فيها برنامج التربية (عن Devine ١٩٨٢).

١٤- الفاكهة:

أمكن انتخاب شتلات مقاومة للاصفرار Chlorsis (الناشئ عن عدم تيسر الحديد فى الأراضى القلوية) فى كل من التفاح والموالح والعنب. كما أنتجت أصول مقاومة للإصفرار للاستعمال مع بعض أنواع الفاكهة، ومنها العنب. كذلك أمكن انتخاب أصول متحملة لسمية البورون، كما فى أصل البرقوق President (عن Ponnamperuma ١٩٨٢، و Stushnoff & Quamme ١٩٨٣).

وراثة تحمل نقص العناصر المغذية وكفاءة – أو عدم كفاءة – استخدامها

أشرنا إلى وراثة القدرة على تحمل نقص العناصر الغذائية فى مختلف المحاصيل التى ورد بيانها تحت العنوان السابق، ونعرض هنا لمزيد من التفاصيل عن وراثة كفاءة – أو عدم كفاءة – امتصاص العناصر والاستفادة منها.

يتحكم فى وراثة كفاءة امتصاص العناصر والاستفادة منها، أو عدم الكفاءة – غالبًا – جين واحد كما يتضح من جدول (١٣-١).

ولقد وجد أن التحكم الوراثى فى كفاءة استخدام النحاس فى الراى يقع على الذراع الطويل للكروموسوم رقم ٥، وقد استخدمت تلك الصفة فى تربية القمح لتحسين خاصية كفاءة استخدام النحاس (Kant & Kafkafi ٢٠١١).

وأظهرت دراسة وراثية على كفاءة امتصاص الحديد فى فول الصويا أن صفة الكفاءة يتحكم فيها جين واحد سائد يؤثر فى القوة الاختزالية لسطح الجذر.

وفى الطماطم .. وجد أن كفاءة امتصاص الحديد تعتمد على جين واحد رئيسى – يشفر لتمثيل الـ nictoneamide – بالإضافة إلى مجموعة من الجينات الثانوية.