الفصل السادس

تربية الخضر لزيادة قدرتها الإنتاجية

التربية لزيادة المحصول

إن صفة المحصول — كما هو معلوم — صفة كمية مركبة ويذهب بعض مربى النبات إلى اعتبار أن المحصول هو محصلة فعل جميع الجينات التى يحملها النبات، وهو قول لا يذهب بعيدًا عن الواقع. ولكن تتفاوت الصفات النباتية — كثيرًا — من حيث تأثيرها فى المحصول ولا يمكن معرفة الحجم الحقيقى لتأثير كل جين إلا بإنتاج سلالات تختلف فى آليلات هذا الجين — بينما تكون أصولها الوراثة متشابهة (isogenic lines) — ثم مقارنة محصولها

ونظرًا لاختلاف الأسلوب الأمثل للتربية لزيادة المحصول باختلاف المحصول، فإننا نتناول الموضوع بالشرح تحت عدد من محاصيل الخضر كأمثلة.

الطماطم

أولا: المحصول المبكر

يجرى الانتخاب للتبكير فى النضج — عادة — على أحد الأسس التالية:

١–التبكير فى الإزهار أو العقد، أو نضج الثمار قبل موعد معين يتم تحديده سلفًا (على أساس نقص المعروض من الطماطم فى الأسواق خلال فترات معينة)، أو مقارنة بأى صنف آخر يكون من الأصناف القياسية المبكرة، أو التى تزرع على نطاق واسع

٢–كمية المحصول المبكر الذى يتحدد — عادة — على أحد الأسس التالية:

أ– المحصول الذى يتم حصاده خلال الخمسة عشر يومًا الأولى من موسم الحصاد.

ب–محصول الجمعتين أو الجمعات الثلاث الأولى.

ج- المحصول الذى يتم حصاده قبل بداية الحصاد من الصنف القياسى

د- المحصول الذى يتم حصاده قبل تاريخ معين.

وتوجد مقاييس أخرى لتحديد المحصول المبكر وعمومًا فإن المربى يأخذ منها ما يناسبه

وقد دُرس الارتباط بين التبكير فى النضج وصفات نباتية أخرى، بهدف الانتخاب لصفة التبكير دونما حاجة إلى الانتظار لحين نضج المحصول فمثلاً. وجد Pandita & Andrew (١٩٦٧) ارتباطًا معنويًا سالبًا بين محتوى الورقة من عنصر الفوسفور، وعدد الأيام حتى النضج، وذلك فى عدد من أصناف الطماطم التى تختلف فى موعد نضجها كان الارتباط — فى النباتات الصغيرة التى يبلغ عمرها ٦-٨ أسابيع — أكبر مما فى النباتات الأكبر التى يبلغ عمرها ١٠-١٢ أسبوعًا. واقترح الباحثان الانتخاب لصفة التبكير فى النضج، بتحليل مستوى الفوسفور فى أوراق النباتات — وهى فى مرحلة مبكرة من نموها — بدلاً من الانتظار لحين نضج الثمار. هذا.. وقد وجد الباحثان ارتباطًا وثيقًا مماثلاً فى محصول الخس.

وتبعًا لـ Boswell (١٩٣٧).. فإن موعد النضج صفة كمية يتحكم فيها جينات ذات تأثير إضافى — غالبًا — نظرًا لأن نباتات الجيل الأول تكون وسطًا بين الأبوين، بينما تظهر كل التدرجات فى موعد النضج فى نباتات الجيل الثانى. ويعتبر التبكر فى النضج من الصفات المنخفضة فى درجة توريثها؛ حيث قدرت على النطاق العريض (Broad Sense Heritability) بنحو ٢١٪ (Cuartero & Cubero ١٩٨٢).

ثانيًا: المحصول الكلى

من أبرز الأمثلة على الصفات المؤثرة فى المحصول برغم أنها لا تذكر — عادة — فى هذا الشأن صفتا النمو المحدود مقابل النمو غير المحدود والنمو الطبيعى مقابل النمو المتقزم.. علمًا بأن كلتيهما صفة بسيطة يسود فيها النمو غير المحدود والمتقزم على

التوالى كما يتوقع أن يكون لصفات الورقة تأثيرات متباينة فى المحصول الكلى للنبات، ومن أمثلتها: صفات اللون الأخضر مقابل اللون الأخضر المصفر، والطبيعية المظهر مقابل الذابلة Wilty، والعادية الشكل مقابل الشبيهة بورقة البطاطس علمًا بأن جميعها صفات بسيطة يسود فيها اللون الأخضر، والمظهر والشكل الطبيعيين على التوالى. هذا. بينما لا يتوقع أن يكون لصفات أخرى أى تأثير فى المحصول؛ مثل صفة لون ساق البادرة الأرجوانى مقابل اللون الأخضر، وهى صفة بسيطة يسود فيها اللون الأرجوانى.

هذا.. إلاّ إنه عند التربية للمحصول.. فإن جل اهتمام المربى ينصب إما على المحصول الكلى مباشرة، وإما على مكونات هذا المحصول — كل على حدة — وإما على الصفات الفسيولوجية التى يكون لها دور مباشر فى التأثير فى المحصول.

ومن أهم مكونات المحصول فى الطماطم: عدد العناقيد الزهرية، وعدد الأزهار بكل عنقود، ونسبة العقد (أو عدد الثمار بكل عنقود)، ومتوسط وزن الثمرة وكما هو متوقع. فإن درجة توريث المحصول تكون منخفضة جدًّا إذا لم تؤخذ — فى الحسبان — مكونات هذا المحصول، أو الصفات الفسيولوجية التى تؤثر فيه كل على انفراد. فمثلاً. قدرت درجة توريث المحصول على النطاق العريض فى إحدى الدراسات بنحو ١٠٪ فقط وفى المقابل.. ارتفعت درجة التوريث المقدّرة لعدد الثمار بالنبات إلى نحو ٦٣٪ (Cuartero & Cubero ١٩٨٢ و Yassin ١٩٨٨) وكذلك حُصل على تقديرات عالية بلغت ٦٧٪ لدرجة التوريث على النطاق العريض لصفة عدد الأوراق بين العناقيد، وهى — كسابقتها — صفات ترتبط بصفة المحصول الذى يزيد بزيادة عدد الثمار بالنبات، وبنقص عدد الأوراق بين كل عنقودين زهريين.

وتفيد دراسة الأساس الفسيولوجى للمحصول فى إمكانية الربط بين المحصول المرتفع ومختلف العمليات الفسيولوجية، التى تسهم بدور فعال فى إنتاج هذا المحصول فى السلالات المختلفة؛ وبذا تتضح الرؤية أمام المربى. الذى يسعى — بناء على هذه

المعلومات — إلى جمع تلك الصفات الفسيولوجية فى تركيب وراثى واحد يكون أعلى محصولاً من أى من السلالات المستخدمة فى إنتاجه منفردة.

ويتبين — فيما يلى — الاتجاه السائد فيما يتعلق بهذه النوعية من الدراسات:

- وجدت اختلافات كبيرة بين أصناف الطماطم فى كفاءتها فى عملية البناء الضوئى، كما تبين وجود علاقة فى بعض سلالات الطماطم بين كفاءة عملية البناء الضوئى وبعض صفات الورقة المورفولوجية والتشريحية والفسيولوجية وكانت أكثر الصفات دلالة على مدى كفاءة عملية البناء الضوئى هى محتوى الأوراق من الكلوروفيل، حيث بلغ معامل الارتباط (r) بين الصنفين ٠,٦٩.

- أظهرت الدراسات الوراثية أن صفتى كفاءة البناء الضوئى والمحتوى الورقى المرتفع من الكلوروفيل يتحكم فيهما — معًا — جين واحد، وهو ما يعنى أن انتخاب النباتات ذات الأوراق الخضراء القاتمة يعنى — تلقائيًا — انتخاب التراكيب الوراثية ذات الكفاءة التمثيلية العالية. وقد تبين — كذلك — أن تلك الكفاءة العالية كانت مرتبطة بزيادة كبيرة فى كمية ونشاط إنزيم ribulose, 1-5-biphosphate carboxylase.

- تبين أن كفاءة انتقال الغذاء المجهز — من الأوراق إلى الثمار — كانت منخفضة نسبيًا فى أصناف الطماطم غير المحدودة النمو، التى انتقل فيها أقل من ٢٠٪ من الكربون المشع (C^{14}) خلال فترة ٢٤ ساعة، كما اتضح أن أصناف الحصاد الآلى القديمة كانت — هى الأخرى — قليلة الكفاءة فى نقل الغذاء المجهز إلى الثمار وأمكن التغلب على هذه المشكلة بتحسين دليل الحصاد، وبزيادة كفاءة الثمار فى استقبال الغذاء المجهز. ويظهر ذلك بوضوح فى أصناف الحصاد الآلى الحديثة العالية المحصول، التى تعقد ثمارها وتنضج فى وقت واحد.

- اتضح أن ثمار الطماطم لديها قدرة محدودة على تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون بها، بالرغم من أن أديم الثمرة غير منفذ للغازات. فقد وجد أن نسبة المادة

الجافة التى تُصنَّع بالثمار ذاتها تصل إلى ١٠٪-١٥٪ من تلك التى توجد بها، كما لوحظ أن ثمار الأصناف ذات المحتوى الكلوروفيللى المرتفع قبل النضج كانت — أحيانًا — ذات محتوى عالٍ من المواد الصلبة الذائبة الكلية وحامض الأسكوربيك بعد النضج. إلا إنه نظرًا لأن معظم الطفرات المعروفة — التى تؤثر فى لون الثمار غير الناضجة — تؤثر كذلك فى مستوى الكلوروفيل فى النموات الخضرية؛ لذا يصعب تحديد الدور التى تلعبه الثمار فى تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون بها.

• ربما كان من الممكن زيادة المحصول بالانتخاب لصفة المعدل المنخفض للتنفس فى الثمار، خاصة بعد اكتشاف اختلافات وراثية فى مستوى نشاط إنزيم ribulose,1-5 biphosphate carboxylase — المؤثر فى معدل التنفس — فى الثمار (عن Stevens & Rudich ١٩٧٨).

• أظهرت دراسة — أجريت على ١٥ صنفًا من الطماطم، و١٠٤ من هجن الجيل الأول بينها — وجود اختلافات جوهرية جدًّا فى القدرة العامة على التآلف بين الآباء فى جميع الصفات التى درست (وهى الكفاءة التمثيلية، ونسبة المساحة الورقية، والمساحة الورقية الخاصة)، واختلافات جوهرية فى القدرة الخاصة على التآلف لبعض الصفات. كما ظهرت ارتباطات سالبة قوية بين القيم المُقدَّرة للقدرة العامة على التآلف لكل من الكفاءة التمثيلية مع المساحة النسبية للأوراق، والكفاءة التمثيلية مع المساحة الورقية الخاصة Specific Leaf Area. وتبين كذلك وجود ارتباط موجب قوى بين القيم المُقدَّرة للقدرة العامة على التآلف لنسبة المساحة الورقية مع المساحة الورقية الخاصة (Smeets & Garretsen ١٩٨٦).

• أظهرت دراسة أخرى على نفس الأصناف والهجن السابقة وجود اختلافات جوهرية فى كل من القدرة العامة على التآلف والقدرة الخاصة على التآلف بالنسبة لصفات: صافى البناء الضوئى net photosynthesis، والتنفس الظلامى dark respiration، والوزن

الورقى الطازج الخاص specific leaf fresh weight، ومقاومة الثغور stomatal resisance (Van De Dijk ١٩٨٧)؛ وجميعها صفات تسهم بدرجات متفاوتة فى تحديد المحصول الكلى للنبات.

وقد تمكن مربى النبات من توجيه نمو نبات الطماطم بما يناسب حصاده آليًا، وتحقق ذلك بإنتاج نباتات ذات نمو مندمج تعطى جُل إزهارها وإثمارها خلال فترة زمنية قصيرة، الأمر الذى يمكن معه حصادها آليًّا مرة واحدة. ولكن كانت هناك دائمًا مشكلة التربية لزيادة المحصول، مع زيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى تلك الأصناف التى تنضج جميع ثمارها فى وقت متقارب، لأن قدرة النبات على تمثل الغذاء تكون محدودة بتلك الفترة، بعكس الحال فى الأصناف غير المحدودة النمو التى تبقى مثمرة لفترات طويلة.

البطاطس

أوضحت الدراسات الوراثية — التى استخدمت فيها البذور الحقيقية — أن صفة المحصول فى البطاطس تتأثر — فقط — بالتباين غير الإضافى للجينات. وبالرغم من ذلك.. كانت درجات التوريث المقدرة لبعض صفات مكونات المحصول — مثل عدد الدرنات بالنبات وحجم الدرنات — عالية نسبيًا. وقد خلص الباحثون إلى إمكان تحسين محصول البطاطس بالانتخاب للصفات الأخرى ذات درجات التوريث المرتفعة؛ مثل حجم الدرنة (Thompson وآخرون ١٩٨٣).

ويراعى — فى هذا الشأن — انتخاب النباتات التى تضع العدد المناسب من الدرنات بالحجم المناسب. فقد يضع النبات عددًا كبيرًا من الدرنات، إلا أنها تكون صغيرة الحجم لا تصلح للاستهلاك، أو قد يضع عددًا قليلاً من الدرنات، إلا أنها تكون أكبر حجمًا من اللازم؛ لذا.. يلزم دائمًا — عند إجراء التلقيحات — ألا تكون بين أصناف أو سلالات تضع أعدادًا كبيرة من الدرنات الصغيرة، وإلا اضطر المربى إلى

استبعاد نسبة كبيرة من النسل؛ لأن درناته تكون أصغر مما ينبغى، بسبب الزيادة الكبيرة فى أعدادها

وكما سبق أن أوضحنا بالنسبة للطماطم.. فإن طبيعة النمو النباتى قد يكون لها تأثير غير مباشر فى المحصول

وتعد صفة النمو الطبيعى سائدة على صفة النمو المفترش؛ ويتحكم فيها ٣ أزواج — على الأقل — من العوامل الوراثية (عن Howard ١٩٦٩).

كذلك يتوقف محصول البطاطس — إلى حد كبير — على المدة التى تلزم لحين نضج الدرنات. والقاعدة العامة هى أنه كلما تأخر الحصاد ازداد المحصول؛ لذا فمن الضرورى أن يحدد المربى — سلفًا — درجة التبكير أو التأخير فى النضج التى يريدها فى الصنف الجديد علمًا بأنه لا يشترط أن تكون الأصناف المبكرة مبكرة النضج، بل إن المعيار هو إنتاج محصول اقتصادى مربح فى بداية الموسم. ومع ذلك. فهناك من الأصناف المبكرة ما تنضج درناتها مبكرًا هذا. إلا أن جميع الأصناف المتأخرة تكون متأخرة النضج، ولا يمكنها إنتاج محصول اقتصادى مربح مبكرًا فى بداية الموسم

تدل الدراسات الوراثية على أن موعد النضج يعتمد على عدد من الجينات، وأن الأصناف خليطة فى معظم هذه الجينات؛ لذا.. فإن نسبة الانعزالات المبكرة لا تزيد على ٦٠٪ فى التلقيحات بين الأصناف أو السلالات المبكرة وبعضها البعض، وتكون فى حدود ٢٠٪ فى التلقيحات بين الأصناف المبكرة والمتأخرة .

وأيا كانت الصفات التى ترتبط بالمحصول بصورة غير مباشرة.. فإن القدرة على تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون فى النبات تعد أكثر الصفات التى لها ارتباط مباشر بالمحصول. وفى هذا المجال.. وجد Dwelle وآخرون (عن Dwelle ١٩٨٤) اختلافات كبيرة بين أصناف البطاطس فى معدل البناء الضوئى، وأمكنهم تعرُّف عديد من الأصناف المتفوقة فى تلك الصفة. وبدراسة هذه الأصناف تبين أن بعضها كان ذا قدرة

عالية على تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون من خلال السطح العلوى للأوراق (مثل الصنف Lemhi Russet)، بينما تفوق بعضها الآخر فى تثبيت الغاز من خلال السطح السفلى للأوراق (مثل السلالة الخضرية A 6948-4) وبتلقيحهما معًا . أمكن التعرف — فى النسل — على كل الانعزالات الوراثية الممكنة بالنسبة للقدرة العالية أو المنخفضة على تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون من خلال أحد سطحى الورقة أو كليهما، وكان من بينها سلالات قليلة ذات قدرات عالية على تثبيت الغاز من كلا سطحى الورقة، إلا أنها لم تكن جميعها عالية المحصول؛ نظرًا لأن بعضها وجهت الزيادة الكبيرة فى الغذاء المجهز نحو إنتاج نمو خضرى غزير، بينما كان محصول درناتها متوسطًا

الفلفل

يعد عدد الأزهار — عند كل عقدة — من الصفات المميزة لأنواع الجنس *Capsicum*؛ حيث يكون العدد زهرة واحدة عند كل عقدة فى النوع *C. annuum*، و٢–٣ أزهار فى النوع *C. frutescens*، و٣–٥ أزهار فى النوع *C. chinense*.

ويساعد نقل صفة الأزهار الكثيرة عند كل عقدة — من الأنواع البرية إلى الأصناف التجارية — على تركيز عقد الثمار، وتجانس النضج، وخفض تكاليف الحصاد، مع احتمال زيادة المحصول.

وقد قام Subramanya (١٩٨٣) بتلقيح السلالة P.I. 159236 من *C. chinense* مع الصنف Delray Bell من النوع *C. annuum* فى محاولة لنقل صفة تعدد الأزهار عند كل عقدة من النوع الأول إلى الثانى، وكان الجيل الأول بينهما وسطًا فى الصفة، حيث ظهرت به زهرتان عند كل عقدة. وتبين من الانعزالات فى الجيلين الثانى والثالث والتلقيحات الرجعية أن جينات قليلة رئيسية (ربما ثلاثة جينات) تتحكم فى صفة وجود زهرتين عند كل عقدة، بينما لزمت جينات أخرى إضافية لظهور صفة وجود أكثر من زهرتين عند كل عقدة.

وتأكيدًا لذلك.. وجد Tanksley & Iglesias-Olivas (١٩٨٤) أن صفة تعدد الأزهار فى العقدة الواحدة فى النوع *C. chinense* (التى يبلغ متوسطها ٢-٤ أزهار/عقدة، وإن كانت تصل فى بعض الأصناف إلى ١٠ أزهار/عقدة) — مقارنة بطبيعة حمل الأزهار المفردة فى النوع *C. annuum* — يتحكم فيها ٥ أزواج من العوامل الوراثية على الأقل، كما يذكر Greenleaf (١٩٨٦) أن عدد الجينات الذى يتحكم فى هذه الصفة ربما كان ٧ أزواج. وبالمقارنة . كان Barrios & Moskar (١٩٧٢) قد توصلا إلى أن صفة حمل الأزهار فى عناقيد يتحكم فيها عامل وراثى واحد

يعد حجم ثمرة الفلفل صفة كمية يتحكم فيها عديد من العوامل الوراثية وقدر عددها — فى إحدى الدراسات — بنحو ٢٠-٢٣ عاملاً وراثيًا وتكون ثمار الجيل الأول وسطًا فى الحجم بين ثمار نباتات الآباء ويستدل من إحدى الدراسات على أنه يمكن التنبؤ بحجم ثمار الجيل الأول من الجذر التربيعى لحاصل ضرب متوسط حجم ثمار كل من أبوى الهجين كما أوضحت دراسة أخرى أن صفة الثمار الكبيرة سائدة على الثمار الصغيرة (عن Khalil ١٩٧٤).

وقد تبين من دراسات Maksoud وآخرين (١٩٧٧) أن صفة وزن أو حجم ثمرة الفلفل يتحكم فيها زوجان من العوامل الوراثية، مع وجود سيادة جزئية لصفة الثمر الصغيرة، بالإضافة إلى وجود عديد من الجينات المحورة التى تلزم لظهور صفة الثمر الصغيرة، وقدرت درجة توريث الصفة على النطاق العريض بنحو ٨٩٪

هذا.. ويوجد ارتباط موجب بين ثمرة الفلفل ومساحة الورقة، لدرجة أن بعض الباحثين اعتقد بإمكان الانتخاب لصفة الثمار الكبيرة بانتخاب البادرات ذات الأوراق الكبيرة. وبرغم ذلك.. فإن الصفتين يتحكم فيهما عوامل وراثية مختلفة

الخيار

من أهم الصفات التى اهتم بها مربى النبات — لتحسين محصول الخيار — ما يلى:

حالة الجنس والنسبة الجنسية

إن حالة الجنس (كون النبات يحمل — مثلاً — أزهارًا مؤنثة فقط، أم كاملة فقط، أم أزهارًا مؤنثة وأخرى كاملة، أم أزهارًا مذكرة مع أزهار كاملة)، وكذلك النسبة الجنسية (نسبة الأزهار المؤنثة أو الكاملة إلى الأزهار المذكرة) تؤثران فى محصول الخيار؛ ذلك لأن ثمار الخيار (المحصول الاقتصادى) تتكون بنمو مبايض الأزهار المؤنثة أو الخنثى، سواء أعقدت فيها بذور (أى كانت بذرية)، أم لم تعقد (أى كانت بكرية)، كما أن ثمار الخيار تحصد — للاستهلاك — قبل اكتمال نضجها النباتى بوقت طويل؛ وبذا.. يمكن للنبات الواحد أن ينتج عديدًا من الثمار الصالحة للاستهلاك، بعكس الحال فى البطيخ والقاوون اللذين تحصد ثمارهما بعد وصولها إلى مرحلة النضج النباتى. ولأجل هذا كان اهتمام مربى النبات بحالة الجنس، وبالنسبة الجنسية — فى الخيار — كثيرًا

تتوفر فى الخيار جميع حالات الجنس، وهى إنتاج أزهار مذكرة وأزهار مؤنثة على نفس النبات (وحيدة الجنس وحيدة المسكن monoecious)، وإنتاج أزهار مؤنثة فقط (أنثوية gynoecious)، وإنتاج أزهار مؤنثة وأزهار كاملة (gynomonoecious)، وإنتاج أزهار مذكرة وأزهار كاملة (andromonoecious)، وإنتاج أزهار كاملة فقط (hermaphroditic)، وإنتاج أزهار مذكرة وأزهار مؤنثة وأزهار كاملة (trimonoecios)، وإنتاج أزهار مذكرة فقط (androecious)

يتحكم فى صفة إنتاج الأزهار المؤنثة (حالة الـ gynoecious) جين واحد سائد يأخذ الرمز F، ولكن فعل هذا الجين يتأثر — بشدة — بالجينات المحورة وبالعوامل البيئية ولا يشترط أن تكون النباتات الحاملة لهذا الجين كاملة الأنوثة؛ فقد تكون وحيدة الجنس وحيدة المسكن أو خنثى كذلك. ويتوقف ذلك على الجينات الأخرى التى تتفاعل مع الجين F، والخلفية الوراثية للسلالة، والظروف البيئية. ولكن السلالات الحاملة لهذا الجين السائد تكون فيها نسبة الأزهار المؤنثة أعلى منها فى السلالات

ذات الأصول الوراثية المشابهة isogenic lines التى تحمل الآليل المتنحى f. ومن الجينات المؤثرة فى صفة الأنوثة الجين In-F الذى يزيد intensifies حالة الأنوثة (عن Rohinson وآخرين ١٩٧٦).

وقد وجد أن صفة الذكورة (أى إنتاج أزهار مذكرة فقط androecious) يتحكم فيها عامل وراثى متنح أعطى الرمز a، بينما تكون النباتات الحاملة للجين السائد A وحيدة الجنس وحيدة المسكن.

ويذكر أن حالة الجنس فى الخيار يتحكم فيها زوجان من العوامل الوراثية؛ هما: M و F. وبينما يحدد الجين M وآليله m كون الزهرة مؤنثة (M-) أم كاملة (mm).. فإن الجين F وآليله f يحددان ما إذا كان النبات خاليًا تمامًا من أية أزهار مذكرة (F-)، أم تظهر به بعض الأزهار المذكرة على العقد الأولى من الساق الرئيسية (ff). ينعزل الجينان مستقلين عن بعضيهما، وتكون التراكيب الوراثية الممكنة والأشكال المظهرية المقابلة لها كما يلى:

التركيب الوراثى	الشكل الظهرى
M- F-	أنثوى gynoecious
M- ff	وحيد الجنس وحيد المسكن monoecious
mm F-	خنثوى hermaphroditic
mm ff	مذكرة androecious

ويتأثر ذلك كله بكل من الجينات المحورة والعوامل البيئية وقد اقترح Iezzoni وآخرون (١٩٨٢) وجود جين آخر (M-2) — إلى جانب الجين M — يؤثر فى صفة الجنس بطريقة مكملة Complementary، كما وجدوا أن كلا الجينين M، و M-2 يرتبط بشدة بالجين المسئول عن المقاومة لمرض الذبول البكتيرى.

وقد درس Miller & Quisenberry (١٩٧٦) وراثة عدد الأيام من الزراعة إلى حين ظهور أول زهرة مؤنثة، وتوصلا إلى النتائج التالية:

١–كان معظم التباين الوراثى إضافيًا، ولكن ظهرت سيادة جزئية لكل من صفة الإزهار المبكر وصفة تكوين أول زهرة عند عقدة أقرب لقاعدة الساق.

٢–يتحكم فى عدد الأيام – من الزراعة إلى حين ظهور أول زهرة مؤنثة – عدد قليل من الجينات. وكانت درجة توريث هذه الصفة عالية نسبيًا؛ حيث تراوحت من ٠,٤٦ – ٠,٦٢.

٣–برغم اختلاف الأصناف فى سرعة إنبات البذور.. إلا أن هذه الصفة لم تكن ذات أهمية بالنسبة للمحصول المبكر، مقارنة بصفة عدد الأيام إلى حين ظهور أول زهرة بالنبات.

٤–كان للحرارة المنخفضة تأثير سلبى؛ إذ إنها أبطأت النمو النباتى، وأخرت ظهور أول زهرة إلى عقدة أبعد عن قاعدة الساق.

٥–كان الارتباط بين موعد الإزهار ومتوسط تاريخ الحصاد جوهريًا وعاليًا، وبلغت قيمته ٠,٨٢.

هذا.. وتمر نباتات الخيار الوحيدة الجنس الوحيدة المسكن بمراحل للنمو، تنتج فيها النباتات – على التوالى – أزهارًا مذكرة فقط، ثم أزهارًا مختلطة، ثم أزهارًا مؤنثة فقط.

وقد وجد George (١٩٧١) جينًا سائدًا يسرع التحول من حالة إنتاج الأزهار المذكرة إلى إنتاج الأزهار المؤنثة، أُعطى الرمز Acr؛ نسبة إلى الصفة accelerator

وبالمقارنة.. وجد جين آخر متنح يؤخر الإزهار فى ظروف النهار القصير، وقد أُعطى الرمز df؛ نسبة إلى الصفة delayed flowering. وتبين أن حالة من سكون البذور ترتبط بهذا الجين فى الأجيال الانعزالية.

طبيعة النمو

يتحكم فى صفة النمو المحدود جين واحد متنح، يأخذ الرمز de؛ نسبة إلى الصفة determinate، وإن كان البعض يعتقد أن هذا الجين ذو سيادة غير تامة. ويتأثر فعل الجين بجين آخر محور هو In-de.

يوجد جين آخر متنح يجعل النبات خاليًا من القمة لدى تعرضه لصدمة حرارية temperature shock ويأخذ هذا الجين الرمز bl نسبة إلى الوصف الذى يتميز به هذا النبات وهو "blind". ويمنع تكوين المحاليق tendrils جين واحد متنح يأخذ الرمز td، له تأثيرات أخرى فى تركيب الثمرة والورقة.

وبالنسبة لطول النبات فإن الجين السائد T يتحكم فى صفة النبات الطويل tall، ويتحكم الجين المتنحى cp فى صفة النمو المندمج compact، والجين المتنحى dw فى صفة النمو المتقزم dwarf. ويؤدى كل من الجينين الأخيرين إلى تقصير سلاميات النبات.

وجدير بالذكر أن النباتات المندمجة cpcp تكون شديدة التقزم، ولا يزيد حجم بذورها على ثلث حجم بذور النباتات التى تحمل الآليل السائد Cp.

كما أن الجين de الخاص بالنمو المحدود يؤثر فى طول السلاميات، ولكنه لا يؤثر فى عددها (Kauffman & Lower ١٩٧٦). أما الجين in-de.. فيؤدى وجوده بحالة متنحية أصيلة مع الجين de إلى جعل النباتات متقزمة كثيرة الأوراق (George ١٩٧٠). ولجميع هذه الجينات أهمية خاصة عند التربية للصلاحية للحصاد الآلى، ولها تأثيرات كبيرة فى محصول النبات من الثمار، ومسافات الزراعة التى تناسب إنتاج أعلى محصول من وحدة المساحة من الأرض فى كل حالة من حالات طبيعة النمو.

وقد وجدت صفات اقتصادية كثيرة هامة فى الصنف النباتى *C. sativus* var. *hardwickii* يمكن إدخالها فى الخيار المزروع؛ مثل: حمله عدة ثمار عند كل عقدة، وخلوه من ظاهرة السيادة القمية؛ حيث يعطى فروعًا جانبية أكثر وأطول مما فى الخيار.

ولكن يعيب هذا الصنف النباتى أن ثماره صغيرة الحجم (يتراوح طولها من ٤–٨ سم)، بيضاوية الشكل، ويوجد بها فجوات بذرية كبيرة، وعلى سطحها أشواك سوداء قوية، وجلدها صلب قوى، وطعمها مر. هذا.. فضلاً على أن بعض سلالاته التى درست من قبل (مثل P.I. 183967، و P.I. 215589) وجدت قصيرة النهار اختياريًا facultative short–day، كما كانت سلالات أخرى — مثل LJ 90430 قصيرة النهار إجباريًا، حيث لم تزهر إلا عندما قصرت الفترة الضوئية عن ١٢ ساعة مع حرارة ٣٠°م نهارًا، و ٢٠°م ليلاً؛ الأمر الذى يشكل تحديًا للاستفادة من هذا الصنف النباتى فى تحسين الخيار المزروع.

وباستخدام طريقة الانتخاب المتكرر، والسلالة P.I. 90430 من *C. sativus* var *hardwickii* كمصدر لصفة تعدد الثمار .. أمكن إحراز تقدم ملحوظ — خلال ثلاث دورات من الانتخاب — فى متوسط عدد ثمار التخليل/ نبات عند إجراء الحصاد مرة واحدة آليًا

كما حاول Delaney & Lower (١٩٨٧) الجمع بين صفة تعدد الفروع والثمار من هذا الصنف النباتى مع صفة النمو المحدود determinate من سلالتى الخيار Spacemaster، و NCSU M27.

وفى دراسة أخرى. وجد Kupper & Staub (١٩٨٨) أن سبع سلالات من النوع النباتى *C. sativus* var *hardwickii* كانت ذات قدرة عامة على التآلف مع ثلاث سلالات من الخيار فى جميع الصفات التى درساها؛ وهى: عدد الثمار، وعدد الفروع الجانبية، وطول الثمرة، ونسبة طول الثمرة إلى قطرها، وعدد العقد التى تحمل أزهارًا مؤنثة، وعدد الأيام إلى تفتح الأزهار anthesis؛ الأمر الذى يدل على إمكان الاستفادة منه فى تحسين الصفات البستانية فى الخيار.

وبوجه عام.. فإن المربى يأمل فى زيادة محصول النبات الواحد، وتركيز إثماره؛ ليمكن حصاده آليًا من خلال ثلاث صفات؛ هى:

١- صفة التقزم Dwarfism.. حيث يمكن زراعة السلالات المتقزمة على مسافات ضيقة، وبذا.. يزيد عدد الثمار التى يمكن حصادها آليًا مرة واحدة.

٢- صفة الأنوثة.. حيث يبدأ إنتاج الأزهار المؤنثة مبكرًا وبصورة أكثر تركيزًا. وقد وجد Prend & John (١٩٧٦) أن محصول الهجن المتقزمة الأنثوية gynoecious dwarf كان أكثر من مثلى محصول الهجن الأنثوية العادية. كما كان متوسط عدد الثمار بالنبات أكبر مما فى الهجن الأنثوية العادية عندما أجرى الحصاد مرة واحدة آليًا.

٣- صفة كثرة التفريع وكثرة عدد الثمار/نبات التى تتوفر فى الصنف النباتى *C. melo* var. *hardwickii*، وقد سبقت الإشارة إليها.

الكنتالوب

برغم أن قدرة نبات الكنتالوب (القاوون) على إنتاج الثمار (وهى التى تحصد للاستهلاك عند بلوغها مرحلة النضج النباتى) محدودة.. إلاّ أن حالة الجنس والنسبة الجنسية — وهما الصفتان المتحكمتان فى عدد الثمار التى يمكن أن ينتجها النبات — نالتا اهتمامًا كبيرًا من مربى النبات.

لقد وجد أن جينًا واحدًا متنحيًا (a) يحول النبات من الحالة الـ monoecious (أى الوحيد الجنس الوحيد المسكن) إلى الحالة الـ andromonoecious (أى التى يحمل فيها النبات أزهارًا كاملة وأزهارًا مذكرة) (عن Robinson وآخرين ١٩٧٦).

ويذكر Whitaker & Davis (١٩٦٢) أن الجينين: A و G يتحكمان فى وراثة الجنس فى القاوون على النحو التالى: يجعل الجين A معظم الأزهار الكاملة مؤنثة، ويجعل الجين G معظم الأزهار الكاملة مذكرة، وبذا.. يكون نسل النبات الخليط Aa Gg على النحو التالى:

التركيب الوراثى	النسبة	الشكل المظهرى
A-G-	٩	توجد أزهار مذكرة وأزهار مؤنثة monoecious
aa G-	٣	توجد أزهار مذكرة وأزهار كاملة andromonoecious
A- gg	٣	توجد أزهار مؤنثة وأزهار كاملة gynomonoecious
aa gg	١	توجد أزهار كاملة فقط perfect

هذا.. إلا أن النباتات ذات التركيب الوراثى A-gg لا تكون دائمًا gynomonoecious، حيث تتأثر بالعوامل البيئية، فتظهر بعضها أنثوية gynoecious، وقد يصبح بعضها الآخر trimonoecious؛ أى يظهر بها خليط من الأزهار المذكرة، والمؤنثة، والخنثى. ولكن نتائج الدراسات تختلف بشأن حالة الـ trimonoecious ؛ حيث ذكر البعض أن جينين آخرين يتفاعلان مع الجينين a و g لإظهار هذه الحالة.

جدير بالذكر أن النباتات الـ andromonoecious تحمل أزهارًا مذكرة فقط على الساق الرئيسية للنبات، وخليطًا من الأزهار المذكرة والأزهار الخنثى على أفرع النبات وقد اكتشفت طفرة متنحية تمنع تكوين أية فروع من الساق الرئيسية للنبات، وأعطيت الرمز ab نسبة إلى الصفة abrachiate. وبظهور هذه الطفرة على نبات andromoneocious . فإنها تحوله — تلقائيًا — إلى نبات مذكر androecious — لأن الساق الرئيسية للنبات لا تحمل سوى أزهار مذكرة فقط.

وقد وجد ارتباط بين شكل الثمرة وحالة الجنس؛ حيث تُنتج الأزهار المؤنثة — غالبًا — ثمارًا كروية، بينما تُنتج الأزهار الكاملة ثمارًا مطاولة أو بيضاوية.

وقد أدى ذلك إلى الاعتقاد بأن الجين a (الخاص بحالة الـ andromonoecious) ذو تأثير متعدد. وقد وجدت حالات شاذة لهذه القاعدة، يعتقد أنها ترجع إلى وجود جينات محورة.

الكوسة

من بين أهم الصفات المؤثرة فى محصول الكوسة كل من طبيعة النمو، وحالة الجنس.

طبيعة النمو

يتحكم فى طبيعة النمو — من حيث كونه قائمًا، أم مفترشًا — جين واحد (يأخذ الرمز Bu) فى كل من *C. pepo* و *C. maxima*، وربما كان هذا الجين فى نفس الموقع الكروموسومى فى النوعين، إلا أن حالة السيادة تختلف بينهما حسب مرحلة النمو النباتى. ففى *C. pepo*.. تسود صفة النمو القائم كليا تقريبًا فى المراحل الأولى للنمو النباتى، إلا أن السيادة تصبح جزئية فقط فى مراحل النمو التالية. أما فى C. maxima.. فإن النمو القائم يكون سائدًا كليًا فى المراحل الأولى للنمو النباتى، ثم يصبح متنحيًا تمامًا فى المراحل التالية للنمو (Whitakter ١٩٧٤). وفضلاً عما تقدم.. فإن فعل هذا الجين يتأثر بجينات أخرى محورة. وقد اكتشف جين آخر متنح فى *C. pepo*، يجعل النبات شديد التقزم Extreme Dwarf.

حالة الجنس

إن معظم أصناف القرع وحيدة الجنس وحيدة المسكن، ولكنها تختلف — كثيرًا — فى نسبة الأزهار المذكرة إلى الأزهار المؤنثة. ويشذ عن ذلك طفرة بسيطة تحمل أزهارًا مذكرة فقط androecious وجدت فى *C. pepo*، ويتحكم فيها جين متنح يأخذ الرمز a، كما وجدت طفرة أنثوية gynoecious فى النوع *C. foetidissima*، إلا أن استحالة تهجينه مع *C. maxima*، و *C. pepo* حالت دون الاستفادة من تلك الصفة فى هذه الأنواع.

الفاصوليا

برغم وجود اختلافات بين أصناف وسلالات الفاصوليا فى معدل عملية البناء الضوئى، وبرغم اعتماد المحصول على معدلات البناء الضوئى.. فلم يمكن أبدًا — فى

الفاصوليا — ملاحظة أى ارتباط وراثى عالٍ بين الصفتين، وبذا.. لم يمكن الاستفادة من الاختلافات المشاهدة بين السلالات فى معدل البناء الضوئى فى الانتخاب لتحسين المحصول.

إلا أن كمية المحصول تتوقف على ثلاثة عوامل؛ هى:

١–تأقلم التركيب الوراثى مع الظروف البيئية.

٢–قدرة التركيب الوراثى على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية مخزنة فى صورة غذاء من خلال عملية البناء الضوئى.

٣–قدرة التركيب الوراثى على توزيع نواتج التمثيل الغذائى على مختلف الأعضاء النباتية؛ بنسب يتحقق معها أعلى محصول اقتصادى، مع القدرة على نقل هذا الغذاء إليها أولاً بأول.

ويعتبر المحصول البيولوجى Biological Yield، والنمو البيولوجى الكلى Biomass Growth دليلاً على قدرة التركيب الوراثى على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية فى صورة غذاء مجهز، بينما يعبرُ دليل الحصاد عن توزيع الغذاء المجهز على الأعضاء الاقتصادية؛ مقارنة ببقية الأنسجة النباتية. ويعبر معدل نمو البذور (أو الجزء الاقتصادى من النبات) عن كفاءة التركيب الوراثى فى نقل الغذاء المجهز. كما يمكن إيجاد مقياس آخر هو معدل النمو الاقتصادى؛ ليكون دليلاً على العلاقة بين المحصول وفترة النمو النباتى.

وبرغم أن درجات التوريث — التى قدرها مختلف الباحثين لمحصول الفاصوليا — منخفضة للغاية، إلا أن درجات التوريث التى قدرت لبعض الصفات المرتبطة بالمحصول (مثل دليل الحصاد، ومعدل النمو البيولوجى الكلى، ومعدل نمو البذور) كانت مرتفعة بدرجة ملموسة. ولمزيد من التفاصيل عن هذا الموضوع.. يراجع Scully وآخرون (١٩٩١).

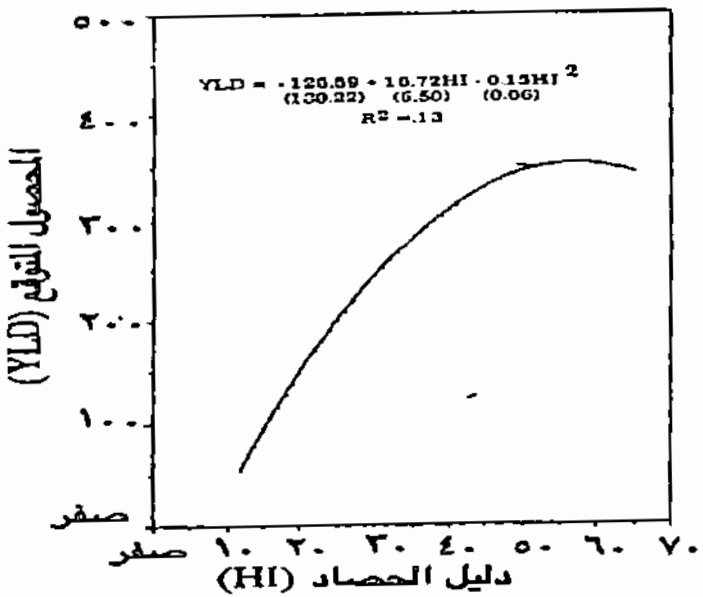
لقد وجدت اختلافات كبيرة فى القدرة على البناء الضوئى بين صنفى الفاصوليا رد كدنى Red Kidney، وميشيليت ٦٢ Michellite 62، وتبين أن معدل تبادل غاز ثانى أكسيد الكربون فى الضوء ومعدل التنفس فى الظلام كان أعلى فى الصنف ميشيليت ٦٢ منه فى الصنف رد كدنى. وبينما كانت نباتات كلا الصنفين ونباتات الجيل الأول بينهما على درجة عالية من التجانس فى كلا الصفتين.. فإن نباتات الجيل الثانى أظهرت اختلافات جوهرية، كذلك ظهرت اختلافات جوهرية فى هاتين الصفتين بين سلالات الجيل الثالث، وبين النباتات فى بعض سلالات هذا الجيل. وقد كانت درجة توريث كلتا الصفتين (معدل تبادل غاز ثانى أكسيد الكربون فى الضوء ومعدل التنفس فى الظلام) منخفضة (Wallace وآخرون ١٩٧١).

وقد قيم Scully& Wallace (١٩٩٠) ١١٢ سلالة من الفاصوليا فى ثمانى صفات ذات صلة بالمحصول، ووجدا مدى واسعا من الاختلافات — فيما بينها — كما يلى:

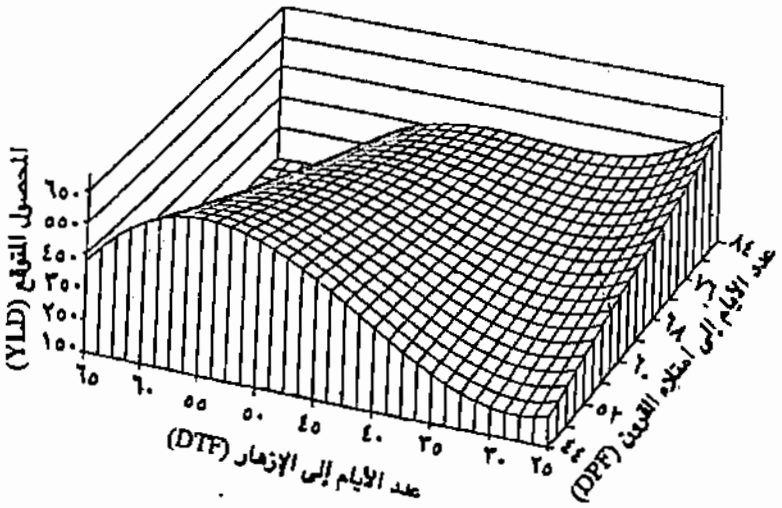
الصفة	المدى
الفترة من الزراعة إلى الإزهار	٢٥ — ٦٦ يومًا
فترة امتلاء القرون	٤٤ — ٨٣ يومًا
الفترة من الزراعة إلى النضج	٧٠ — ١٢٣ يومًا
المحصول الاقتصادى	٨١– ٥٨٧ جم/م^{٢}
المحصول البيولوجى	٢٧٠– ١٠٨٧ جم/م^{٢}
دليل الحصاد	١٢ ٪ — ٦٥٪
معدل تكوين المحصول البيولوجى (المحصول البيولوجى/ عدد الأيام إلى النضج)	٣,٢– ٩,٣ جم/م^{٢}/يوم
معدل تكوين البذور (محصول البذور/ فترة امتلاء القرون)	١,٢– ٩,٥ جم/م^{٢}/يوم
معدل النمو الاقتصادى (محصول البذور/ الفترة من الزراعة إلى النضج)	٠,٦– ٥,٧ جم/م^{٢}/يوم

ولقد وجد ارتباط خطى موجب بين المحصول وكل من: معدلات النمو، والمحصول البيولوجى، وفترة امتلاء القرون، ولكن المحصول البيولوجى ومعدلات النمو كان لها

التأثير الأكبر على التباينات فى المحصول، حيث كان معامل ارتباطها (r^2) مع المحصول ٠,٧١ و٠,٨٤، على التوالى. أما فترة امتلاء القرون فلم يكن تأثيرها ذا شأن فى الاختلافات المشاهدة فى المحصول، حيث كان الارتباط بين الصفتين ٠,٠٩ وقد كان أعلى محصول- تحت ظروف ولاية نيويورك الأمريكية- عندما كان الإزهار بعد ٤٨,٥ يومًا، والنضج بعد ١٦٢,٢ يومًا من الزراعة، وعندما كان دليل الحصاد ٢ ٥٧٪ وتتضح العلاقة بين دليل الحصاد والمحصول المتوقع فى شكل (٦-١)، وبين المحصول المتوقع وكل من عدد الأيام إلى الإزهار، وفترة امتلاء القرون فى شكل (٦-٢).



شكل (٦-١): العلاقة بين دليل الحصاد والمحصول المتوقع فى الفاصوليا



شكل (٦–٢) العلاقة بين المحصول المتوقع وكل من عدد الأيام إلى الإزهار وفترة امتلاء القرون في الفاصوليا (عن Scylly & Wallace ١٩٩٠)

ويذكر Coyne (١٩٨٠) وجود اختلافات كبيرة بين أصناف الفاصوليا فى استجابتها للفترة الضوئية؛ الأمر الذى يؤثر فى طول الفترة التى تمر بين الزراعة والإثمار؛ وهو ما يؤثر — بالتالى — فى قوة النمو الخضرى للنبات عند الإزهار، وفى عدد العقد التى يمكن أن تتكون عندها الأزهار حال إزهار النبات. وتتأثر تلك الحساسية للفترة الضوئية بدرجة الحرارة.

ففى كولومبيا .. أمكن تأخير إزهار أصناف الفاصوليا الحساسية للفترة الضوئية– تحت ظروف الحقل– بزيادة فترة الإضاءة صناعيا؛ وصاحب ذلك زيادة المحصول بنحو ٥٠٪– ٧٠٪.

كما أن بعض أصناف الفاصوليا تغير طبيعة نموها من غير المحدود الشجيرى indeterminate bush إلى المتسلق climbing بمجرد تعريضها للضوء الأحمر لمدة ١٥

دقيقة فى منتصف فترة الظلام. وأمكن إلغاء هذا التأثير للضوء الأحمر بتعريض النباتات للأشعة تحت الحمراء عقب تعريضها للضوء الأحمر مباشرة. ومن الواضح أن تلك الاستجابة للضوء الأحمر والأشعة تحت الحمراء هى من خلال صبغة الفيتوكروم phytochrome

وتبين أن الجين الذى يتحكم فى استجابة نباتات الفاصوليا للفترة الضوئية يختلف عن الجين المسئول عن تغير النمو النباتى من غير المحدود الشجيرى إلى المتسلق ويمكن الاستعانة بالضوء أثناء فترة الظلام لتقييم النباتات للتعرف على مدى ثباتها فى طبيعة النمو.

البطاطا

لا يرتبط محصول البطاطا من الجذور بمعدل البناء الضوئى المقدر لعينة من أوراق النبات، وربما كان مرد ذلك إلى عدة أسباب؛ منها: اختلاف سلالات وأصناف البطاطا كثيرًا فى كثافة نمواتها الخضرية، واختلاف الوضع النسبى لأوراق النبات الواحد؛ الأمر الذى يؤثر فى كفاءتها فى البناء الضوئى تحت الظروف الطبيعية، واختلاف وضع الأوراق المستخدمة فى قياس الصفة — تحت ظروف عملية تقدير معدل البناء الضوئى — عما يكون عليه الحال تحت الظروف الطبيعية فى الحقل. وقد تأكد ذلك من دراسات Bhagsari (١٩٩٠)، والتى أوضحت اختلافات كبيرة جدا بين أصناف وسلالات البطاطا فى معدل البناء الضوئى، إلا أن الاختلافات لم تكن مرتبطة بالمحصول. ومن ناحية أخرى. كان المحصول — فى هذه الدراسة — مرتبطًا بدرجة عالية وجوهرية بدليل الحصاد Harvest Index [(محصول الجذور/الوزن الكلى للنبات) ×١٠٠]، سواء أكان التقدير على أساس الوزن الطازج (r = ٠,٩١)، أم على أساس الوزن الجاف (r = ٠,٩٥) للجذور.

أما دليل المساحة الورقية Leaf Area Index .. فقد كان أعلى من ٥,٠ — فى معظم السلالات — حتى وقت الحصاد، ولكن ذلك كان على حساب نمو الجذور

الخازنة. وبرغم وجود اختلافات بين السلالات فى دليل المساحة الورقية.. فإن تلك الصفة لم ترتبط – بانتظام – بالمحصول.

وقد درس Bhagsari & Ashley (١٩٩٠) الأساس الفسيولوجى للاختلافات فى المحصول بين ١٥ صنفا وسلالة (تركيب وراثى) من البطاطا، ووجدا ما يلى:

١- اختلفت التراكيب الوراثية – فيما بينها – جوهريا فى دليل مساحة الورقية Leaf Area Index خلال المرحلتين المبكرة والمتأخرة للنمو، ولكن ارتباط تلك الصفة بالمحصول لم يكن ثابتًا.

٢- تراوح صافى البناء الضوئى للورقة الواحدة من ٠,٧٤ إلى ١,١٢ مجم ثانى أكسيد كربون لكل م^{٢} فى كل ثانية.

٣- تراوح البناء الضوئى للنمو الخضرى – ككل – من ٠,٨١ إلى ١,١٦ مجم ثانى أكسيد كربون/ م^{٢} /ثانية فى العام الأول للدراسة، ومن ٠,٦٣ – ٠,٨٨ مجم ثانى أكسيد كربون / م^{٢} / ثانية فى العام الثانى، وكانت تلك التباينات معنوية فى السنة الأولى فقط.

٤- تراوح معدل انتقال الغذاء المجهز من الأوراق – بعد أربع ساعات من معاملتها بالكربون ^{14}C – إلى ٢١٪ إلى ٤٦٪، ولكن هذه التباينات لم تكن معنوية.

٥- تراوح دليل الحصاد من ٤٣٪ إلى ٧٧٪، ومن ٣١٪ إلى ٧٥٪ فى العامين الأول والثانى للدراسة، على التوالى.

٦- كان صافى البناء الضوئى للنمو الخضرى – ككل – فى شهر سبتمبر (قرب نهاية موسم النمو) مرتبطًا معنويًا بالوزن الجاف للجذور (معامل الارتباط r = ٠,٥٤) فى العام الأول للدراسة، وبالمحصول البيولوجى (معامل الارتباط r = ٠,٦٠) فى العام الثانى.

٧- ارتبط كل من دليل الحصاد، والمحصول البيولوجى معنويًا بالمحصول الاقتصادى (محصول الجذور).

وقد توصل الباحثان من دراستهما إلى أن صافى البناء الضوئى للنمو الخضرى — ككل— ربما كان أكثر خلال المراحل المتقدمة من تكوين الجذور (أعضاء التخزين)، وأن صافى البناء الضوئى للورقة الواحدة ليس دليلاً جيدًا على المحصول المتوقع، خاصة عندما تختلف التراكيب الوراثية فى متوسط مساحة الورقة فى كل منها.

ويذكر McLaurin & Kays (١٩٩٣) أن النمو الخضرى للنباتات الزاحفة — مثل البطاطا — لا يتوقف بمجرد وصوله إلى النباتات المجاورة لها، وإنما يستمر النمو الجديد فى نفس المكان الذى يوجد فيه النمو القديم، وتكون أعناق أوراق النموات أطول قليلاً لكى تصل بأنصالها إلى الضوء. ويترتب على ذلك أن تنخفض شدة الإضاءة التى تصل إلى الأوراق القديمة تدريجيا، وتنخفض معها قدرتها على البناء الضوئى، إلى أن تصبح عالة على النبات حينما يزيد ما يفقد منها بالتنفس عما تنتجه بالبناء الضوئى، ويصبح سقوط هذه الأوراق فى صالح النبات وزيادة المحصول. ويتميز بهذه الخاصية صنف البطاطا العالى المحصول Jewel الذى يفقد نحو ٦٠٪ من إجمالى الأوراق التى يكونها طوال الموسم — طبيعيًا — قبل موعد الحصاد.

وبرغم أن نحو ٣٧٪ من المعادن والعناصر التى توجد فى أوراق النبات يتم انتقالها إلى أجزاء نباتية أخرى قبل سقوط الأوراق.. إلا أن فقد الأوراق لا يخلو من خسارة للنبات؛ حيث قدرت كمية المادة الجافة التى تفقد بهذه الكيفية بنحو ٢,٨ طنًا للهكتار ومع استمرار تساقط الأوراق يزداد الطلب على الأوراق المتبقية (التى تتناقص مساحتها بالنسبة لإجمالى الوزن الجاف للنبات) لإدامة الأجزاء النباتية الأخرى؛ فيزداد ناتج البناء الضوئى الذى يفقد منها لأجل عمليات الإدامة والصيانة.

وقد وجد الباحثان من دراستهما على أربعة أصناف عالية المحصول من البطاطا أنها أسقطت خلال فترة حياتها — ولغير أسباب مرضية أو حشرية — نسبة عالية من أوراقها، وصلت حتى وقت الحصاد إلى ٤٥٪–٦٠٪ من جميع الأوراق التى كونتها. وقد

وجدا ارتباطًا موجبًا عاليًا بين سقوط الأوراق وبين كل من عدد النموات الخضرية، والعقد الساقية/نبات، والوزن الجاف الكلى، والوزن الطازج للجذور، وكذلك وزنها الجاف، والوزن الجاف للنموات الخضرية. وقدرت كمية المادة الجافة التى فقدت جراء سقوط الأوراق من ١,٢ — ٢,٦ طنًا للهكتار.

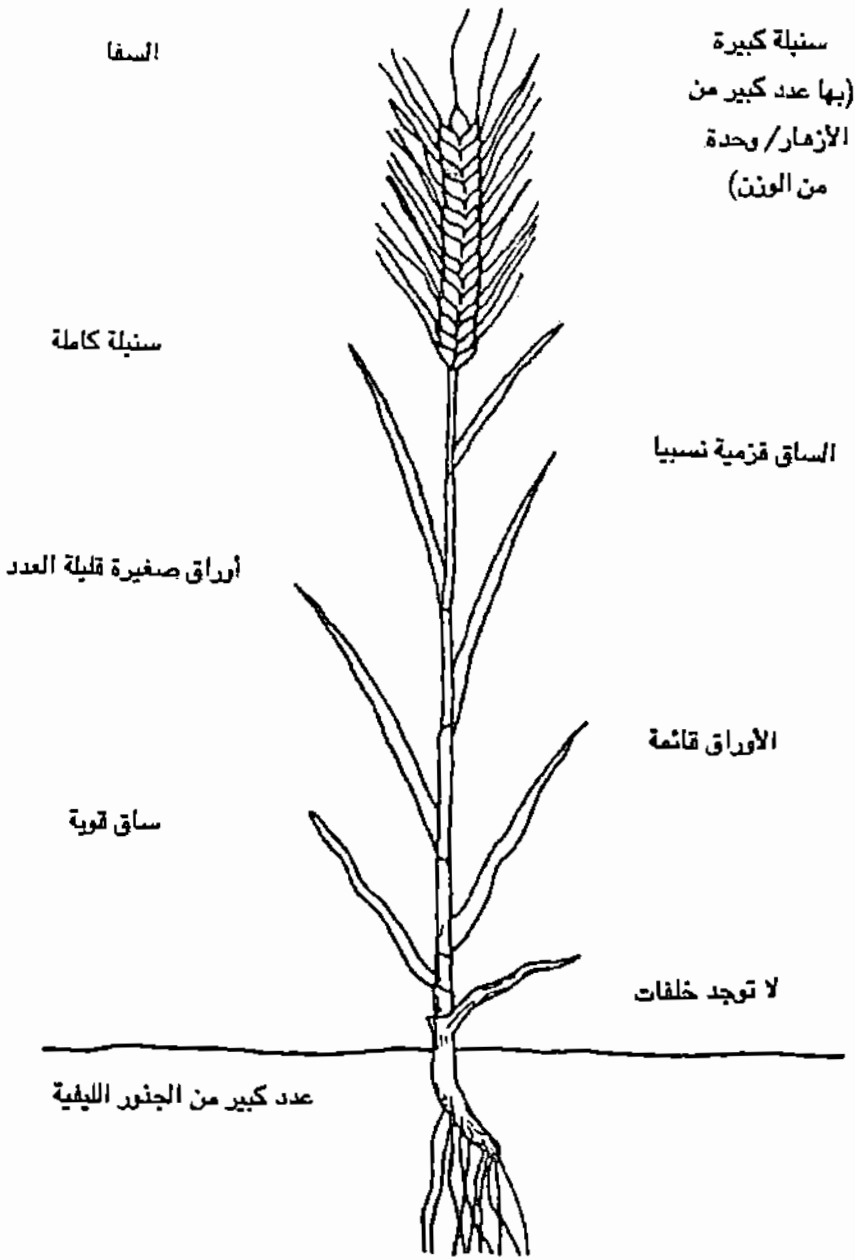
هذا ويذكر Collins وآخرون (١٩٨٧) أن درجات التوريث المقدرة لمكونات المحصول على النطاق العريض تراوحت فى البطاطا من ٠,٧٥ — ٠,٩٢.

التربية لأجل تشكيل النباتات

تركزت معظم الدراسات فى مجال التربية لأجل تشكيل النباتات على محاصيل الحبوب كالقمح والشعير والأرز والذرة، ويتضح ذلك من عرضنا لهذا الموضوع. ويمكن الاستفادة من المبادئ العامة التى نتناولها بالشرح فى هذا الموضوع فى تربية محاصيل الخضر.

مفهوم النبات المثالى

حاول بعض مربى النبات عمل قائمة بالصفات الفسيولوجية والمورفولوجية التى تشكل — فى مجموعها — النبات المثالى (Ideotype) الذى ينبغى أن يكون هدفًا للمربى فى برامج التربية، ومن أمثلة ذلك ال ideotype الذى تم تخيله لنبات القمح (شكل ٦–٣). ولكن. نظرًا لاختلاف المحاصيل الزراعية كثيرًا فى صفاتها الفسيولوجية والمورفولوجية، ولأن هذه الاختلافات تمثل — فى جوهرها — وسائل تأقلم تلك المحاصيل على الظروف البيئية السائدة فى شتى المناطق التى تتواجد فيها؛ لذا.. يمكن القول بأنه لا يوجد شئ اسمه نبات مثالى (ideotype) فى تربية النباتات، وإنما توجد عدة طرز أو نماذج بيولوجية Biological Types



شكل (٦–٣) تصميم لنبات مثالي (an ideotype) من القمح (عن Frey ١٩٨١)

هذا.. ويعطى Kalloo (١٩٨٨) قائمة بالجينات التى تتحكم فى صفات النمو الهامة فى عدد من محاصيل الخضر، والتى يمكن الاستعانة بها فى تصور الطرز البيولوجية — المناسبة لكل منها — فى شتى الظروف البيئية.

أهمية طبيعة نمو الغطاء النباتى

إن الغطاء النباتى هو الذى يؤثر — فى نهاية المطاف — فى كمية الغذاء التى يتم تصنيعها لكل وحدة من مساحة الأرض التى يشغلها النبات. ونجد أن الصفات المورفولوجية التى تتحكم فى بناء أو طبيعة نمو هذا الغطاء الأخضر هى — فى غالبيتها — صفات يسهل تقديرها، وتتميز بدرجات توريث عالية.

وترجع أهمية النمو النباتى إلى تأثيرها البالغ فى مقدار الطاقة الشمسية التى يمكن للنبات اكتسابها من خلال عملية البناء الضوئى؛ فالأوراق القائمة Erect تسمح بنفاذ قدر أكبر من الأشعة الشمسية إلى الأوراق السفلى؛ وبذا.. فإن فائدتها تكون كبيرة فى المناطق التى تتميز بارتفاع شدة الإضاءة.

وتعد صفة الأوراق القائمة من الصفات التى تظهر بوضوح فى طور البادرة، بحيث يمكن انتخاب النباتات الحاملة لها فى طور مبكر من النمو.

وفى المقابل.. فإن صفة الأوراق القائمة ربما لا تكون لها فائدة كبيرة فى محاصيل الحبوب التى يعتمد فيها امتلاء الحبوب على الأوراق العليا للنبات؛ مثل القمح والشعير اللذين يعتمد فيهما امتلاء الحبوب على الورقة العليا (flag leaf) والسفا؛ حيث يتم فيهما قدر كبير من عملية البناء الضوئى التى يخزن ناتجها — مباشرة — فى الحبوب، إلا أن السفا الكثيف قد يؤدى — أحيانًا — إلى تظليل الأوراق.

ويعتقد البعض أن صفة الأوراق القائمة لا تظهر أهميتها إلا عندما يكون دليل مساحة الورقة (LAI) حوالى ٤,٠ — ٥,٠، وتزداد أهمية ذلك كلما ازداد النبات طولا (عن Frey ١٩٨١).

وبالمقارنة بالقمح والشعير . فإن معدل البناء الضوئى منخفض فى نورة الأرز، التى يفضل ألاَ تكون فى موقع يؤدى إلى تظليل الأوراق. وتعد الأوراق التى توجد أسفل ورقة العلم flag leaf فى الأرز أكثر أهمية منها فى القمح والشعير. ولذا نجد أن لوضع الورقة والزاوية التى تصنعها مع الساق أهمية كبيرة فى نبات الأرز؛ لتحسين وصول الضوء إلى الأوراق السفلى. وتأكيدًا لذلك.. تتميز أصناف الأرز الحديثة العالية المحصول بالأوراق القصيرة القائمة، والخلفات القائمة.

كذلك نجد أن نورات الذرة ليست عالية الكفاءة فى البناء الضوئى، ولذا يفضل أن تكون أوراقه قائمة وتعلو عن مستوى الكيزان.

وقد حققت أصناف القمح والأرز ذات السيقان القصيرة نجاحًا كبيرًا لأسباب أخرى غير المحصول الجيد؛ فهى أكثر مقاومة للرقاد، وتستجيب للتسميد الآزوتى بكفاءة عالية دون أن يتداعى نموها النباتى؛ ولذا.. ازداد الاهتمام بانتخاب نباتات الحبوب الصغيرة (مثل القمح، والشعير، والسورجم، والشوفان) القصيرة. وتفضل فى هذا الشأن النباتات القزمية الطويلة tall dwarfs عن النباتات القزمية القصيرة short dwarfs (عن Wilson ١٩٨١)؛ نظرا لارتباط المحصول إيجابيا بطول النبات فى تلك الحدود؛ أى بحيث لا تؤدى زيادة الطول إلى رقاد النباتات (عن Coyne ١٩٨٠). كما أن النباتات القزمية القصيرة تكون قزمية فى نمواتها الخضرية والثمرية على حد سواء، بينما تكون النباتات القزمية الطويلة قزمية فى نمواتها الخضرية، وطبيعية فى نمواتها الثمرية.

كذلك تتوفر اختلافات كبيرة بين كل من الطرز ذات الأوراق القائمة والطرز ذات الأوراق المتدلية flappy — فى كل من القمح والشوفان — من حيث قدرتها على منافسة الحشائش، ولذلك الأمر تأثيره فى المحصول؛ مما يتعين أخذه فى الحسبان عند تقييم تلك الطرز فمثلاً.. وجد فى أحد المواقع البحثية — التى كوفحت فيها الحشائش باستعمال

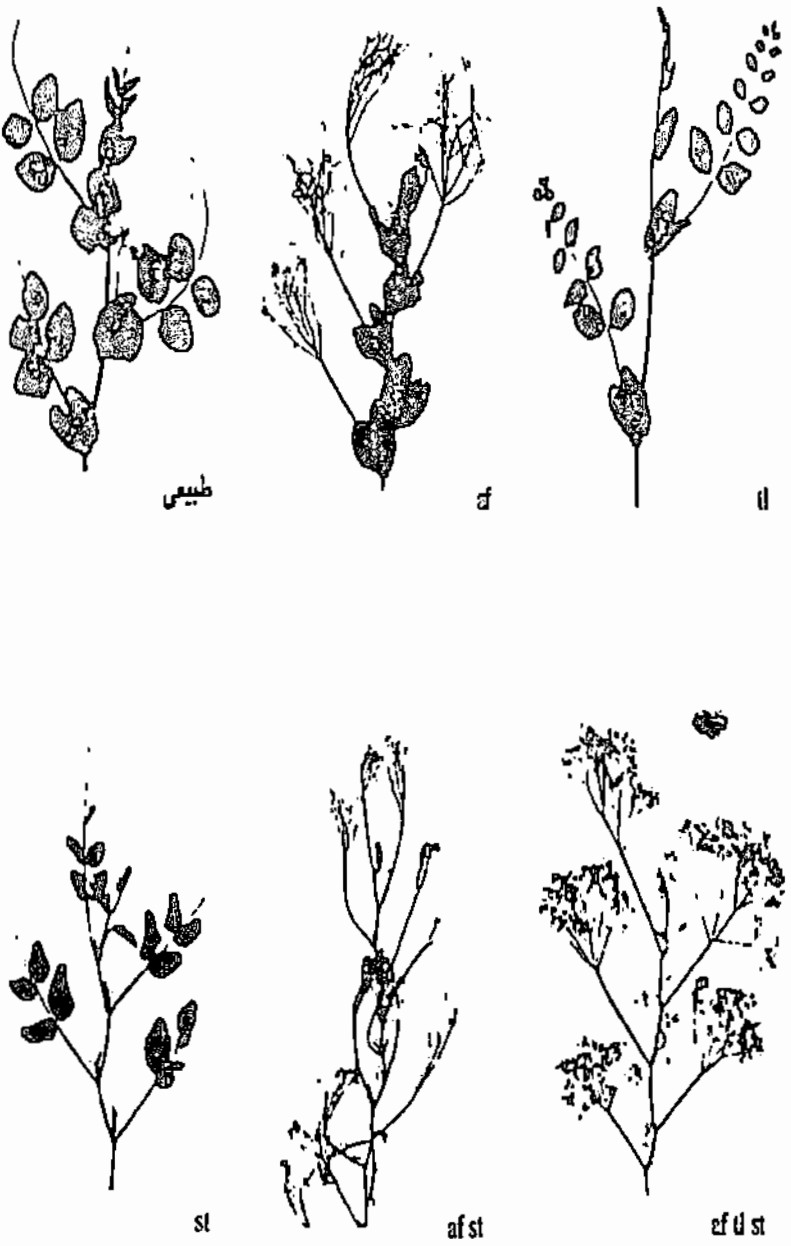
المبيدات – (وكان ذلك فى أونتاريو بكندا) أن أحد أصناف القمح ذات الأوراق القائمة والساق القصيرة كان أعلى الأصناف محصولا، بينما كان نفس هذا الصنف فى موقع آخر – لم تستخدم فيه مبيدات الحشائش – أقل الأصناف المقيمة محصولا.

وقد تبين أن نمو الحشائش بين خطوط الزراعة فى حالة الأصناف القصيرة ذات الأوراق القائمة كان أكثر مما فى حالة الأصناف ذات الأوراق المتدلية؛ التى سرعان ما كونت غطاء نباتيًا كثيفًا ساعد على تثبيط نمو الحشائش. ولو لم يؤخذ هذا العامل فى الحسبان لاختلفت التوصيات تماما بشأن هذه الأصناف.

وفى البسلة.. يتوقف المحصول – إلى حد كبير – على طبيعة النمو الخضرى للنبات؛ الأمر الذى دفع مربى النبات إلى محاولة التحكم فى شكل وطبيعة نمو نبات البسلة بالتربية.

تتوفر فى البسلة ثلاث طفرات متنحية فى شكل وطبيعة نمو البسلة؛ وهى: af التى تؤدى إلى تحول الوريقات إلى محاليق، وtl التى تحول المحاليق إلى وريقات، وst التى تجعل الأذينات صغيرة.

وقد قام Wehner & Gritton (١٩٨١) بقارنة ثمانى سلالات ذات أصول وراثية متشابهة تقريبًا near isogenic lines، وتختلف فى واحد أو أكثر من الجينات الثلاثة السابقة.. أى إن هذه السلالات كانت كما يلى: طبيعية تمامًا وطفرية فى af فقط، وطفرية فى st فقط، وطفرية فى af و tl، وطفرية فى af و st (بدون أوراق كلية)، وطفرية فى tl و st وطفرية فى af، وtl، و st (شكل ٦–٤).



شكل (٦-٤): أشكال طفرات النمو الخضرى af و tl و st فى البسلة.

وقد قارن الباحثان هذه السلالات فى موقعين مختلفين لمدة عامين. وكانت نتائجهما كما يلى:

١-انخفض محصول السلالتين af af tl tl st st، و af af Tl Tl st st عن محصول السلالة الطبيعية، بينما تساوى محصول بقية السلالات الطفرية مع محصول السلالة العادية.

٢-ظهر ارتباط جوهرى بين المحصول والمساحة الورقية.

٣-كانت السلالتان af af Tl Tl St St و af af Tl Tl st st أكثر مقاومة للرقاد من السلالة الطبيعية تمامًا.

٤-كان نمو بادرات السلالة af af Tl Tl st st بطيئًا نسبيًا.

٥-تميزت السلالة af af Tl Tl St St (وفيها تتحول الوريقات إلى محاليق، بينما تبقى المحاليق والأذينات على حالها) بتساوى محصولها مع النباتات الطبيعية، بينما اختلفت عنها - كثيرًا - مورفولوجيًا. ومن أهم المزايا التى يحققها هذا الجين (af) ما يلى:

أ- تسهيل عملية الحصاد.

ب- تسهيل جفاف المحصول فى حقول إنتاج البذور الجافة.

ج-تقليل انتشار الإصابات المرضية خاصة فى المناطق الرطبة.

د- تقليل رقاد النباتات.

هذا.. علمًا بأن استخدام هذا التركيب الوراثى فى الزراعة لا تلزم معه زيادة كثافة الزراعة، وذلك خلاف التركيب الوراثى af af Tl Tl st st (الذى يكون خاليًا تمامًا من الأوراق)، الذى يتطلب زيادة كثافة الزراعة لزيادة المحصول فى وحدة المساحة (Hedley & Ambrose ١٩٨١).

وفى دراسة على معدلات النمو فى هذه السلالات.. قارن Pyke & Hedley (١٩٨٣) ثلاث سلالات؛ هى: العادية Af Af Tl Tl St St، ونصف الورقية af af Tl Tl St St؛ والخالية من الأوراق af af Tl Tl st st، وتبين لهما أن معدل النمو النسبى Relative Growth Rate كان واحدًا فى كل من الطرازين الطبيعى ونصف الورقى، ولكنه كان منخفضًا فى الطراز الخالى من الأوراق.

علاقة النمو النباتى (الجذرى والخضرى) بمقاومة الرقاد

تعد مقاومة الرقاد من أهم الصفات المؤثرة فى المحصول، خاصة فى الحبوب؛ لأن الرقاد يترتب عليه عدم امتلاء الحبوب بصورة جيدة، وعدم التمكن من حصاد النباتات آليا، وزيادة احتمالات إصابة النباتات بالأمراض؛ حيث تكون مكدسة فوق بعضها، وقريبة من سطح التربة.

ومن أهم الصفات التى يتعين توفرها لجعل النباتات أكثر مقاومة للرقاد: قصر الساق، وصلابتها، ومرونتها، وتوفر مجموع جذرى كثيف يثبت النبات فى التربة بصورة جيدة، ومقاومة الأمراض والآفات التى تضعف الساق والجذور.

وقد وجد Stoffella & Khan (١٩٨٦) علاقة طردية بين حجم النمو الجذرى والقوة اللازمة لانتزاع النباتات من التربة، وكذلك بين تلك القوة ومقاومة النباتات للرقاد فى عدد من محاصيل الخضر؛ مثل: الذرة السكرية، والفلفل، والفاصوليا.

وترتبط مقاومة الرقاد فى الذرة السكرية بوجود سلاميات قاعدية قصيرة، مع عدد كبير من الجذور الدعامية prop roots.

النباتات القزمية

كان جريجور مندل أول من كتب عن النباتات القزمية dwarfs، وكان ذلك على البسلة فى عام ١٨٦٦. ومنذ ذلك الحين.. اكتشفت النباتات القزمية وراثيًا فيما لا يقل عن ١٧ عائلة من مغطاة البذور. ومن بين أهم النباتات الزراعية — غير البسلة — التى

تعرف فيها طفرات قزمية: القمح، والأرز، والشعير، والسورجم، والطماطم، والخيار، والكوسة، والبطيخ.

وقد أصبحت لنباتات القمح والأرز القزمية أهمية كبيرة فى الزراعة منذ أواخر الستينيات، وهى تعرف باسم "شبه القزمية" semi-dwarfs؛ تمييزًا لها عن النباتات القزمية فى كل من النموات الخضرية والثمرية؛ نظرًا لأن النموات الثمرية لهذه النباتات شبه القزمية لا تكون أقل حجما مما فى النباتات الطبيعية.

وترجع صفة التقزم فى الأصناف التجارية الهامة من القمح والأرز — وغيرهما من النباتات الزراعية الهامة — إلى قصر سلاميات الساق؛ بسبب احتوائها على عدد أقل من الخلايا/سلامية.

وتتميز النباتات القزمية — مقارنة بقريناتها من النباتات العادية — بما يلى:

١- تُعد أكثر صلاحية للحصاد الآلى.

٢- تصل إلى أعضائها التكاثرية (البذور أو الثمار) نسبة أعلى من العناصر الغذائية المتصة من التربة.

٣-يزداد فيها دليل الحصاد.

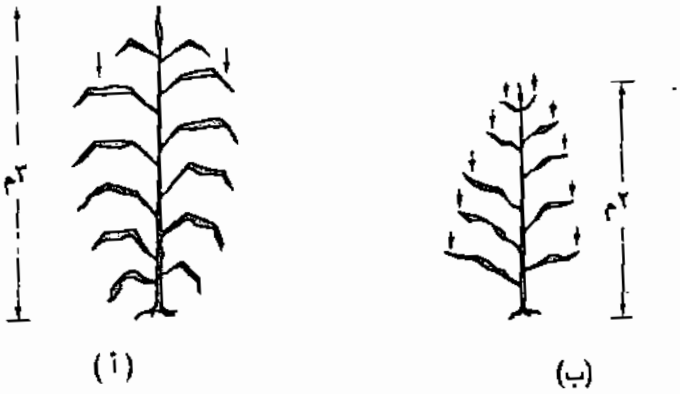
٤-تكون أكثر محصولا بالنسبة لوحدة المساحة من الأرض تحت الكثافة الزراعية العالية والتسميد الجيد (عن Hansche & Beres ١٩٨٠).

وفى الفاكهة.. كان أول اكتشاف للطفرات القزمية فى الخوخ عام ١٨٥٧، وهى تعرف حاليا فى عدد كبير من أنواع الفاكهة والنقل، ومن السهل اكتشافها. وبطبيعة الحال.. فإن ما يهم المربى من هذه الطفرات تلك التى تُحدث تقزما بالنمو الخضرى دون أن يكون لها تأثير فى النمو الثمرى (Lapins ١٩٧٦).

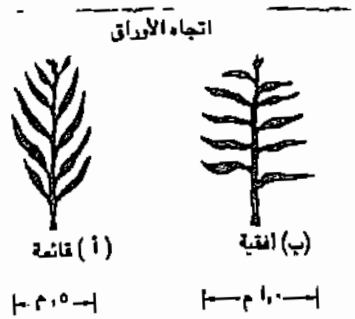
تشكيل النباتات (معمارها، أو هندستها)

بعد أن قدمنا لمفهوم النبات المثالى وتأثير طبيعة النمو النباتى فى المحصول ننتقل الآن إلى استعراض ما يفكر فيه مربى النباتات بشأن تشكيل النبات أو معماره أو هندسته — وهو ما

يعرف فى الإنجليزية باسم Plant Architecture — بهدف زيادة المحصول، سواء أتحقق ذلك من خلال زيادة محصول النبات الواحد، أم زيادة المحصول من وحدة المساحة من الأرض ومن أمثلة هذه الطرز التشكيلية — أو المعمارية — تلك المبينة فى أشكال (٦–٥، و٦–٦، و٦–٧)



شكل (٦–٥) طرازان للنمو النباتى؛ أحدهما قوى ذو أوراق عريضة متدلية (أ)، والآخر صغير ذو أوراق قليلة، ويشبه — فى نموه — شجرة عيد الميلاد (ب).



شكل (٦–٦): طرازان للنمو النباتى؛ أحدهما ذو أوراق قائمة (أ)، والآخر ذو أوراق أفقية تنتشر جانبيًا (ب).

شكل (٦-٧): طراز النمو للنبات النموذجي **Ideal Plant**.

ففى شكل (٦-٥) يظهر طرازان من النمو النباتى: (أ)، و(ب). يتميز الطراز (أ) بالنمو القوى، والأوراق العريضة المتدلية المنتشرة جانبيًا. ومثل هذه النباتات تنافس الحشائش بصورة جيدة، علمًا بأن ذلك ليس له أهمية فى الدول التى تُستخدم فيها مبيدات الحشائش بشكل روتينى. أما الطراز (ب).. فإنه يتميز بنمو خضرى صغير نسبيًا، وبأوراق قائمة تسمح بتخلل قدر أكبر من الضوء إلى الأوراق السفلى، التى تكون — بالتالى — نشطة فى عملية البناء الضوئى؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى زيادة الكفاءة التمثلية للنبات ككل. ونظرًا لقلة عدد الأوراق فى الطراز (ب) مقارنة بالطراز (أ).. فإنه — أى الطراز (ب) — قد ينمو خضريًا لفترة أقل، وقد يعطى محصولاً أعلى؛ بسبب زيادة استقبال أوراقه للضوء، ولأنه يزرع منه عدد أكبر من النباتات فى وحدة المساحة من الأرض، بالإضافة إلى تميزه بفترة ممتدة لامتلاء الحبوب (أو الثمار عموما).

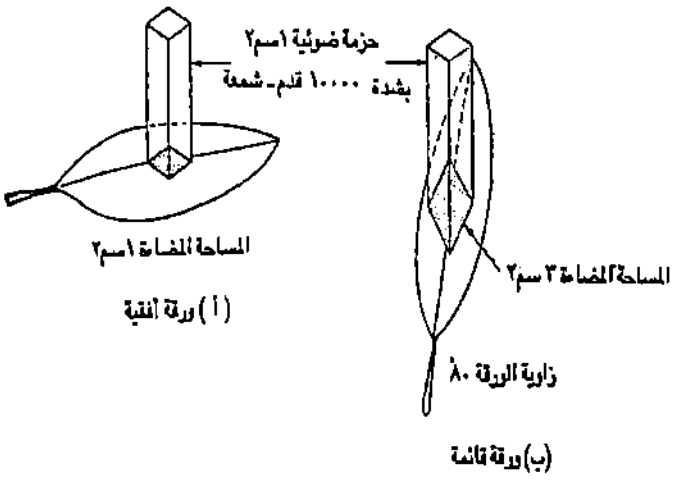
ويبين شكل (٦-٦) طرازين لتوجه الأوراق: (أ) نبات ذو أوراق قائمة، وهو يتطلب — غالبًا — مساحة أقل من الأرض، وتلزم معه زيادة كثافة الزراعة، و(ب) نبات ذو أوراق ممتدة أفقيا لمسافة أكبر مما فى (أ). وإذا زرع كلاهما على نفس الكثافة، فإن الطراز (أ) ذا الأوراق القائمة يكون أكفأ من (ب) فى "حصاد" أشعة الشمس والاستفادة منها.

أما شكل (٦-٧)، فإنه يبين طراز النبات النموذجى ideal plan، الذى يتميز بما يلى: الأوراق العليا قائمة النمو وتتجه إلى أعلى، والأوراق السفلى تميل تدريجيًا إلى النمو الأفقى، ولكنها قصيرة نسبيًا، والنبات نفسه يحتوى على عشر أوراق فقط، وقصير نسبيًا، وذو فترة نمو خضرى قصيرة، وفترة إثمار طويلة. ويكون هذا الطراز مناسبًا للزراعة بكثافة عالية فى خطوط ضيقة.

مما تقدم بيانه يتضح أن الأوراق القائمة المتجهة إلى أعلى مفضلة على الأوراق الأفقية الممتدة أفقيًا، ولعل السبب الرئيسى وراء ذلك هو استقبال الطراز الأول للضوء بصورة أفضل؛ وبذا.. تزيد كفاءة النبات فى الاستفادة من الضوء الساقط عليه فى عملية البناء الضوئى.

فنجد أن شدة الضوء الذى تستقبله الأوراق عند الظهيرة فى يوم مشرق تتراوح من ١٠٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ قدم-شمعة، ولا يمكن لأوراق معظم الأنواع النباتية "حصاد" كل هذه الطاقة؛ بسبب زيادة شدة الإضاءة كثيرًا عما يلزم لوصول عملية البناء الضوئى إلى أقصى معدلاتها؛ لأن ذلك يحدث عند شدة إضاءة تتراوح من ٢٠٠٠ — ٣٠٠٠ قدم-شمعة، وهى شدة الإضاءة التى تعرف باسم التشبع الضوئى Light saturation. ولكن مع نشر الضوء الساقط على مساحة ورقية أكبر.. فإن شدة الإضاءة التى تستقبلها كل ورقة تكون أقل، وتزيد معها كفاءة النبات فى "حصاد" تلك الطاقة فى البناء الضوئى.

دعنا نتخيل سقوط حزمة ضوئية رأسية تبلغ شدتها ١٠٠٠٠ قدم-شمعة على ورقة أفقية (شكل ٦-٨) افترض بعد ذلك أن الورقة اتجهت تدريجيا إلى النمو القائم إلى أعلى. إن المحصلة الحتمية لهذا التغير فى وضع الورقة هو زيادة مساحة الجزء من الورقة المستقبل لحزمة الضوء. وعند ٨٠° — من الوضع الأفقى - نجد أن شدة الضوء (الذى يكون موزعًا على مساحة كبيرة من الورقة) تنخفض إلى مستوى التشبع الضوئى.



شكل (٦-٨) المساحة الورقية التى تستقبل حزمة من الضوء الساقط عليها رأسيًا فى كل من الأوراق الأفقية (أ)، والقائمة إلى أعلى (ب).

ويمكن حساب المساحة الورقية التى تستقبل الحزمة الضوئية فى الورقة القائمة هكذا:

$$\text{المساحة} = \frac{١}{\text{جيب تمام Cosine الزاوية}} = \frac{١}{\text{جيب تمتم ٨٠°}} = ٣ \text{ سم}^٢$$

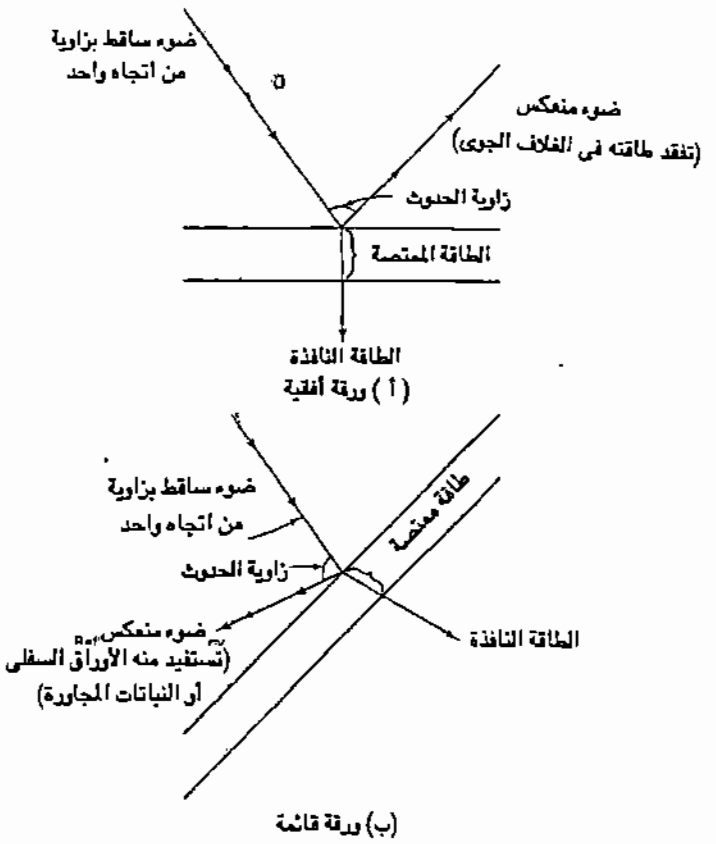
وتكون شدة الإضاءة التى تستقبلها تلك المساحة = $\frac{١٠٠٠٠}{٣}$ = ٣٣٠٠ قدم-شمعة/سم^٢.

هذا.. إلا أنه لا يطبق التحليل السابق بيانه — مباشرة — تحت كل الظروف الحقلية.. فبرغم أن أشعة الشمس تأتى دائمًا من اتجاه الشمس (أى من اتجاه واحد فى أية لحظة)، إلا أن السحب تشتت الضوء إلى درجة أنه يصل إلى النبات من جميع الاتجاهات بدرجات متساوية تقريبًا. كما أن بعض النباتات توجه أوراقها فى مقابل الشمس، وهى الظاهرة التى تعرف باسم الانتحاء الضوئى Phototropism.

هذا.. وتبلغ كفاءة النبات – ككل — فى عملية البناء الضوئى أقصى معدلاتها فى شدة إضاءة ٨٠٠ قدم-شمعة. وبرغم أن معدل البناء الضوئى للورقة الواحدة يكون — فى هذه الحالة — منخفضًا، إلا أن العشيرة النباتية تكون استفادتها أفضل من كل الضوء الساقط، وتزداد

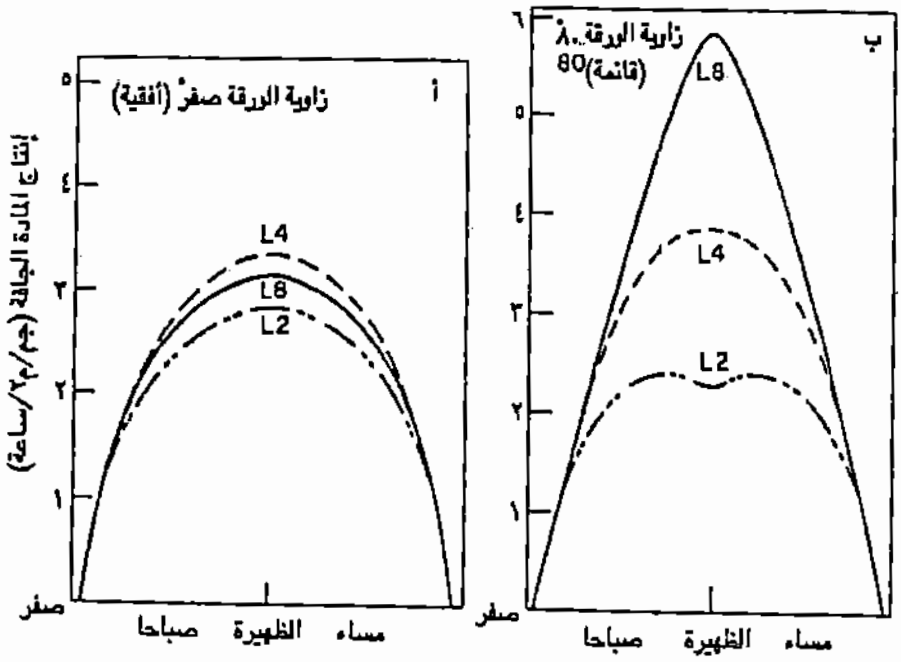
استفادة العشيرة من هذا الضوء إذا كانت الأوراق قائمة ولكن استمرار انخفاض شدة الإضاءة عن ذلك يكون مصاحبًا بنقص فى معدل البناء الضوئى، إلى أن يتساوى معدل البناء مع معدل الهدم بالتنفس عند شدة إضاءة ٣٠٠ قدم—شمعة، وهى ما تعرف بنقطة التعادل أو التكافؤ الضوئىLight Compensation Point، ودونها تصبح الكفاءة التمثيلية سالبة القيمة

ويبين شكل (٦–٩) مصير الأشعة الضوئية الساقطة بزاوية (حوالى ٤٥°) على ورقة أفقية (أ)، وأخرى قائمة إلى أعلى (ب)؛ والذى يتضح منه أن الضوء المعكوس من سطح الورقية يفقد فى الفضاء فى حالة الورقة الأفقية، بينما يتجه نحو الأوراق السفلى — التى تستفيد بدورها منه — فى حالة الورقة القائمة إلى أعلى.



شكل (٦–٩). مصير الأشعة الضوئية الساقطة بزاوية (حوالى ٤٥°) على ورقة أفقية (أ)، وأخرى قائمة إلى أعلى (ب).

وقد استُخدم الحاسوب فى تقييم مدى أهمية الأوراق القائمة للنبات، وتبين أن الأوراق التى تكون بزاوية مقدارها ٨٠° ترتبط — فى المناطق الباردة — بمحصول أعلى عن الأوراق التى تكون بزوايا أقل. وتظهر الاختلافات النظرية فى البناء الضوئى (معبرًا عنها بكمية المادة الجافة المنتجة بالجرام/م٢ من الأرض /ساعة) للأوراق الأفقية تمامًا (صفرْ)، وللأوراق المائلة على الوضع الأفقى بزاوية مقدارها ٨٠° — عندما يكون دليل مساحة الورقة ٢,٠، أو ٤,٠، أو ٨,٠ — تظهر الاختلافات النظرية بين هذه الحالات فى شكل (٦—١٠) ويبدو من الشكل أن أهمية الأوراق القائمة تكون واضحة جلية عندما تكون شدة الضوء أعلى ما يمكن وقت الظهيرة.



شكل (٦—١٠): القيم النظرية (المحسوبة بالحاسوب) لتراكم المادة الجافة فى نبات الذرة عند اختلاف زاوية ميل الورقة، ودليل مساحة الورقة (L)، والوقت من النهار فى المناطق الباردة.

وفى دراسات لاحقة لذلك.. تبين أن أعلى معدل للبناء الضوئى يكون فى النباتات التى تتميز بأوراق علوية قائمة لأعلى، بينما تميل أوراقها التالية تدريجيًا إلى الوضع الأفقى، ولا يكون للأوراق القائمة أهمية تذكر إلا عندما يزيد دليل مساحة الورقة على ٢,٠؛ ذلك لأن زيادة دليل مساحة الورقة تعنى ضرورة أن تكون الأوراق قائمة، ليمكن لكمية أكبر من الضوء النفاذ إلى الأوراق السفلى. كما أن هذه الدراسة أوضحت زيادة أهمية صفة الأوراق القائمة فى المناطق الاستوائية، نظرًا لزيادة شدة الإضاءة — فى تلك المناطق بكثير — عما يلزم الأوراق لكى تصل إلى أقصى معدلات البناء الضوئى ، مقارنة بالمناطق الشمالية.

وتؤكد عدة دراسات عملية أن الأوراق القائمة تؤدى إلى زيادة المحصول (كما فى الذرة، والشعير، وبنجر السكر)، وزيادة شدة الإضاءة التى تصل إلى الأوراق السفلى

هذا.. إلا أن جهود التربية التى بُذلت فى هذا المجال لم يترتب عليها نجاح كبير، وربما يرجع ذلك إلى الأسباب التالية:

١-ربما لا تستمر الورقة القائمة إلى أعلى — فى بداية نموها — قائمة طوال فترة حياة النبات. ففى محاصيل الحبوب.. أمكن رصد حالات كانت فيها الأوراق قائمة إلى أعلى بشكل ملحوظ أثناء مرحلة النمو الخضرى، ولكن الأوراق اتخذت وضعًا يميل إلى الوضع الأفقى تدريجيًا مع بداية ظهور السنابل، وهى المرحلة المهمة التى يتم بعدها تكون الحبوب وامتلائها. ومع خروج السنبلة من غلافها. امتد الجزء العلوى من غمد الورقة جانبيًا، وأجبر ورقة العلم flag leaf على اتخاذ وضع أفقى. ومع تقدم النبات فى العمر. بدأت الأوراق تتدلى إلى أسفل.

٢-لم تثبت صفة الأوراق القائمة فى كل الظروف البيئية. ويتضح ذلك جليًا فى المستويات المختلفة للتسميد الآزوتى؛ حيث تميل الأوراق القائمة إلى الارتخاء إلى أسفل عند زيادة النيتروجين فى التربة (عن Stoskopf ١٩٨١).