الفصل الخامس

المحصول ومكوناته

مكونات المحصول ووراثتها

نظرًا لكون "المحصول الاقتصادى" الذى يزرع لأجله النبات صفة معقدة، يصعب إحراز تقدم سريع فيها بالتربية، لتأثرها الشديد بالعوامل البيئية من جهة (الأمر الذى يُخَفِّض درجة توريثها كثيرًا)، ولكونها محصلة لعديد من الصفات النباتية الأخرى؛ لذا.. كان اتجاه مربى النبات نحو دراسة مكونات المحصول – كل على حدة – مع محاولة الجمع بين المكونات العالية– معًا – فى تركيب وراثى واحد يكون ذا قدرة إنتاجية عالية. ولعل البقوليات من أبرز النباتات التى درست فيها مكونات المحصول، ولذا.. فإننا نستعين بها كأمثلة لتوضيح هذا الموضوع.

البسلة

يتحدد محصول البسلة (W) بعدد من المكونات؛ هى: عدد القرون بالنبات (X)، وعدد البذور بالقرن (Y)، ومتوسط وزن البذرة (Z)، وعدد البذور بالنبات.

وقد وجدت اختلافات بين سلالات البسلة فى عدد البويضات بالمبيض؛ حيث تراوحت من ٤–١٢ بويضة أو أكثر. وتعد هذه الصفة أقل تأثرًا بالعوامل البيئية من صفة عدد البذور بالقرن. وتبين من دراسات Marx & Mishanec (١٩٦٢) على هذه الصفة فى السلالة PI 236493 – التى تنتج حتى ١٢ بويضة بالمبيض، والتى لقحت مع خمس سلالات تنتج بويضات يقل عددها بمقدار ١٠٪–٢٠٪ عما فى هذه السلالة – أن هذه الصفة بسيطة، وأن العدد القليل من البويضات بالمبيض يسود على الكبير.

وأوضحت دراسات Kraup & Davis (١٩٧٠) أنه يتحكم فى محصول البسلة ومكوناته نظام وراثى إضافى، خاصة بالنسبة لكل من X، وY، وعدد البذور بالنبات.

وتراوحت درجة التوريث من ٠,٣٨ لعدد البذور بالنبات إلى ٠,٦٥ لمتوسط وزن البذرة (Z). وكان أعلى ارتباط للمحصول (W) مع (X)، وتلاه الارتباط مع (Y)، ثم مع (Z). ويعتقد الباحثان أن (X) هى أفضل دليل للانتخاب فى البسلة الجافة.

وفى دراسة أخرى.. قدر Pandey & Gritton (١٩٧٥) درجة التوريث — على النطاق الضيق — بنحو ٠,٠٨ فقط بالنسبة لصفة البذور الجافة (W)، بينما ارتفع التقدير إلى ٠,٨٠ بالنسبة لصفة متوسط وزن البذرة (Z).

وحاول مربو البسلة زيادة المحصول – بتربية أصناف تحتوى على عدد أكبر من القرون عند كل عقدة — واكتشفت طفرات بها ٣ قرون عند كل عقدة، واستخدمت فى إنتاج أصناف محسنة تحتوى على هذه الصفة، إلا أنه لم تحدث زيادة كبيرة فى المحصول نتيجة لذلك، مقارنة بالزيادة التى حدثت عند زيادة العدد من قرن إلى قرنين عند كل عقدة. وكان مرد ذلك إلى أن الأصناف ذات القرون الثلاثة — عند كل عقدة – كانت قرونها أقصر، وازدادت فيها نسبة البويضات التى تفشل فى إكمال نموها.

وتتوفر اختلافات وراثية فى عدد الأزهار عند كل عقدة؛ حيث يصل عدد الأزهار إلى ست أزهار وأكثر، كما تتوفر تباينات وراثية أخرى فى حجم القرن، إلا أن ذلك كله يرتبط بحجم البذرة، الذى يصبح عاملاً محددًا فى حالة زيادة عدد القرون، أو عدد البذور بالنبات.

الفاصوليا

كما سبق أن أوردنا تحت البسلة.. فإن محصول الفاصوليا من البذور الجافة يرتبط – هو الآخر – بمكونات هذا المحصول، وهى: عدد القرون بالنبات، وعدد البذور بالقرن، ومتوسط وزن البذور. وقد وجد Coyne (١٩٦٨) ارتباطًا جزئيًّا بين المحصول وتلك الصفات الثلاث، كما وجد ارتباطًا موجبًا منخفضًا بين مكونات المحصول المختلفة؛ مما يدل على إمكان زيادة المحصول بالانتخاب لأحد مكوناته، دون أن يؤثر

ذلك فى المكونات الأخرى وفى تلك الدراسة كانت صفة العدد الكبير من القرون بالنبات سائدة سيادة تامة، ولكن درجات التوريث — المقدرة لكل من صفات المحصول ومكوناته – كانت منخفضة.

اللوبيا

أوضحت عديد من الدراسات أنه يمكن الانتخاب للمحصول المرتفع فى اللوبيا بالانتخاب لأحد مكونات المحصول الرئيسية. وهى: عدد القرون بالنبات، وعدد البذور بالقرن، وحجم البذور، إلا أنه يفضل — دائمًا – الانتخاب لصفة المحصول ذاتها. هذا.. وقدرت درجة التوريث — على النطاق العريض – بنحو ٥٤,٨٪ لصفة عدد القرون بالنبات، وبنحو ٤٦,١٪ لصفة محصول البذور.

الأساس الفسيولوجى للمحصول

العوامل المؤثرة فى الكفاءة الإنتاجية

إن الإنتاج المحصولى — لأى نبات – يعتمد على أربعة عوامل أساسية؛ هى:

١– معدل البناء الضوئى Photosynthesis.

٢– معدل التنفس Respiration.

٣– معدل انتقال الغذاء المجهز من أماكن تصنيعه فى الأوراق إلى حيث يستفيد منه النبات فى نموه، أو إلى حيث يخزن فى أعضاء التصنيع (Translocation).

٤– نسبة الغذاء المجهز التى تنتقل إلى الأجزاء الاقتصادية من النبات — وهى الأجزاء التى يزرع من أجلها المحصول – من الغذاء المُصنّع الكلى الذى يحتفظ به النبات بعد استقطاع الجزء المفقود منه بالتنفس.

ويتفرع من هذه العوامل الأربعة أمور أخرى كثيرة تتفاعل معها؛ حيث تؤثر فيها وتتأثر بها. وسوف نحاول من مُحصّلة ذلك كله — دون الدخول فى تفاصيل التحولات

لعمليتى البناء الضوئى والتنفس – الخروج بمفهوم واضح عن الأساس الفسيولوجى للمحصول فى النباتات.

إن من بين أهم الصفات المؤثرة فى الاختلافات بين الأصناف من حيث كفاءتها الإنتاجية ما يلى (عن Wallace وآخرين ١٩٧٢):

١–حجم المجموع الجذرى ومدى تشعبه؛ حيث توجد علاقة موجبة بين النمو الجذرى والكفاءة الإنتاجية.

٢–معدل البناء الضوئى فى وحدة المساحة من الأوراق.

٣–طريقة حمل الأوراق؛ فالأوراق القائمة تسمح بوصول الضوء إلى الأوراق السفلى بدرجة أكبر من الأوراق الأفقية؛ ومن ثم تزيد القدرة على البناء الضوئى فى الحالة الأولى.

٤–مدة بقاء الأوراق على درجة عالية من الكفاءة فى عملية البناء الضوئى.

٥–معدل انتقال المواد الغذائية المجهزة – خلال عملية البناء الضوئى – إلى الأعضاء النباتية التى يزرع من أجلها المحصول.

٦–مساحة الأوراق فى وحدة المساحة من أرض الحقل.

٧–المساحة الكلية لأوراق النبات، والمساحة الورقية المعرضة للضوء.

٨–سمك الورقة؛ حيث يزيد البناء الضوئى كلما ازداد سمك الورقة.

٩–معدل تبادل غاز ثانى أكسيد الكربون.

١٠– حجم الثغور، وأعدادها، ومدى مقاومتها لتبادل الغازات من خلالها، ومدة بقائها مفتوحة.

١١– مدى مقاومة النسيج الوسطى للورقة (الميزوفيل) لتبادل الغازات

١٢– مدى توفر الإنزيمات اللازمة لعملية البناء الضوئى.

١٣- معدل التنفس.

١٤- الاختلافات الوراثية فى الاستجابة للفترة الضوئية، والحرارة، والارتباع Vernalization، والتسميد...إلخ.

وباختصار.. فإن المحصول الاقتصادى يعد محصلة لثلاثة أمور (عن Scully & Wallace ١٩٩٠)؛ هى:

١- مدى تأقلم أو توافق النبات على العوامل البيئية السائدة.

٢- قدرة النبات على "حصاد" الضوء من خلال عملية البناء الضوئى.

٣- قدرة النبات على تخصيص ونقل جزء كبير من الغذاء المجهز فى عملية البناء الضوئى إلى الأعضاء الاقتصادية التى يزرع من أجلها النبات.

ولقد لخص Wallace وآخرون (١٩٧٢) الدراسات التى أجريت على الأساس الفسيلولوجى للاختلافات الوراثية فى كمية المحصول، مع التركيز على الفاصوليا؛ لكثرة الدراسات التى أجريت عليها فى هذا المجال. ويخلص الباحثون إلى أنه يمكن الاستعانة بالدراسات — التى أجريت على المكونات الفسيولوجية للمحصول — فى اختيار الآباء التى تستعمل فى برامج التربية؛ حيث قد يكون السبب فى ارتفاع المحصول زيادة المساحة الورقية فى أحد الأصناف، والتوزيع الجيد للضوء الساقط على المجموع الخضرى فى صنف ثان، ودليل الحصاد harvest index المرتفع فى صنف ثالث... وهكذا؛ الأمر الذى يعنى إمكان تجميع تلك الصفات — معًا — فى صنف واحد بالتربية.

هذا.. إلا أن كثرة المكونات الفسيولوجية للمحصول، وتداخلها، وتفاعلها مع بعضها البعض، ومع العوامل البيئية تؤدى — فى نهاية الأمر — إلى جعل درجة توريث تلك المكونات منخفضة جدًا؛ الأمر الذى يعد تحديًا للمربى.

دور البناء الضوئى

إن معدل البناء الضوئى ليس صفة بسيطة يمكن أن تؤخذ نتائج قياساتها كدليل مباشر على اختلافات وراثية بين النباتات فيها فمع فرض توفر العناصر الغذائية، وغاز ثانى أكسيد الكربون، ودرجة الحرارة المناسبة لاستمرار عملية البناء الضوئى دون عوائق.. فإن معدل تلك العملية يتأثر بعديد من العوامل الأخرى؛ منها ما يلى

١-مساحة الورقة.

٢-زاوية الورقة.

٣-الضوء المنعكس من الأوراق.

٤-الضوء النافذ خلال الأوراق.

٥-العلاقة الفسيولوجية بين شدة الإضاءة ومعدل البناء الضوئى، وهو ما يُعرف باسم منحنى الاستجابة للضوء Light Response Curve.

٦-مستوى الشمس فوق خط الأفق.

٧-شدة الإضاءة الشمسية(عن Stoskopf ١٩٨١).

إن الانتخاب المباشر لزيادة المحصول الاقتصادى فى محاصيل البقوليات التى تزرع لأجل بذورها — مثل الفاصوليا — لم يحقق نتائج على مستوى التوقعات. كما أن محاولات تحسين المحصول — من خلال الانتخاب غير المباشر لصفات فسيولوجية، أو بيوكيمائية ترتبط بعملية البناء الضوئى — كان كذلك مخيبا لآمال الكثيرين من مربى النباتات. ولا يعنى ذلك أن البناء الضوئى والمحصول الاقتصادى صفتان غير مرتبطتين؛ فذلك أمر غير منطقى، ولكن ما تعنيه نتائج تلك المحاولات أنها لم تجر فى الاتجاه الصحيح؛ حيث لم تكن القياسات التى استخدمت كأساس لعملية الانتخاب دلائل مناسبة للمحصول. فعلى سبيل المثال.. أوضح بعض الباحثين أن القياسات اللحظية

لمعدل البناء الضوئى لا يمكن أن تعد دليلاً على المحصول، أو على صافى عملية تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون خلال كل موسم النمو.

وإذا ما أُجرى انتخاب غير مباشر اعتمادًا على صفة أخرى.. فإن درجة توريث تلك الصفة يجب أن تكون أعلى من درجة توريث صفة المحصول، وأن يكون ارتباطهما معًا عاليًا. وقد وجد فى الفاصوليا أن هذه الفروض النظرية لم يمكن تحقيقها أو العمل بها، برغم وجود اختلافات وراثية عالية فى معدل البناء الضوئى بين أصناف الفاصوليا وسلالاتها(عن Scully & Wallace ١٩٩٠).

كذلك فإن معدل البناء الضوئى المقدر فى ورقة واحدة من النمو الخضرى للنبات لا يقوم دليلاً على معدل البناء الضوئى فى كل النمو الخضرى؛ نظرًا لاختلاف الأوراق كثيرًا فى تلك الخاصية.

وربما لا يرتبط المحصول الاقتصادى بمعدل البناء الضوئى؛ بسبب اختلاف المساحة الورقية بين مختلف الأصناف. ففى البطاطا.. كان معدل البناء الضوئى للورقة الواحدة فى الصنف سنتينيال Centennial أقل مما فى آخر — باستثناء صنف واحد — وبالرغم من ذلك احتل الصنف سنتينيال المركز الثالث — بين هذه الأصناف — فى محصول الجذور. كما تبين أن مساحة الورقة الواحدة فى هذا الصنف كانت أكبر مما فى الأصناف الأخرى.

ويقودنا ذلك إلى استعراض العلاقة بين معدل البناء الضوئى للورقة الواحدة، ومعدل انتقال الغذاء المجهز منها؛ لما لذلك من تأثير بالغ فى المحصول.. وقد تبين وجود ارتباط إيجابى بين الصفتين فى الفول السودانى وعديد من النباتات من ذوات المسارات النباتية C_3و C_4 على حد سواء(عن Bhagsari & Ashley ١٩٩٠).

وتتوفر اختلافات واضحة فى معدل البناء الضوئى بين مختلف الأنواع النباتية، ولكن الجانب الأكبر من تلك الاختلافات يعتمد على ما إذا كانت التحولات الكيميائية

الحيوية — خلال عملية البناء الضوئى – تأخذ المسار C_3، أم المسار C_4، إذ توجد اختلافات وراثية فى معدل البناء الضوئى/ وحدة المساحة الورقية بين طرازى النباتات كما سيأتى بيانه

وبرغم أنه يمكن تقدير معدل البناء الضوئى بدقة عالية إلا أن الطرق المستخدمة فى هذا الشأن لا تناسب مربى النبات الذى يتعين عليه —فى كثير من الأحيان– تقييم مئات أو آلاف النباتات أو السلالات خلال فترة وجيزة من الزمن.

وقد أمكن — فى هذا الشأن – التوصل إلى طريقة تفيد – على الأقل – فى اكتشاف الطفرات الأقل كفاءة فى عملية البناء الضوئى (Photosynthetic Mutants) ويتم ذلك بتعريض النباتات للأشعة فوق البنفسجية فى الظلام، حيث تظهر النباتات التى تحتوى على كلوروفيل غير طبيعى استشعاعًا أحمر اللون؛ وبذا يمكن التخلص منها. وتبدو تلك النباتات خضراء طبيعية اللون تحت ظروف الحقل، ولكنها لا تقوم بعملية البناء الضوئى بصورة طبيعية لعدة أيام أو أسابيع فى مبدأ حياتها، الأمر الذى يجعلها ضعيفة النمو آنذاك، برغم أن نباتاتها الكاملة قد تبدو طبيعية (عن Walbot ١٩٧٧).

دور التنفس

يعد التنفس أهم العمليات الحيوية التى تستنفذ طاقة النبات، حيث يؤدى إلى استهلاك الغذاء – المجهز فى عملية البناء الضوئى – بدلاً من الاستفادة منه فى مزيد من النمو الخضرى الذى تزرع لأجله بعض النباتات كالخضر الورقية ومحاصيل المراعى، أو بالتخزين فى الأعضاء النباتية التى يزرع من أجلها المحصول، مثل: الجزر، والدرنات، والثمار، والبذور...إلخ.

وبذا.. فان خفض معدلات التنفس يعد أمرًا حيويًّا لزيادة المحصول. ويمكن ذلك — وراثيًّا – بإحدى وسيلتين هما:

١– تقليل الفاقد فى الكربون الناتج من التنفس الضوئى Photorespiration – فى النباتات ذات مسار البناء الضوئى C_3 – بالانتخاب.

٢-زيادة كفاءة استفادة النبات من الطاقة بخفض نسبة الطاقة المستنفذة أثناء التنفس الظلامى Dark Respiration فى غير عمليات النمو.

التنفس الضوئى

يعرف - كما أسلفنا - طرازان من النباتات : C_3 و C_4 يختلفان فى المسارات البنائية التى يتم من خلالها تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون فى عملية البناء الضوئى. وتعرف فئة النباتات التى يكون بأول المركبات الكربونية - التى فى عملية البناء الضوئى - ثلاث ذرات كربون باسم C_3. ومن أمثلتها فول الصويا، والحبوب، ومعظم محاصيل المراعى. وتكون الكفاءة التمثيلية منخفضة فى غالبية هذه النباتات (الـC_3)، بسبب ارتفاع معدل التنفس الضوئى فيها؛ الأمر الذى يستهلك حتى ٥٠٪ من الغذاء المجهز - من خلال عملية البناء الضوئى - فى المحاصيل ذات الكفاءة التمثيلية المنخفضة، مثل الفاصوليا، وفول الصويا،والقمح الربيعى.

أما النباتات التى يكون بأول المركبات الكربونية - التى تكونها فى عملية البناء الضوئى - أربع ذرات كربون.. فإنها تعرف باسم C_4، وهى تتضمن عددًا من محاصيل الجو الدافئ؛ مثل: الذرة، والسورجم، وبعض النجيليات الاستوائية. وتتميز تلك النباتات بارتفاع كفاءتها التمثيلية بسبب انخفاض معدل التنفس الضوئى فيها، إلى درجة يصعب معها اكتشافه وتقديره.

وبرغم اختلاف فئتى النباتات - الـ C_3، والـ C_4- بشدة فى كفاءتهما التمثيلية، فإن الفرق بينهما يتحكم فيه إنزيم واحد هو الـ ribulose diphosphate carboxylase. ويعتقد البعض أن إدخال النظام الإنزيمى المرغوب فيه فى النباتات الـC_3 يؤدى إلى التخلص من الفاقد بالتنفس الضوئى إلى درجة قد يزيد معها المحصول الاقتصادى بنسبة ٥٠٪ فى محاصيل كالقمح وفول الصويا (Stoskopf ١٩٨١).

وتقدر الزيادة فى كفاءة عملية البناء الضوئى فى فئة النباتات ذات المسار C_4 بحوالى ٤٠٪. وبرغم ذلك.. فإن التربية لخفض الفاقد من التنفس الضوئى فى النباتات

ذات المسار C_3 – بهدف زيادة إنتاجها المحصولى – لم تحقق نتائج ملموسة فلقد وجدت اختلافات وراثية فى معدل التنفس الضوئى داخل الأنواع النباتية ذات المسار C_3، ولكن لم يظهر لتلك الاختلافات تأثير ثابت فى محصلة البناء الضوئى، حيث لم تظهر أية علاقة مؤكدة بين المتغيرين (عن Frey ١٩٨١)

التنفس الظلامى

إن للتنفس الظلامى دورين، أحدهما بنائى حيوى (أيضى) biosynthetic، والآخر يتعلق بعمليات "الصيانة Maintenance" العامة للنبات؛ ولذا. فإن النباتات ربما تختلف فى تلك الصفة. ونجد فى المراحل المبكرة للنمو النباتى أن قدرًا كبيرًا من الطاقة يستنفذ فى عمليتى انقسام الخلايا وزيادتها فى الحجم؛ بينما يحتاج النبات بعد ذلك إلى قدر ضئيل من الطاقة لمجرد عمليات الإدامة والصيانة

فمثلاً.. نجد فى القطن أن ٣٠٪ – ٤٠٪ من نتائج عملية البناء الضوئى تستنفد فى التنفس وفى إنجلترا.. وجد أن الطاقة اللازمة لعمليات الإدامة والصيانة فى الشعير تبلغ ٧٪ فقط من ناتج عملية البناء الضوئى فى شهر مايو (فى بداية حياة النبات)، وتزيد إلى نحو ٦٥٪ فى مرحلة امتلاء الحبوب. وقد أمكن انتخاب طرز من الشيلم بطيئة، وطرز أخرى سريعة فى معدل التنفس الظلامى فى الأوراق البالغة، وبلغت الزيادة فى المحصول التى تحققت فى الطرز البطيئة فى معدل التنفس الظلامى حوالى ٧٪.

وبناء على ما تقدم بيانه، فقد توصل الباحثون إلى أن فرصة تحسين المحصول تبدو ضعيفة عند التربية لخفض معدل التنفس الضوئى، بينما تكون مشجعة وممكنة عند التربية بهدف خفض معدل التنفس الظلامى (عن Frey ١٩٨١)