

## الأساس الفسيولوجى للمحصول

### مقدمة

إن الإنتاج المحصولى - لى 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

التي يزرع من أجلها المحصول - من الغذاء المُصنَّع 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 مُحصلة 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 الجذري ومدى تشعبه؛ حيث توجد علاقة موجبة بين النمو الجذري والكفاءة الإنتاجية.

٢ - معدل البناء الضوئي في وحدة المساحة من الأوراق.

٣ - طريقة حمل الأوراق؛ فالأوراق القائمة تسمح بوصول الضوء إلى الأوراق السفلى بدرجة أكثر من الأوراق الأفقية؛ ومن ثم تزيد القدرة على البناء الضوئي في الحالة الأولى.

٤ - مدة بقاء الأوراق على درجة عالية من الكفاءة في عملية البناء الضوئي.

٥ - معدل انتقال المواد الغذائية المجهزة - خلال عملية البناء الضوئي - إلى الأعضاء النباتية التي يزرع من أجلها المحصول.

٦ - مساحة الأوراق في وحدة المساحة من أرض الحقل.

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

٨ - سمك الورقة؛ حيث يزيد البناء الضوئي كلما ازداد سمك الورقة.

٩ - معدل تبادل غاز ثاني 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 الضوئي.

١٣ - معدل التنفس.

١٤ - الاختلافات الوراثية في الاستجابة للفترة الضوئية، والحرارة، والارتجاع - Vernalization، والتسميد... إلخ.

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

- ١ - مدى تأقلم أو توافق النبات على العوامل البيئية السائدة.
- ٢ - قدرة النبات على «حصاد» الضوء من خلال عملية البناء الضوئي.
- ٣ - قدرة النبات على تخصيص ونقل جزء كبير من الغذاء المجهز في عملية البناء الضوئي إلى الأعضاء الاقتصادية التي يزرع من أجلها النبات.

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

هذا.. إلا أن كثرة المكونات الفسيولوجية للمحصول، وتداخلها، وتفاعلها مع بعضها البعض، ومع العوامل البيئية تؤدي - في نهاية الأمر - إلى جعل درجة توريث تلك المكونات منخفضة جداً؛ الأمر الذي يعد تحدياً للمربي.

### البناء الضوئي

إن معدل البناء الضوئي ليس صفة بسيطة يمكن أن تؤخذ نتائج قياساتها كدليل مباشر على وجود اختلافات وراثية بين النباتات فيها. فمع فرض توفر العناصر الغذائية، وغاز ثاني أكسيد الكربون، ودرجة الحرارة المناسبة لاستمرار عملية البناء الضوئي نون عوائق.. فإن معدل تلك العملية يتأثر بعدد من العوامل الأخرى؛ منها ما يلي :

١ - مساحة الورقة.

٢ - زاوية الورقة.

٣ - الضوء المنعكس من الأوراق.

٤ - الضوء النافذ خلال الأوراق.

٥ - العلاقة الفسيولوجية بين شدة الإضاءة ومعدل البناء الضوئي، 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 الاقتصادي في محاصيل البقوليات التي تزرع لأجل بنورها - مثل الفاصوليا - لم يحقق نتائج على مستوى التوقعات. كما أن محاولات تحسين المحصول - من خلال الانتخاب غير المباشر لصفات فسيولوجية، أو بيوكيميائية ترتبط بعملية البناء الضوئي - كان كذلك مخيباً لآمال الكثيرين من مربى النباتات. ولا يعنى ذلك أن البناء الضوئي والمحصول الاقتصادي صفتان غير مرتبطتين؛ فذلك أمر غير منطقي، ولكن ما تعنيه نتائج تلك المحاولات أنها لم تجر في الاتجاه الصحيح؛ حيث لم تكن القياسات التي استخدمت كأساس لعملية الانتخاب دلالة مناسبة للمحصول. فعلى سبيل المثال.. أوضح بعض الباحثين أن القياسات اللحظية لمعدل البناء الضوئي لا يمكن أن تعد دليلاً على المحصول، أو على صافي عملية تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون خلال كل موسم النمو.

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

كذلك فإن معدل البناء الضوئي المقدر في ورقة واحدة من النمو الخضري للنبات لا يقوم دليلاً على معدل البناء الضوئي في كل النمو الخضري؛ نظراً لاختلاف الأوراق كثيراً في تلك الخاصية.

وربما لا يرتبط المحصول الاقتصادي بمعدل البناء الضوئي؛ بسبب اختلاف المساحة الورقية بين مختلف الأصناف. ففي البطاطا.. كان معدل البناء الضوئي للورقة الواحدة في الصنف سنطينيال Centennial أقل مما في ٢٠ صنفاً آخر - باستثناء صنف واحد - وبالرغم من ذلك احتل الصنف سنطينيال المركز الثالث - بين هذه الأصناف - في محصول الجذور. كما تبين أن مساحة الورقة الواحدة في هذا الصنف كانت أكبر مما في جميع الأصناف الأخرى.

ويقودنا ذلك إلى استعراض العلاقة بين معدل البناء الضوئي للورقة الواحدة، ومعدل انتقال الغذاء المجهز منها؛ لما لذلك من تأثير بالغ في المحصول.. وقد تبين وجود ارتباط إيجابي بين الصفتين في الفول السوداني وعديد من النباتات من ذوات المسارات البنائية  $C_3$  و  $C_4$  على حد سواء (عن Bhagsari & Ashley ١٩٩٠).

وتتوفر اختلافات واضحة في معدل البناء الضوئي بين مختلف الأنواع النباتية، ولكن الجانب الأكبر من تلك الاختلافات يعتمد على ما إذا كانت التحولات الكيميائية الحيوية - خلال عملية البناء الضوئي - تأخذ المسار  $C_3$ ، أم المسار  $C_4$ ؛ إذ توجد اختلافات وراثية في معدل البناء الضوئي/وحدة المساحة الورقية بين طرازي النباتات (تراجع طبيعة الاختلافات الحيوية بين طرازي النباتات تحت عنوان «التنفس الضوئي» في هذا الفصل).

ويرغم أنه يمكن تقدير معدل البناء الضوئي بدقة عالية.. إلا أن الطرق المستخدمة في هذا الشأن لا تناسب مربي النبات الذي يتعين عليه - في كثير من الأحيان - تقييم مئات أو آلاف النباتات أو السلالات خلال فترة وجيزة من الزمن.

وقد أمكن - في هذا الشأن - التوصل إلى طريقة تفيد - على الأقل - في اكتشاف الطفرات الأقل كفاءة في عملية البناء الضوئي (Photosynthetic Mutants). ويتم ذلك بتعريض النباتات للأشعة فوق البنفسجية في الظلام؛ حيث تُظهر النباتات التي تحتوي على كلوروفيل غير طبيعي استشعاعاً أحمر اللون؛ وبذا يمكن التخلص منها. وتبدو تلك النباتات خضراء طبيعية اللون تحت ظروف الحقل، ولكنها لا تقوم بعملية البناء الضوئي بصورة

طبيعية لعدة أيام أو أسابيع في مبدأ حياتها؛ الأمر الذي يجعلها ضعيفة النمو آنذاك، برغم أن نباتاتها الكاملة قد تبو طبيعياً (عن Walbot 1977).

## التنفس

يعد التنفس أهم العمليات الحيوية التي تستنفذ طاقة النبات؛ حيث يؤدي إلى استهلاك الغذاء - المجهز في عملية البناء الضوئي - بدلاً من الاستفادة منه في مزيد من النمو الخضري الذي تزرع لأجله بعض النباتات كالخضر الورقية ومحاصيل المراعى، أو بالتخزين في الأعضاء النباتية التي يزرع من أجلها المحصول، مثل: الجذر، والدرنات، والثمار، والبنور... إلخ.

وبذا.. فإن خفض معدلات التنفس يعد أمراً حيوياً لزيادة المحصول. ويمكن تحقيق ذلك - وراثياً - بإحدى وسيلتين هما :

١ - تقليل الفاقد في الكربون الناتج من التنفس الضوئي Photorespiration - في النباتات ذات مسار البناء الضوئي  $C_3$  - بالانتخاب.

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

## التنفس الضوئي

يعرف - كما أسلفنا - طرازان من النباتات:  $C_3$  و  $C_4$  يختلفان في المسارات البنائية التي يتم من خلالها تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون في عملية البناء الضوئي. وتعرف فئة النباتات التي تكون بأول المركبات الكربونية - التي تكوّن في عملية البناء الضوئي - ثلاث ذرات كربون باسم  $C_3$ . ومن أمثلتها فول الصويا، والحبوب، ومعظم محاصيل المراعى. وتكون الكفاءة التمثيلية منخفضة في غالبية هذه النباتات ( $C_3$ )؛ بسبب ارتفاع معدل التنفس الضوئي فيها؛ الأمر الذي يستهلك حتى 50% من الغذاء المجهز - من خلال عملية البناء الضوئي - في المحاصيل ذات الكفاءة التمثيلية المنخفضة؛ مثل الفاصوليا، وفول الصويا، والقمح الربيعي.

أما النباتات التي تكون بأول المركبات الكربونية - التي تكونها في عملية البناء الضوئي - أربع ذرات كربون.. فإنها تعرف باسم  $C_4$ ، وهي تتضمن عدداً من محاصيل الجو الدافئ؛ مثل: الذرة، والсорج، وبعض النجيليات الاستوائية. وتتميز تلك النباتات بارتفاع كفاءتها التمثيلية بسبب شدة انخفاض معدل التنفس الضوئي فيها، إلى درجة يصعب معها اكتشافه وتقديره.

وبرغم اختلاف فئتي النباتات - الـ  $C_3$ ، و الـ  $C_4$  - بشدة في كفاءتهما التمثيلية، فإن الفرق بينهما يتحكم فيه إنزيم واحد هو الـ ribulose diphosphate carboxylase. ويعتقد البعض أن إدخال النظام الإنزيمي المرغوب فيه في فئة النباتات الـ  $C_3$  يؤدي إلى التخلص من الفاقد بالتنفس الضوئي إلى درجة قد يزيد معها المحصول الاقتصادي بنسبة ٥٠٪ في محاصيل كالقمح وفول الصويا ( Stoskopf ١٩٨١).

وتقدر الزيادة في كفاءة عملية البناء الضوئي في فئة النباتات ذات المسار  $C_4$  بحوالي ٤٠٪. وبرغم ذلك.. فإن التربية لخفض الفاقد من التنفس الضوئي في النباتات ذات المسار  $C_3$  - بهدف زيادة إنتاجها المحصولي - لم تحقق نتائج ملموسة. فلقد وجدت اختلافات وراثية في معدل التنفس الضوئي داخل الأنواع النباتية ذات المسار  $C_3$ ، ولكن لم يظهر لتلك الاختلافات تأثير ثابت في محصلة البناء الضوئي؛ حيث لم تظهر أية علاقة مؤكدة بين المتغيرين (عن Frey ١٩٨١).

### التنفس الظلامي

إن للتنفس الظلامي دورين، أحدهما بنائي حيوي (أيضى) biosynthetic، والآخر يتعلق بعمليات «الصيانة Maintenance» العامة للنبات؛ ولذا.. فإن النباتات ربما تختلف في تلك الصفة. ونجد في المراحل المبكرة للنمو النباتي أن قدرأ كبيراً من الطاقة يستنفذ في عمليات انقسام الخلايا وزيادتها في الحجم، بينما يحتاج النبات بعد ذلك إلى قدر ضئيل من الطاقة لمجرد عمليات الإدامة والصيانة.

فمثلاً.. نجد فى القطن أن ٣٠ - ٤٠٪ من ناتج عملية البناء الضوئى تستنفذ فى التنفس. وفى انجلترا.. 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 تبدو مشجعة وممكنة عند التربية بهدف خفض معدل التنفس الظلامى (عن Frey ١٩٨١).