تمتع البذور بقدرة عالية على جذب الغذاء إليها وتخزينه فيها، وقدرة عالية للنبات على نقل هذا الغذاء المجهز إليها. ويمكن استبدال البذور فى المعادلة بأى عضو نباتى اقتصادى آخر ـ كالجذور أو الدرنات مثلا ـ حسب المحصول.

٢٤ ـ درجة الإنتاجية Productivity Score:

هى حاصل جمع كل من: المحصول الاقتصادى، والمحصول البيولوجى، ودليل الحصاد. تعد درجة الإنتاجية مقياساً واحداً لمقارنة التباينات بين التراكيب الوراثية فى المحصول، وعند مقارنة تأثير بعض المعاملات (عن Stoskopf ١٩٨١).

أهمية دلائل النمو

دليل الحصاد

أهم ما يتميز به دليل الحصاد أنه قيمة واقعية عملية؛ فهو يمثل المحصول الاقتصادى (الذى يزرع من أجله المحصول) كنسبة مئوية من المحصول البيولوجى (الوزن الجاف الكلى للنبات الذى يمثل محصلة عمليات البناء الضوئى، والتنفس، وامتصاص العناصر). ولقد كان دليل الحصاد المرتفع هو السبب الرئيسى وراء الزيادة الكبيرة التى تحققت فى محاصيل الحبوب.

إن الاختلافات فى الصفات المورفولوجية التى تؤثر فى دليل الحصاد تؤثر كذلك ـ عادة ـ فى صفات أخرى. فمثلاً.. كان دليل الحصاد المرتفع فى محاصيل الحبوب ذوات موسم النمو البارد مرتبطاً بالإزهار المبكر، والأوراق والسيقان القصيرة، حيث يكون توجيه الغذاء المجهز إلى الجزء الاقتصادى من النبات مبكراً، وبنسبة أعلى مما يوجه إلى الحبوب فى الأصناف ذات الأوراق والسيقان الكبيرة الحجم. ولكن يجب أن نتذكر أن المحصول الاقتصادى يتأثر بالمحصول البيولوجى مثلما يتأثر بدليل الحصاد.

يزيد دليل الحصاد فى البطاطس على ٠,٨؛ وبذا.. فإن قيمته عالية إلى درجة قد يكون

من الصعب زيادتها على ذلك. وفى محاصيل الحبوب يتراوح دليل الحصاد من ٠,٥ ـ ٠,٦؛ أى إنه مرتفع إلى درجة أن زيادته على ذلك ربما لا تصاحبها زيادة مماثلة فى المحصول.

أما فى البقوليات الاستوائية.. فإن دليل الحصاد يتراوح من ٠,٣ـ٠,٤؛ ولذا.. فإن محصولها الاقتصادى يمكن أن يتحسن بالانتخاب لتحسين دليل الحصاد عن ذلك. وتتوفر فى تلك المحاصيل الاختلافات الوراثية التى تسمح بتوجيه نسبة أعلى من الغذاء المجهز إلى الأجزاء الاقتصادية من النباتات.

ولقد وجد فى القمح أن محصول الحبوب يزداد بزيادة الفترة التى تمر ما بين توقف النبات عن النمو الطولى وبداية مرحلة الامتلاء السريع للحبوب، كما أن دليل الحصاد يرتبط سلبياً بتكوين الخلفات، وكانت الأصناف العالية المحصول عالية فى دليل الحصاد.

وبرغم أن تأثير دليل الحصاد فى المحصول الاقتصادى أهم من تأثير المحصول البيولوجى (على الأقل فى محاصيل الحبوب).. فإن تحسين دليل الحصاد يجب أن يتم من خلال تشكيل النبات ـ وراثياً ـ بما يسمح بتحقيق زيادة فى المحصول البيولوجى أيضاً (عن Frey ١٩٨١).

ويرتبط محصول البطاطا إيجابياً بدليل الحصاد الذى يصل إلى ٦٦,٣٪ فى الأصناف العالية المحصول. وقد تراوح دليل الحصاد فى سبعة أصناف من الفلفل من ٣٩,٧ ـ ٦٩,٤٪، وكان دليل الحصاد مرتبطاً إيجابيا بالمحصول البيولوجى. ووجدت اختلافات كبيرة جداً بين أصناف الطماطم فى دليل الحصاد، الذى كان أعلى فى الأصناف المحدودة النمو عما فى الأصناف غير المحدودة النمو.

أما فى محاصيل الخضر الورقية.. فإن معدل النمو المطلق Absolute Growth Rate أو الكلى يكون مهما؛ نظراً لأن كل ـ أو معظم ـ الأجزاء النباتية تكون اقتصادية. ففى هذه

الحالات.. يكون المحصول البيولوجي والمحصول الاقتصادي متساويين تقريباً. (عن Kalloo ١٩٨٨).

وقد تراوح دليل الحصاد - في أصناف مختلفة - من ٢٣ إلى ٥١٪ في الفول السوداني، ومن ٥٪ إلى ٥١٪ في الجنس Triticum.

ووجدت اختلافات كبيرة في دليل الحصاد بين ٢٤ صنفاً وسلالة من فول الصويا، ولكن لم تظهر علاقة واضحة بين المحصول ودليل الحصاد. كذلك تراوح دليل الحصاد من ٤٤ - ٥٥٪ بين سبعة أصناف وسلالات من الفاصوليا، ولم يظهر فيها - كذلك - علاقة واضحة بين الصفتين.

كما سجلت - كذلك - اختلافات كبيرة في دليل الحصاد بين أصناف وسلالات المحاصيل الدرنية؛ حيث تراوح من ٦٥ - ٨٠٪ في البطاطس، ومن ١,٢ - ٥٦٪ ، و٣٧ - ٨١٪، و٦٤ - ٨٤٪ في (دراسات مختلفة) في البطاطا، ومن ٢٥ - ٦٠٪ في الكاسافا (عن Bhagsari & Ashley ١٩٩٠).

الكفاءة التمثيلية

تستخدم الكفاءة التمثيلية كمقياس لمعدل البناء الضوئي مطروحاً منه الفاقد بالتنفس. وتتأثر الكفاءة التمثيلية بكل من: درجة الحرارة، والضوء، وغاز ثاني أكسيد الكربون، والماء وعمر الأوراق، والعناصر المعدنية التي يحتاج إليها النبات، ومحتوى الكلوروفيل بالأوراق، والتركيب الوراثي للنبات.

وتعد درجة الحرارة من أهم العوامل المؤثرة في الكفاءة التمثيلية لتأثيرها المزدوج في كل من عمليتي التنفس والبناء الضوئي. فكل عملية حيوية نباتية تتم في حدود حرارية معينة. فبعد درجة حرارة صغرى Minimum temperature (أو درجة حرارة الأساس base temperature) نجد أن ارتفاع درجة الحرارة يكون مصاحباً بزيادة في معدل العملية الحيوية (مثل التنفس، والنمو، والبناء الضوئي إلخ)، ويعرف معدل الزيادة باسم قيمة الـ Q_{10}

ولكل عملية حيوية Q_{10} خاص بها. ويعنى $Q_{10} = ٢$ - مثلاً - أن معدل العملية الحيوية يتضاعف مع كل ارتفاع فى الحرارة قدره ١٠ درجات مئوية، ولكن ذلك يكون فى المجال الحرارى المحصور فيما بين درجة الحرارة الصغرى، ودرجة الحرارة المثلى Optimum tem-perature التى تكون فيها العملية الحيوية فى أعلى معدلاتها. وبارتفاع درجة الحرارة عن الدرجة المثلى ينخفض معدل العملية الحيوية إلى أن يتوقف تماماً - مرة أخرى - عند درجة الحرارة العظمى Maximum temperature.

وتختلف تلك الدرجات الثلاث (الصغرى، والمثلى، والعظمى) كثيراً باختلاف النوع النباتى، والصنف، وعمر النبات، والعملية الحيوية ذاتها. فمثلاً.. نجد فى الذرة أن درجات الحرارة الصغرى، والمثلى، والعظمى هى - على التوالى - ١٠°م، و٣٠ - ٣٥°، و٤٥°م بالنسبة للكفاءة التمثيلية، و٨ - ١٠°م ، و٣٢ - ٣٥°م، و٤٠ - ٤٤°م بالنسبة لإنبات البذور.

ونجد أن معدل التنفس الضوئى Photorespiration يزداد - بارتفاع درجة الحرارة - بدرجة أكبر من معدل ازدياد التنفس الظلامى dark respiration. كما أن معدل التنفس الضوئى يزداد - فى الحرارة العالية - بدرجة أكبر من معدل الزيادة فى البناء الضوئى. فمثلاً.. وجد فى البطاطس أن معدل البناء الضوئى يصل أقصاه فى حرارة ٢٠°م، ولكن التنفس يكون - فى تلك الدرجة - حوالى ١٢٪ فقط من أقصى معدلاته الممكنة. وبارتفاع الحرارة إلى ٤٨°م يصل التنفس إلى أقصى معدلاته بينما ينخفض معدل البناء الضوئى إلى الصفر. ومن الطبيعى أن تنخفض الكفاءة التمثيلية - فى حالات كهذه - مع أى ارتفاع فى درجة الحرارة عن الدرجة المثلى للبناء الضوئى.

وفى البرسيم الحجازى قدرت الـ Q_{10} بنحو ١,٤٦ للتنفس، مقارنه بنحو ١,١٨ للكفاءة التمثيلية؛ الأمر الذى يعنى ازدياد معدل التنفس بدرجة أكبر من ازدياد معدل البناء الضوئى مع ارتفاع درجة الحرارة. ففيما بين درجتى حرارة ٩°م، و ٢٦°م كان التأثير الإيجابى لارتفاع الحرارة على معدل البناء الضوئى نحو خُمس تأثيرها السلبى الناشىء عن زيادتها لمعدل التنفس.

ويكون التأثير السلبى لارتفاع درجة الحرارة أكثر وضوحاً، وأشد وقعاً على النباتات الـ C_3؛ مما يكون عليه الحال فى النباتات الـ C_4 (يراجع لذلك الفصل الثانى). كما أن تأثير الحرارة يختلف بشدة فيما بين النجيليات الاستوائية ونجيليات المناطق الباردة. فنجد ـ مثلاً ـ أن الكفاءة التمثيلية تبلغ أقصى معدلاتها فى حرارة ٢٠ ـ ٢٥م فى نجيليات المناطق الباردة، بينما يرتفع المجال الحرارى المثالى للكفاءة التمثيلية إلى ٣٠ ـ ٣٥م فى النجيليات الاستوائية، بما فى ذلك الذرة.

وقد جد فى القمح الربيعى ـ وهو من نباتات المناطق الباردة ذات المسار البنائى C_3 ـ أن ارتفاع الحرارة درجة واحدة مئوية ـ فى بداية مرحلة تكوين السنابل ـ كان مصاحباً بانخفاض قدره ٤٪ فى محصول الحبوب.

ومن ناحية أخرى.. فإن انخفاض شدة الإضاءة، وتقدم الأوراق فى العمر يكون مصاحباً بانخفاض فى معدل البناء الضوئى، بينما تبقى معدلات التنفس على ما هى عليه ما دامت الأوراق حية. ويبين جدول (١ ـ ١) تلك العلاقة فى مثال افتراضى.

يتبين من الجدول أن البناء الضوئى فى النبات الكبير (ذى الأوراق السبع) أعلى مما فى النبات الصغير (ذى الأوراق الأربع)، ولكن إجمالى التنفس فى النبات الكبير أعلى بكثير مما فى النبات الصغير؛ الأمر الذى يؤدى إلى انخفاض الكفاءة التمثيلية فى النبات الكبير مقارنة بالنبات الصغير.

وبرغم أنه يتم التحكم ـ عمليا ـ فى شدة التظليل، وعدد الأوراق المسنة ببعض العمليات الزراعية، مثل التحكم فى كثافة الزراعة، ونظام الزراعة، والتقليم، وحش نباتات المراعى... إلخ، إلاَّ أن تلك الأمور لا تدخل ضمن اهتماماتنا فى هذا الكتاب. فما يهمنا هو التحكم الوراثى فى النمو النباتى بحيث يقل التظليل، وتتجه النباتات مبكراً نحو الإثمار؛ الأمر الذى يتحقق ـ مثلاً ـ فى أصناف الطماطم المحددة النمو.

ومما تجدر الإشارة إليه أن الكفاءة التمثيلية كانت صفراً فى الورقة الخامسة (جدول ١ـ١)، بينما كانت سالبة القيمة فى الورقتين السادسة والسابعة ويقال على الورقة الخامسة ـ فى حالات كهذه ـ بأنها وصلت إلى نقطة التعادل، Compensation Point؛ حيث

جدول (١ ـ ١): علاقة عدد الأوراق، وعمرها بكل من معدلى البناء الضوئى، والتنفس، وتأثير ذلك فى الكفاءة التمثيلية على مستوى الورقة، ومستوى النبات فى كل من النباتات الصغيرة والكبيرة (مثال افتراضى).

عمر النبات	رقم الورقة	معدل البناء الضوئى	معدل التنفس	الكفاءة التمثيلية
النبات الصغير	١	١٢	٢	١٠
(٤ أوراق)	٢	١٠	٢	٨
	٣	٧	٢	٥
	٤	٣	٢	١
		٣١	٨	٢٤
نبات أكبر عمرا	١	١٢	٢	١٠
(٧ أوراق)	٢	١٠	٢	٨
	٣	٧	٢	٥
	٤	٣	٢	١
	٥	٢	٢	صفر
	٦	صفر	٢	ـ٢
	٧	صفر	١	ـ١
		٣٢	١٣	٢١

كان الفقد فيها بالتنفس مكافئاً للزيادة بالبناء الضوئى. أما الورقتان السادسة والسابعة فيقال أنهما متطفلتان Parasitic على النبات، وهو وصف يطلق على الأوراق التى تفقد من الغذاء ـ بالتنفس ـ أكثر مما تصنعه بالبناء الضوئى. ولكى يجب ألا ننسى أن الأوراق الخامسة، والسادسة، والسابعة تلك كانت قد أسهمت ـ فى النبات الصغير، أى وهى صغيرة ـ فى الكفاءة التمثيلية بدرجة عالية، حيث كان صافى إسهامها فى النمو النباتى إيجابياً.

المساحة الورقية الكلية

يعتقد دائماً أن المساحة الورقية الكلية هى مقياس لقدرة النبات على البناء الضوئى، ولكن يجب أن يؤخذ فى الحسبان أن المسطحات الخضراء الأخرى للنبات تكون ـ أيضاً ـ قادرة على القيام بعملية البناء الضوئى، وربما تُسهم بنصيب كبير فى إجمالى إنتاج المادة الجافة فى النبات.

فإلى جانب أنصال الأوراق.. يحدث البناء الضوئى فى جميع الأجزاء الخضراء، بما فى ذلك السيقان، وأغماد الأوراق، والسفا، والقنيبات، والأذينات، وأغلفة الكيزان، والقرون الخضراء إلخ. وتوجد بعض هذه الأعضاء فى الجزء العلوى من النبات، فلا تتعرض للتظليل، وتكون نشطة فى عملية البناء الضوئى.

ويعتقد البعض أن قدرة أغماد أوراق ونورات الحبوب الصغيرة على البناء الضوئى تبلغ نحو ٥٠ ـ ١٠٠٪ من قدرة أنصال الأوراق ذاتها. ووجد أن أغماد أوراق الشعير تُسهم بنحو ١٥ـ ٤٠٪ من محصول الحبوب، وأن السنبلة تسهم بنحو ٩٪، و٤٠٪ من محصول الحبوب فى الأصناف العديمة السفا والأصناف ذات السفا، على التوالى.

ونظراً لصعوبة تقدير مساحة الأجزاء النباتية غير الأوراق؛ لذا.. فقد اتفق على اعتبار مجموع المسطح الورقى لأنصال الأوراق (السطح العلوى فقط) دليلاً على المساحة النباتية التى تقوم بعملية البناء الضوئى.

دليل مساحة الورقة

إن دليل مساحة الورقة LAI هو ـ كما أسلفنا ـ مساحة المسطح الورقى بالنسبة لوحدة المساحة من الأرض التى يشغلها النبات، فإذا كانت قيمة دليل مساحة الورقة ٤,٠ ـ مثلا ـ كان ذلك دليلاً على أن إجمالى مساحة المسطح الورقى للنبات يبلغ أربعة أمثال مساحة الأرض التى يشغلها النبات.. وتعد هذه القيمة أفضل من قيمة المساحة الورقية الكلية عند مقارنة النباتات؛ لأن القيمة الأخيرة يمكن أن تتأثر بمسافة الزراعة.

ويكون لدليل مساحة الورقة معنى وقيمة أكبر عند ربطه بمرحلة معينة من النمو النباتى ففى النباتات المحدودة النمو.. يقدر دليل مساحة الورقة فى بداية مرحلة النمو الإنتاجى

(بداية الإزهار والعقد). أما فى النباتات غير المحدودة النمو.. فقد يستعمل فيها الحد الأقصى لدليل مساحة الورقة، أو قد تجرى المقارنة بين الأصناف فى أى وقت طالما أخذت قياسات دليل مساحة الورقة فيها فى يوم واحد.

ويعتقد أن لكل محصول قيمة مثلى لدليل مساحة الورقة، تتراوح ـ غالباً ـ بين ٢,٥، و٥,٠ فى مختلف المحاصيل. والقيمة المثلى هى تلك التى يحدث عندها أقصى تراكم للمادة الجافة. ويقل تراكم المادة الجافة بانحراف قيمة دليل مساحة الورقة ـ عن القيمة المثلى ـ بالزيادة، أو بالنقصان. ففى الحالات التى يقل فيها دليل مساحة الورقة عن القيمة المثلى يقل إنتاج المادة الجافة؛ لأنه لا يتم استقبال كل الضوء الساقط على النبات؛ وبذا لا يكون البناء الضوئى فى أعلى معدلاته الممكنة. وعندما يزيد دليل مساحة الورقة على القيمة المثلى تصبح الأوراق السفلى مظللة؛ ويتبع ذلك نقص الكفاءة التمثيلية.

وتزداد الفائدة التى تعود من الاعتماد على دليل مساحة الورقة ـ عند إجراء مقارنه بين الأصناف ـ بمراعاة ما يلى :

١ ـ ربط دليل مساحة الورقة بمرحلة معينة من النمو النباتى فى المحاصيل التى تحصد مرة واحدة كالحبوب الصغيرة. وفى نباتات المراعى نجد أن الوقت المثالى لإجراء عملية الحش يتوافق مع وقت الوصول إلى دليل مساحة الورقة المثالى.

٢ ـ يتُوقع أعلى إنتاجية للمادة الجافة عندما تتوافق القيمة المثلى لدليل مساحة الورقة مع أفضل الظروف البيئية لعملية البناء الضوئى.

٣ ـ قد يشير دليل مساحة الورقة إلى المرحلة التى تكون فيها الكفاءة التمثيلية فى أقصى معدلاتها.

٤ ـ لابد من ربط دليل مساحة الورقة بفترة بقاء الأوراق على كفاءتها العالية فى عملية البناء الضوئى (LAD).

ومن أمثله القيم المثلى لدليل مساحة الورقة التى تم التوصيل إليها: ٢,٥ ـ ٥,٠ فى محاصيل الحبوب الصغيرة، و٥,٠ فى محاصيل العلف التى تزرع نثراً، و٦,٢ ـ ٨,٩ فى محاصيل المراعى (عن Stoskopf ١٩٨١).