# ١

# طرق التعبير الكمى عن النمو النباتى

يُعبر العلماء عن النمو النباتى بطريقة كمية باستعمال معادلات رياضية خاصة، تعرف بمعادلات النمو Growth Formulas، أو دلائل النمو Growth Parameters. تفيد هذه المعادلات فى دراسة تأثير المعاملات التجريبية والعوامل البيئية على النمو النباتى، وكذلك فى تحليل الاختلافات بين السلالات وإرجاعها إلى أسبابها الأولية. وتتداخل الدلائل ومعادلات النمو البيولوجية مع قيم أخرى فيزيائية محضة؛ ولذا.. فإننا نناقش الأمر كله جملة واحدة، مع تسلسل التفاصيل أقرب ما يكون إلى المنطق الذى يعين القارئ على استيعاب الموضوع.

## معادلات النمو النباتى وما يرتبط بها من قيم فيزيائية وبيولوجية

١ ـ الطاقة الشمسية الكلية الساقطة على النبات: يرمز لها بالرمز (S)، ويعبر عنها بالسعرات الحرارية Calories.

٢ ـ الطاقة الشمسية النافذة transmitted (التى تسجل تحت النمو الخضرى للنبات): يرمز لها بالرمز ($S_t$)، ويعبر عنها بالسعرات الحرارية.

٣ ـ المحصول البيولوجى Biological yield :

هو الوزن الجاف لكل الأعضاء النباتية، بما فى ذلك وزن الأجزاء الاقتصادية (أى التى يزرع من أجلها النبات. وهو تقدير للمحصلة النهائية لعمليات البناء الضوئى، والتنفس، وامتصاص العناصر. وبرغم أن وزن المجموع الجذرى هو جزء من المحصول البيولوجى،

إلا أنه يهمل ـ عادة ـ لصعوبة تقديره بدقة. ولذا .. فإن النبات يقطع عند سطح التربة ـ عند النضج أو الحصاد ـ لتقدير وزنه الجاف. ويرمز للمحصول البيولوجي بالرمز (W).

٤ ـ الوزن الجاف ـ لكل الأعضاء النباتية ـ المتراكم خلال فترة زمنية محددة، تم خلالها تقدير كل من (S) ، و($S_t$)كمياً (علما بأن الفترة الزمنية المعنية يمكن أن تكون يوما، أو أسبوعاً، أو حتى موسماً زراعياً كاملاً): يرمز لهذه القيمة بالرمز($\Delta W$ ـ دلتا دبليو)، ويمكن أن يعبر عنها بالسعرات الحرارية بضرب الوزن الجاف بالجرام فى ٤٠٠٠، لأن كل جرام من الوزن الجاف يعادل ـ فى المتوسط ـ ٤٠٠٠ سعر حرارى.

٥ ـ كفاءة إعتراض أو استقبال الضوء الساقط Efficiency of Interception : يرمز لها بالرمز ($E_i$)، وتقدر كنسبة مئوية كما يلى:

$$E_i = \frac{S-S_t}{S} \times 100$$

أو بالمعادلة $E_i$ = الطاقة الشمسية الممتصة absorbed ـ الطاقة الشمسية المنعكسة reflected / الطاقة الشمسية الكلية الساقطة على النبات incident ×١٠٠

فهى الطاقة الشمسية التى استقبلها النبات واحتجزها كنسبة مئوية من الطاقة الشمسية الكلية الساقطة عليه، أو هى حاصل طرح نسبة الطاقة الشمسية النافذة من منة. وتعد هذه القيمة بمثابة تقدير للمساحة الورقية.

٦ ـ كفاءة امتصاص الطاقة الشمسية Efficiency of Absorption :

يرمز لها بالرمز ($E_a$)، وتقدر كنسبة مئوية كما يلى :

$$E_a = \frac{\text{الطاقة الشمسية الممتصة}}{\text{الطاقة الشمسية الكلية الساقطة}} \times ١٠٠$$

$$= \frac{\text{الطاقة الشمسية الكلية الساقطة ـ الطاقة المنعكسة ـ الطاقة النافذة}}{\text{الطاقة الشمسية الكلية الساقطة}} \times ١٠٠$$

وتعد كفاءة الامتصاص ($E_a$) بمثابة تقدير جيد لنسبة الطاقة الشمسية الساقطة على النبات، والتى استقبلها واستفاد منها فى عملية البناء الضوئى.

٧ ـ كفاءة الاستخدام Efficiency of Utilization:

يرمز لها بالرمز ($E_u$)، وتقدر كما يلى :

$$E_u = \frac{\text{صافي الطاقة الشمسية التي ثُبّتت في عملية البناء الضوئي}}{\text{الطاقة التي اعترضها أو استقبلها النبات}}$$

$$= \frac{4000 \times \Delta W}{\text{الطاقة الشمسية الكلية الساقطة ـ الطاقة الشمسية النافذة}}$$

أو هى :

$$E_u = \frac{\Delta W \times 4000}{S - S_t}$$

$$= \frac{\Delta W \times 4000}{S \times E_i}$$

وتعد هذه القيمة بمثابة تقدير للكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate المقدرة على أساس وحدة المساحة من الأرض التى يشغلها النبات.

٨ ـ كفاءة التحويل Efficiency of Conversion :

يرمز لها بالرمز ($E_c$)، وتقدر كما يلى :

$$E_c = E_i \times E_u$$

$$= \frac{W \times 4000}{S}$$

وتعد هذه القيمة بمثابة تقدير لمعدل النمو المحصولى Crop Growth Rate .

٩ ـ نسبة الانعكاس Percent Reflection:

يرمز لهذه القيمة بالرمز (A)، وتقدر كما يلى :

$$A = \frac{\text{الطاقة الشمسية المعكوسة}}{\text{الطاقة الشمسية الكلية الساقطة}} \times ١٠٠$$

١٠ ـ نسبة النفاذ Percent Transmission:

يرمز لهذه القيمة بالرمز (k)، وتقدر كما يلى:

$$k = \frac{S_t}{S} \times 100$$

١١ ـ معامل انقراض (احتجاز) الضوء Light Extinction Coefficient بواسطة النبات، يعطى الرمز (K).

١٢ ـ المحصول الاقتصادى Economic Yield:

هو العضو النباتى أو الأعضاء النباتية التى يزرع من أجلها المحصول، ويعطى الرمز (EY).

١٣ ـ المساحة الورقية الكلية Total Leaf Area:

هى مجموع مساحة الأوراق التى ينتجها النبات، ويرمز لها بالرمز(L).

١٤ ـ الوزن النوعى للورقة Specific Leaf Weight:

هو الوزن الجاف لوحدة المساحة من الورقة. يرمز لهذه القيمة بالرمز (SLW)، وتقدر بالسنتيمتر المربع لكل جرام من الوزن الجاف من الورقة ($cm^2g^{-1}$)، وهى تعكس سمك الورقة، حيث يزداد السمك كلما ازدادت هذه القيمة.

١٥ ـ فترة بقاء الأوراق على كفاءتها فى عملية البناء الضوئى Leal Area Duration:

تأخذ هذه القيمة الرمز (LAD)، وتقدر كما يلى:

$$LAD = L \times time$$

١٦ ـ المساحة النسبية للأوراق Leaf Area Ratio:

هى نسبة مساحة أوراق النبات (L) إلى وزن النبات الجاف الكلى (W)، ويرمز لها ـ غالباً ـ بالرمز (LAR) ـ وأحياناً ـ بالرمز (F)، وتقدر بإحدى المعادلتين التاليتين:

$$LAR = \frac{L}{W}$$

$$LAR = \frac{(L_2 - L_1)\ (\log_e W_2 - W_1)}{(W_2 - W_1)\ (\log_e L_2 - \log_e L_1)}$$

حيث إن: $L_1$ و $L_2$ هما مساحة الأوراق، و $W_1$ و $W_2$ هما وزن الأوراق فى بداية ونهاية فترة زمنية من $t_1$ إلى $t_2$ ، ويعبر عنها باليوم، أو الأسبوع، أو الشهر... إلخ.

١٧ ـ دليل مساحة الورقة Leaf Area Index:

هو مساحة المسطح الورقى بالنسبة لوحدة المساحة من الأرض التى يشغلها النبات، ويرمز له بالرمز (LAI)، ويقدر بالمعادلة التالية:

$$\text{دليل مساحة الورقة (LAI)} = \frac{\text{مساحة أوراق النبات (L)}}{\text{مساحة الأرض التى يشغلها النبات (P)}}$$

ويعنى بالمسطح الورقى مساحة أحد سطحى الورقة، وليس كليهما.

ويقدر متوسط دليل مساحة الورقة خلال فترة زمنية $(\overline{LAI})$ بالمعادلة التالية:

$$\overline{LAI} = \frac{F_2 - F_1}{\log_e F_2 - \log_e F_1}$$

حيث إن :

$F_1$، و $F_2$ هما مساحة الأوراق/ وحدة المساحة من الأرض في بداية ونهاية الفترة الزمنية، على التوالي.

ويصل البناء الضوئي - عادة - إلى أكبر معدل له (بالنسبة للنبات ككل) عندما تصل قيمة دليل مساحة الورقة إلى ٥,٠ أو أكثر. ويتأثر ذلك بنظام ترتيب وتوزيع الأوراق على النبات. ومما تجدر ملاحظته أن الأوراق السفلية التي لا يصل إليها ضوء كاف قد تستهلك من الغذاء - أثناء تنفسها - كمية أكبر من تلك التي يمكنها تصنيعها.

١٨ - معدل النمو النسبي للورقة Relative Leaf Growth Rate:

هو مقدار الزيادة في المساحة الورقية في وحدة الزمن، ويرمز له بالرمز (RLGR)، ويقدر بإحدى المعادلتين التاليتين:

$$RLGR = \frac{\Delta L}{L \times time}$$

$$= (\log_e L_2 - \log_e L_1) / (t_2 - t_1)$$

حيث $\Delta L$ (تُقرأ دلتا إل) هو التغير في المساحة الورقية في وحدة الزمن، والـ"time" هو هذه الوحدة الزمنية، و (L) المساحة الورقية الأصلية. وتلك هي القيم اللازمة لحساب معدل النمو النسبي للورقة حسب المعادلة الأولى.

أما في المعادلة الثانية.. فإن $L_1$، و $L_2$ تمثلان المساحة الكلية للأوراق في أوقات $t_1$ ، و$t_2$ قبل وبعد فترة زمنية معينة، وتقدر الفترة الزمنية باليوم، أو الأسبوع، أو الشهر... إلخ. (يلاحظ أن اللوغاريتم للأساس e وليس للأساس ١٠).

١٩ ـ معدل النمو النسبى Relative Growth Rate:

هو الوزن الجاف المتراكم للنبات لكل وحدة من الوزن الأصلى خلال وحدة زمنية معينة، ويرمز له ـ غالبا ـ بالرمز (RGR) ـ وأحيانا ـ بالرمز (r)، ويقدر بإحدى المعادلتين التاليتين:

$$RGR = \frac{\Delta W}{W \times time}$$

$$= (\log_e W_2 - \log_e W_1)/(t_2 - t_1)$$

حيث إن :

$\Delta W$: (تقرأ دلتا دبليو) هو التغير فى الوزن الجاف للنبات فى وحدة الزمن.

time: وحدة الزمن.

$W_1$: الوزن الجاف للنبات فى وقت معين $t_1$ ، و $W_2$ : الوزن الجاف فى وقت آخر $t_2$ بعد انقضاء فترة زمنية معينة.

وقد يستبدل الوزن الجاف للنبات بأى مقياس آخر، كطول النبات مثلاً.

٢٠ ـ معدل النمو المحصولى Crop Growth Rate:

هو الوزن الجاف للنبات المتراكم فى وحدة زمنية معينة لكل وحدة من مساحة الأرض، ويرمز له بالرمز (CGR)، ويقدر بالمعادلة التالية :

$$CGR = \frac{\Delta W}{P \times time}$$

حيث إن P هى وحدة المساحة من الأرض التى يشغلها النبات.

كما أن :

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$$

٢١ ـ الكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate:

هى الوزن الجاف المتراكم لكل وحدة مساحة ورقية فى وحدة الزمن. وهى ليست مقياساً دقيقاً لمدى كفاءة عملية البناء الضوئى، ولكنها مقياس للزيادة فى الوزن الجاف للنبات، والتى هى محصلة الفرق بين البناء الضوئى والتنفس، ويرمز لها ـ غالبا ـ بالرمز (NAR) ـ وأحيانا ـ بالرمز (E)، وتقدر بإحدى المعادلتين التاليتين:

$$NAR = \frac{\Delta W}{L \times time}$$

$$= \frac{(W_2 - W_1)\ (\log_e L_2 - \log_e L_1)}{(L_2 - L_1)\ (t_2 - t_1)}$$

وقد سبقت الإشارة إلى مدلولات جميع الرموز المستخدمة فى المعادلتين.

وقد يعبر عن (L) بمقاييس أخرى، مثل وزن الأوراق، أو محتواها من النتيروجين، أو البروتين، ويعطى ذلك قيما مختلفة للكفاءة التمثيلية. ولذا.. فإنها قد تعطى الرمز (E) عند استعمال مساحة الأوراق، والرمز($E_W$) عند استعمال وزن الأوراق... إلخ.

كذلك فإن :

$$NAR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \times \frac{\log_e F_2 - \log_e F_1}{F_2 - F_1}$$

حيث إن :

W = الوزن الجاف/ وحدة المساحة من الأرض.

F = المساحة الورقية/ وحدة المساحة من الأرض.

ويستدل مما تقدم بيانه أن :

معدل النمو النسبى (RGR) = الكفاءة التمثيلية (NAR) × المساحة النسبية

للأوراق (LAR).

معدل النمو المحصولى (CGR) = الكفاءة التمثيلية (NAR) × دليل مساحة الورقة (LAI).

٢٢ ـ دليل الحصاد Harvest Index :

يطلق على دليل الحصاد أحيانا الأسماء: معامل الفاعلية Coefficient of Effectiveness ومعامل انتقال الغذاء إلى الأجزاء الاقتصادية للنبات (معامل الهجرة)-Migration Coeffi cient، وهو المحصول الاقتصادى كنسبة مئوية من الوزن الجاف الكلى للنبات، ويرمز له بالرمز (HI)، ويقدر بالمعادلة التالية :

$$HI = \frac{EY}{W} \times 100$$

حيث إن :

EY = المحصول الاقتصادى (الجزء النباتى الذى يزرع من أجله المحصول).

W = المحصول البيولوجى (الوزن الجاف الكلى للنبات) (عن Thorne ١٩٦٠، وWallace وآخرين ١٩٧٢، و Evans ١٩٧٢، و Bleasdale ١٩٧٣، و Leopold & Kriedmann ١٩٧٥، و Malash١٩٧٩ ، و Stoskopf١٩٨١، و Kalloo ١٩٨٨).

٢٣ ـ القوة النسبية للأعضاء الاقتصادية من النبات على جذب الغذاء إليها Relative Sink Strength: يرمز إليها بالرمز (RSS)، وهى قيمة اقترحها Scully & Wallace (١٩٩٠) من دراساتهم على الفاصوليا الجافة، وتقدر كما يلى:

$$RSS = \frac{\text{معدل نمو البذور (المحصول الاقتصادى)}}{\text{معدل الزيادة فى المحصول البيولوجى}}$$

وفى الفاصوليا .. تدل قيم الـ RSS المساوية للواحد الصحيح ـ أو التى تزيد عليه ـ على

تمتع البذور بقدرة عالية على جذب الغذاء إليها وتخزينه فيها، وقدرة عالية للنبات على نقل هذا الغذاء المجهز إليها. ويمكن استبدال البذور في المعادلة بأي عضو نباتي اقتصادي آخر - كالجذور أو الدرنات مثلا - حسب المحصول.

٢٤ - درجة الإنتاجية Productivity Score:

هي حاصل جمع كل من: المحصول الاقتصادي، والمحصول البيولوجي، ودليل الحصاد. تعد درجة الإنتاجية مقياساً واحداً لمقارنة التباينات بين التراكيب الوراثية في 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 الاقتصادي (الذي يزرع من أجله المحصول) كنسبة مئوية من المحصول البيولوجي (الوزن الجاف الكلي للنبات الذي يمثل محصلة عمليات البناء الضوئي، والتنفس، وامتصاص العناصر). ولقد كان دليل الحصاد المرتفع هو السبب الرئيسي وراء الزيادة الكبيرة التي تحققت في محاصيل الحبوب.

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

يزيد دليل الحصاد في 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 ٠,٣-٠,٤؛ 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 البيولوجى والمحصول الاقتصادى متساويين تقريباً. (عن Kalloo ١٩٨٨).

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

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

## الكفاءة التمثيلية

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

وتعد درجة الحرارة من أهم العوامل المؤثرة فى الكفاءة التمثيلية لتأثيرها المزدوج فى كل من عمليتى التنفس والبناء الضوئى. فكل عملية حيوية نباتية تتم فى حدود حرارية معينة. فبعد درجة حرارة صغرى Minimum temperature (أو درجة حرارة الأساس base temperature) نجد أن ارتفاع درجة الحرارة يكون مصاحباً بزيادة فى معدل العملية الحيوية (مثل التنفس، والنمو، والبناء الضوئى 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 temperature 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 - ١٠م، و٣٠ - ٣٥، و٤٥م بالنسبة للكفاءة التمثيلية، و٨ - ١٠م ، و٣٢ - ٣٥م، و٤٠ - ٤٤م 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 ٢٠م، ولكن التنفس يكون - فى تلك الدرجة - حوالى ١٢٪ فقط من أقصى معدلاته الممكنة. وبارتفاع الحرارة إلى ٤٨م 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 ٩م، و ٢٦م 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 |
| (٤أوراق) | ٢ | ١٠ | ٢ | ٨ |
| | ٣ | ٧ | ٢ | ٥ |
| | ٤ | ٣ | ٢ | ١ |
| | | ـــــ | ـــــ | ـــــ |
| | | ٣١ | ٨ | ٢٤ |
| نبات أكبر عمرا | ١ | ١٢ | ٢ | ١٠ |
| (٧أوراق) | ٢ | ١٠ | ٢ | ٨ |
| | ٣ | ٧ | ٢ | ٥ |
| | ٤ | ٣ | ٢ | ١ |
| | ٥ | ٢ | ٢ | صفر |
| | ٦ | صفر | ٢ | ٢ـ |
| | ٧ | صفر | ١ | ١ـ |
| | | ـــــ | ـــــ | ـــــ |
| | | 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 - أيضاً - 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 - ١٠٠٪ من قدرة أنصال الأوراق ذاتها. ووجد أن أغماد أوراق الشعير تُسهم بنحو ١٥- 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 - كما أسلفنا - مساحة المسطح الورقى بالنسبة لوحدة المساحة من الأرض التى يشغلها النبات، فإذا كانت قيمة دليل مساحة الورقة ٤,٠ - مثلا - 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 في النباتات غير المحدودة النمو.. فقد يستعمل فيها الحد الأقصى لدليل مساحة الورقة، أو قد تجرى المقارنة بين الأصناف في أي وقت طالما أخذت قياسات دليل مساحة الورقة فيها في يوم واحد.

ويعتقد أن لكل محصول قيمة مثلى لدليل مساحة الورقة، تتراوح - غالباً - بين ٢,٥، و٥,٠ في مختلف المحاصيل. والقيمة المثلى هي تلك التي يحدث عندها أقصى تراكم للمادة الجافة. ويقل تراكم المادة الجافة بانحراف قيمة دليل مساحة الورقة - عن القيمة المثلى - بالزيادة، أو بالنقصان. ففي الحالات التي 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 الضوئي في أعلى معدلاته الممكنة. وعندما يزيد دليل مساحة الورقة على القيمة المثلى تصبح الأوراق السفلى مظللة؛ ويتبع ذلك نقص الكفاءة التمثيلية.

وتزداد الفائدة التي تعود من الاعتماد على دليل مساحة الورقة - عند إجراء مقارنه بين الأصناف - بمراعاة ما يلي :

١ - ربط دليل مساحة الورقة بمرحلة معينة من النمو النباتي في المحاصيل التي تحصد مرة واحدة كالحبوب الصغيرة. وفي نباتات المراعي نجد أن الوقت المثالي لإجراء عملية الحش يتوافق مع وقت الوصول إلى دليل مساحة الورقة المثالي.

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

٣ - قد يشير دليل مساحة الورقة إلى المرحلة التي تكون فيها الكفاءة التمثيلية في أقصى معدلاتها.

٤ - لابد من ربط دليل مساحة الورقة بفترة بقاء الأوراق على كفاءتها العالية في عملية البناء الضوئي (LAD).

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