٣

تشكيل النباتات

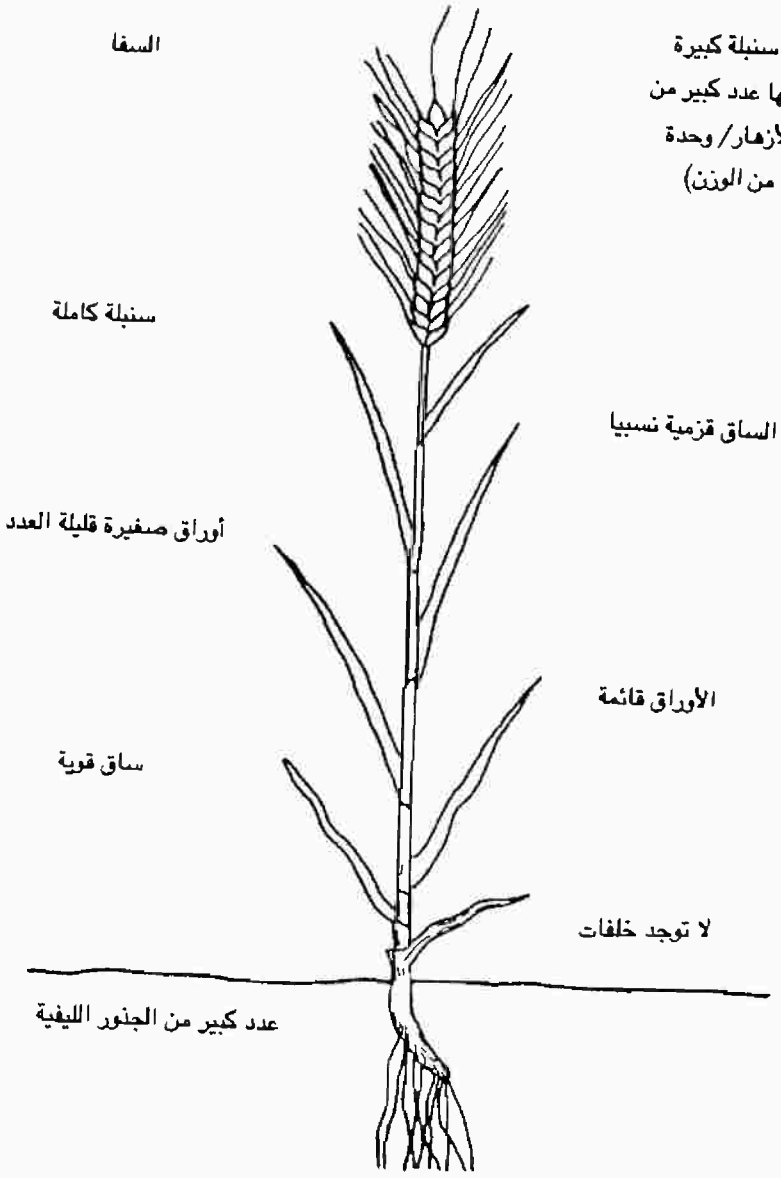
مفهوم النبات المثالى

حاول بعض مربى النبات عمل قائمة بالصفات الفسيولوجية والمورفولوجية التى تشكل - فى مجموعها - النبات المثالى (Ideotype) الذى ينبغى أن يكون هدفاً للمربى فى برامج التربية، ومن أمثله ذلك الـ ideotype الذى تم تخيله لنبات القمح (شكل ٣ - ١). ولكن.. نظراً لاختلاف المحاصيل الزراعية كثيراً 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 شىءاسمه نبات مثالى (ideotype) فى تربية النباتات، وإنما توجد عدة طرز أو نماذج بيولوجية Biological Types.

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 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



شكل (٣ـ ١) : تصميم لنبات مثالى (An Ideotype) من القمح (عن Frey ١٩٨١).

فى بناء أو طبيعة نمو هذا الغطاء النباتى 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، إلاّ أن السفا الكثيف قد يؤدى - أحياناً - إلى تظليل الأوراق.

ويعتقد البعض أن صفة الأوراق القائمة لا تظهر أهميتها إلاّ 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 تفضل ألاّ 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. وتأكيداً لذلك.. تتميز أصناف الأرز الحديثة العالية المحصول بالأوراق القصيرة القائمة، والخلفات القائمة.

كذلك نجد أن نورات الذرة ليست عالية الكفاءة في البناء الضوئي، ولذا.. تفضل أن تكون أوراقه قائمة وتعلو عن مستوى الكيزان.

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

كذلك تتوفر اختلافات كبيرة بين كل من الطرز ذات الأوراق القائمة والطرز ذات الأوراق المتدلية flappy - في كل من القمح والشوفان - من حيث قدرتها على منافسة الحشائش، ولذلك الأمر تأثيره في المحصول؛ مما يتعين أخذه في الحسبان عند تقييم تلك الطرز. فمثلاً.. وجد في أحد المواقع البحثية - التي كوفحت فيها الحشائش باستعمال المبيدات - (وكان ذلك في أونتاريو بكندا) أن أحد أصناف القمح ذات الأوراق القائمة والساق القصيرة كان أعلى الأصناف محصولا، بينما كان نفس هذا الصنف في موقع آخر - لم تستخدم فيه مبيدات الحشائش - أقل الأصناف المقيمة محصولا.

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

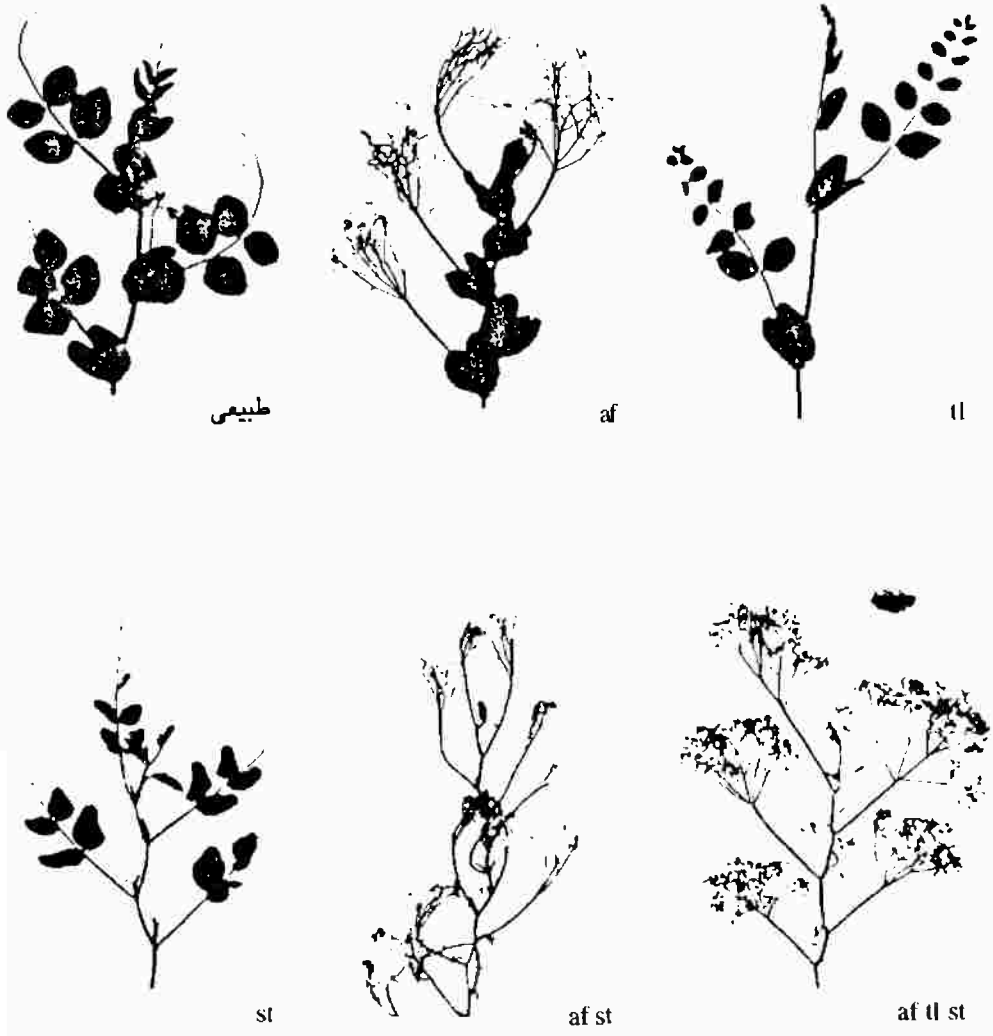
هذا.. وتتوفر الاختلافات الطبيعية فى النمو النباتى بدرجة كبيرة تسمح للمربى بانتخاب ما يراه مناسباً منها. وعلى سبيل المثال.. كان مدى الاختلافات المشاهدة فى بعض الصفات المورفولوجية كما يلى (عن Stosopf ١٩٨١):

الصفـة	المدى المشاهد
ارتفاع النبات (سم)	من ٦٠ ـ ٧٠ إلى ٦٥٠ ـ ٧٠٠
عدد الأوراق على الساق الرئيسية	٨ ـ ٤٨
طول الورقة (سم)	٣ ـ ١٥٢
عرض الورقة (سم)	٤ ـ ١٥
عدد الخلفات	١ ـ ١٢

وفى البسلة.. يتوقف المحصول ـ إلى حد كبير ـ 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، و tl التى تحول المحاليق إلى وريقات، و st التى تجعل الأذينات صغيرة.

وقد قام Wehner & Gritton (١٩٨١) بمقارنة ثمانى سلالات ذات أصول وراثية متشابهة تقريباً near isogenic lines، وتختلف فى واحد أو أكثر من الجينات الثلاثة السابقة.. أى إن هـذه السلالات كانت كمـا يلـى: طبيعـية تمامـاً وطفرية فى af فقـط، وطفـرية فـى st فقـط، وطفـرية فى af و tl، وطفرية فى af و st (بـدون أوراق كلية)، وطفـرية فى tl و st وطفرية فى af و tl و st (شكل ٣ ـ ٢). وقد قارن الباحثان هذه السلالات فى موقعين مختلفين لمدة عامين. وكانت نتائجهما كما يلى :



شكل (٣ ـ ٢) : أشكال طفرات النمو الخضر af و tl و st فى البسلة.

١ ـ 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 ـ ظهر ارتباط جوهرى بين المحصول والمساحة الورقية.

٣ ـ كانت السلالتان af af Tl Tl St St و af af Tl Tl st st أكثر مقاومة للرقاد من السلالة الطبيعية تماماً.

٤ ـ كان نمو بادرات السلالة af af Tl Tl st st بطيئاً نسبياً.

٥ ـ 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 ـ كثيراً ـ مورفولوجياً. ومن أهم المزايا التى يحققها هذا الجين (af) ما يلى:

أ ـ تسهيل عملية الحصاد.

ب ـ تسهيل جفاف المحصول فى حقول إنتاج البنور الجافة.

جـ ـ تقليل انتشار الإصابات المرضية خاصة فى المناطق الرطبة.

د ـ تقليل رقاد النباتات.

هذا.. علماً 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 خالياً تماماً 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 واحداً فى كل من الطرازين الطبيعى ونصف الورقى، ولكنه كان منخفضاً 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 (عن إلياس ومحمد ١٩٨٥).

وقد وجد Stoffella & Kahn (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 وراثياً 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"»؛ تمييزا لها عن النباتات القزمية فى كل من النموات الخضرية والثمرية؛ نظراً 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 الممتصة 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.

فمثلاً.. ظهرت طفرتان قزميتان مستقلتان فى التفاح كانت إحداهما فى الصنف Mcintosh Wijcik، والأخرى فى الصنف Mcintosh Bending، وكان النمو الخضرى فى الطفرة الأولى قوياً، مع قلة عدد الفروع الجانبية، وكثرة الدوابر الثمرية، وكبر الأوراق. وتبين أن هذه الطفرة يتحكم فيها عامل وراثى واحد سائد، مع بعض العوامل المحورة التى يؤدى وجودها إلى نقص قليل فى عدد النباتات القزمية المنعزلة. كما أوضحت الدراسات الوراثية أن الطفرتين متماثلتان تماما، وقد زرعت نباتات التفاح القزمية هذه على مسافة ١,٨م من بعضها فى الخط (Lapins ١٩٧٦).

وتعطى أشجار الفاكهة القزمية محصولاً عالياً من وحدة المساحة عندما تكون زراعتها كثيفة؛ لأن هذه النباتات تكون قصيرة ومندمجة النمو للغاية. فطفرة الخوخ - مثلاً - ذات سلاميات قصيرة جداً، ولا يزيد طول الشجرة عند اكتمال نموها على ١,٨م. وهذه الطفرة تعد أطول بنحو ٦٠ - ٩٠ سم مقارنة بطفرات أخرى معروفة فى الخوخ؛ ولذا.. فإنها أقرب إلى النباتات شبه القزمية - التى سبق ذكرها - فى القمح والأرز، كما أنها تؤثر فى النمو الخضرى دون أن يكون لها أية تأثيرات فى الأعضاء التكاثرية.

ويمكن لأشجار الخوخ الحاملة لهذا الجين أن تثمر قبل الأشجار العادية بنحو سنتين، ولا تتطلب أى تقليم خلال السنوات السابقة للحمل، بعكس الأشجار العادية، وتعطى محصولاً عالى الجودة يصل - وهى فى عمر ٤ سنوات - إلى ٧٣ طنا/ هكتار عند زراعتها بكثافة ٢٠٠٠ شجرة/ هكتار (وهو محصول يبلغ ثلاثة أمثال محصول الأشجار العادية التى من نفس العمر، ونحو ضعف محصول الأشجار العادية التى فى عمر ٧ سنوات)، كما لا يحتاج الأمر إلى سلالم لإجراء العمليات الزراعية.

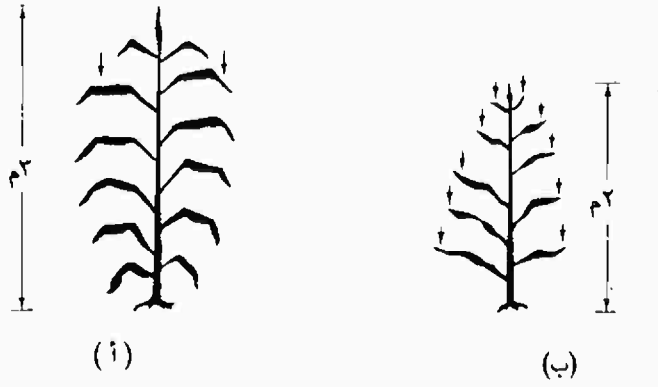
ومن المزايا الأخرى التى تحققها أشجار الفاكهة القزمية - بالنسبة للمربى - سرعة إنجاز برنامج التربية؛ بسبب قصر فترة الحداثة Juvenile period، وقلة تكلفته الإجمالية لاحتياجه إلى مساحة أقل وفترة زمنية أقصر لتنفيذه (Hansche & Beres ١٩٨٠).

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 (٣ - ٣، و٣ - ٤، و ٣ - ٥).

ففى شكل (٣ - ٣) يظهر طرازان من النمو النباتى: (أ)، و (ب). يتميز الطراز (أ)

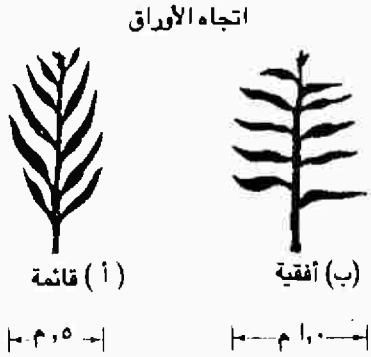
بالنمو القوى، والأوراق العريضة المتدلية المنتشرة جانبياً. ومثل هذه النباتات تنافس الحشائش بصورة جيدة، علماً بأن ذلك ليس له أهمية فى الدول التى تُستخدم فيها مبيدات الحشائش بشكل روتينى. أما الطراز (ب).. فإنه يتميز بنمو خضرى صغير نسبياً، وبأوراق قائمه تسمح بتخلل قدر أكبر من الضوء إلى الأوراق السفلى، التى تكون - بالتالى - نشطة فى عملية البناء الضوئى؛ الأمر الذى قد يؤدى إلى زيادة الكفاءة التمثيلية للنبات ككل. ونظراً لقلة عدد الأوراق فى الطراز (ب) مقارنة بالطراز (أ).. فإنه - أى الطراز (ب) - قد ينمو خضريا 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).



شكل (٣ - ٣) : طرازان للنمو النباتى؛ أحدهما قوى نو أوراق عريضة متدلية (أ)، والآخر صغير نو أوراق قليلة، ويشبه - فى نموه - شجرة عيد الميلاد (ب).

ويبين شكل (٣ - ٤) طرازين لتوجه الأوراق: (أ) نبات نو أوراق قائمة، وهو يتطلب - غالباً - مساحة أقل من الأرض، وتلزم معه زيادة كثافة الزراعة، و(ب) نبات نو 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.



شكل (٣ ـ ٤) : طرازان للنمو النباتى؛ أحدهما ذو أوراق قائمة (أ)، والآخر ذو أوراق أفقية تنتشر جانبيا (ب).

أما شكل (٣ ـ ٥)، فإنه يبين طراز النبات النموذجى ideal plant، الذى يتميز بما يلى: الأوراق العليا قائمة النمو وتتجه إلى أعلى، والأوراق السفلى تميل تدريجيا إلى النمو الأفقى، ولكنها قصيرة نسبياً، والنبات نفسه يحتوى على عشر أوراق فقط، وقصير نسبياً، وذو فترة نمو خضرى قصيرة، وفترة إثمار طويلة. ويكون هذا الطراز مناسباً للزراعة بكثافة عالية فى خطوط ضيقة.

شكل (٣ ـ ٥) : طراز النمو للنبات النموذجى Ideal Plant.

مما تقدم يتضح بيانه أن الأوراق القائمة المتجهة إلى أعلى مفضلة على الأوراق الأفقية الممتدة أفقياً، 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 تستقبلة الأوراق عند الظهيرة فى يوم مشرق تتراوح من ١٠٠٠٠ إلى ١٢٠٠٠ قدم ـ شمعة، ولا يمكن لأوراق معظم الأنواع النباتية «حصاد» كل هذه الطاقة؛ بسبب زيادة شدة الإضاءة كثيراً عما يلزم لوصول عملية البناء الضوئى إلى أقصى معدلاتها؛ لأن ذلك يحدث عند شدة إضاءة تتراوح من ٢٠٠٠ ـ ٣٠٠٠ قدم ـ 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.

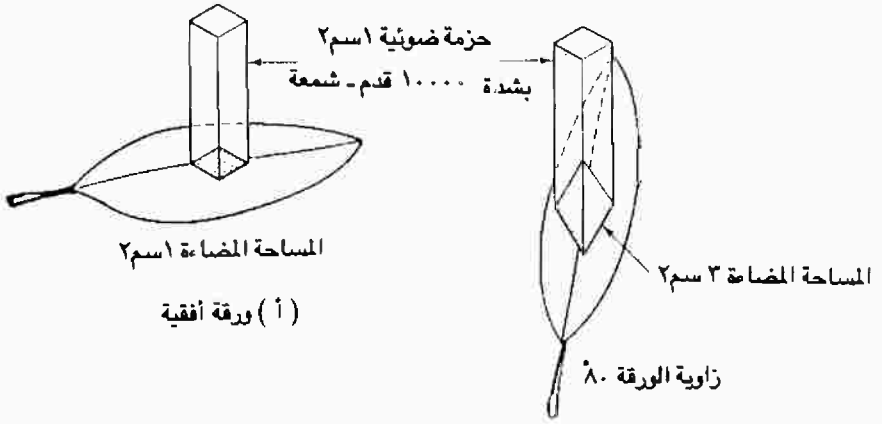
دعنا نتخيل سقوط حزمة ضوئية رأسية تبلغ شدتها ١٠٠٠٠ قدم ـ شمعة على ورقة أفقية (شكل ٣ ـ ٦). افترض بعد ذلك أن الورقة اتجهت تدريجيا إلى النمو القائم إلى أعلى. إن المحصلة الحتمية لهذا التغير فى وضع الورقة هو زيادة مساحة الجزء من الورقة المستقبل لحزمة الضوء. وعند زاوية ٨٠° ـ من الوضع الأفقى ـ نجد أن شدة الضوء (الذى يكون موزعاً على مساحة كبيرة من الورقة) تنخفض إلى مستوى التشبع الضوئى.

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

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

وتكون شدة الإضاءة التى تستقبلها تلك المساحة = $\frac{١٠٠٠٠}{٣}$ = ٣٣٠٠ قدم ـ شمعة /سم٢.

هذا.. إلا أنه لا يطبق التحليل السابق بيانه ـ مباشرة ـ تحت كل الظروف الحقلية.. فبرغم أن أشعة الشمس تأتى دائماً من اتجاه الشمس (أى من اتجاه واحد فى أية لحظة)، إلا أن

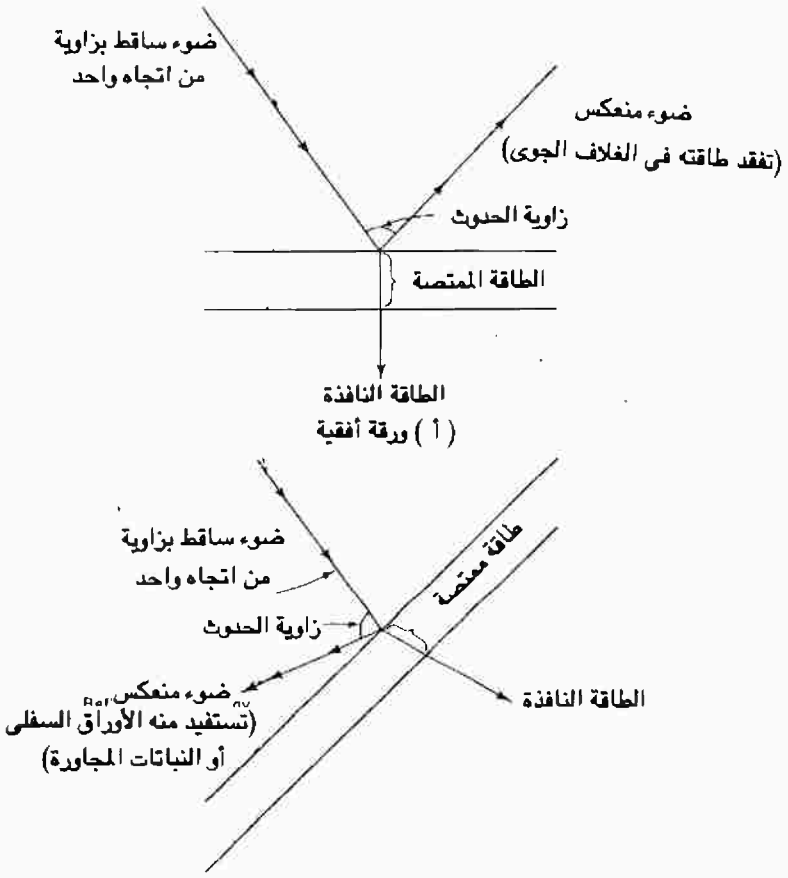


شكل (٣ ـ ٦) : المساحة الورقية التى تستقبل حزمة من الضوء الساقط عليها رأسيا فى كل من الأوراق الأفقية (أ)، والقائمة إلى أعلى (ب).

السحب تشتت الضوء إلى درجة أنه يصل إلى النبات من جميع الاتجاهات بدرجات متساوية تقريبا. كما أن بعض النباتات توجه أوراقها فى مقابل الشمس، وهى الظاهرة التى تعرف باسم الانتحاء الضوئى Phototropism.

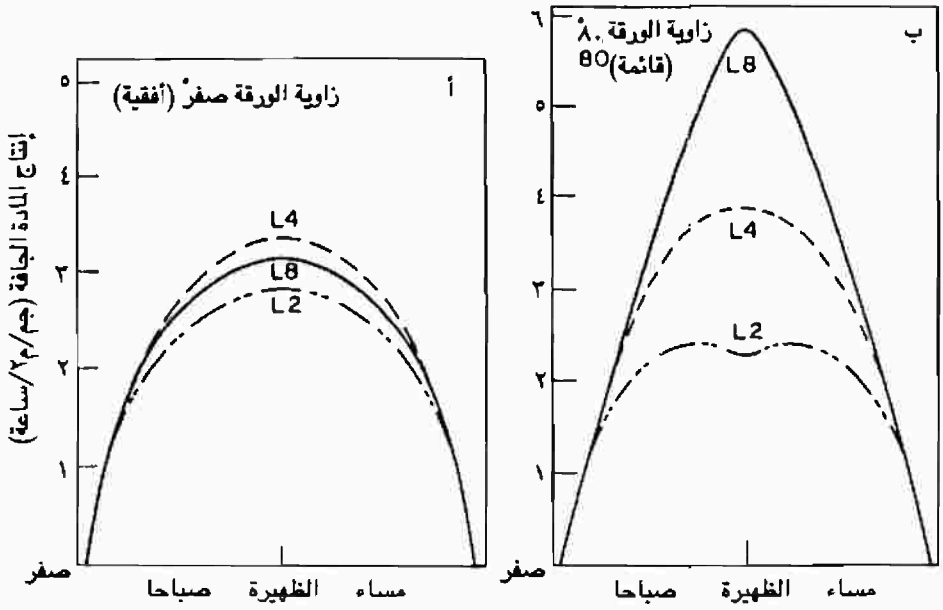
هذا.. وتبلغ كفاءة النبات ـ ككل ـ فى عملية البناء الضوئى أقصى معدلاتها فى شدة إضاءة ٨٠٠ قدم ـ شمعة. وبرغم أن معدل البناء الضوئى للورقة الواحدة يكون ـ فى هذه الحالة ـ منخفضاً، إلا أن العشيرة النباتية تكون استفادتها أفضل من كل الضوء الساقط، وتزداد استفادة العشيرة من هذا الضوء إذا كانت الأوراق قائمة. ولكن استمرار انخفاض شدة الإضاءة عن ذلك يكون مصاحباً بنقص فى معدل البناء الضوئى، إلى أن يتساوى معدل البناء مع معدل الهدم بالتنفس عند شدة إضاءة ٣٠٠ قدم ـ شمعة، وهى ما تعرف بنقطة التعادل أو التكافؤ الضوئى Light Compensation Point، ودونها تصبح الكفاءة التمثيلية سالبة القيمة.

ويبين شكل (٣ ـ ٧) مصير الأشعة الضوئية الساقطة بزاوية (حوالى ٤٥°) على ورقة أفقية (أ)، وأخرى قائمة إلى أعلى (ب)، والذى يتضح منه أن الضوء المعكوس من سطح الورقة يفقد فى الفضاء فى حالة الورقة الأفقية، بينما يتجه نحو الأوراق السفلى ـ التى تستفيد بدورها منه ـ فى حالة الورقة القائمة إلى أعلى.



شكل (٣ ـ ٧) : مصير الأشعة الضوئية الساقطة بزاوية (حوالى ٤٥°) على ورقة أفقية (أ)، وأخرى قائمة إلى أعلى (ب).

وقد استخدم الحاسوب (الكمبيوتر) 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 بزاويا أقل. وتظهر الاختلافات النظرية فى البناء الضوئى (معبرا عنها بكمية المادة الجافة المنتجة بالجرام /م٢ من الأرض /ساعة) للأوراق الأفقية تماماً (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 (٣ - ٨). ويبدو من الشكل أن أهمية الأوراق القائمة تكون واضحة جلية عندما تكون شده الضوء أعلى ما يمكن وقت الظهيرة.



شكل (٣ - ٨) : 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 تدريجيا 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؛ نظراً لزيادة شدة الإضاءة ـ فى تلك المناطق بكثير ـ 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 بذلت فى هذا المجال لم يترتب عليها نجاح كبير، وربما يرجع ذلك إلى الأسباب التالية :

١ ـ ربما لا تستمر الورقة القائمة إلى أعلى ـ فى بداية نموها ـ 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 وضعاً يميل إلى الوضع الأفقى تدريجيا مع بداية ظهور السنابل، وهى المرحلة المهمة التى يتم بعدها تكون الحبوب وامتلائها. ومع خروج السنبلة من غلافها.. امتد الجزء العلوى من غمد الورقة جانبيا، وأجبر ورقة العلم flag leaf على اتخاذ وضع أفقى. ومع تقدم النبات فى العمر.. بدأت الأوراق تتدلى إلى أسفل.

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