وتعطى أشجار الفاكهة القزمية محصولاً عالياً من وحدة المساحة عندما تكون زراعتها كثيفة؛ لأن هذه النباتات تكون قصيرة ومندمجة النمو للغاية. فطفرة الخوخ ـ مثلاً ـ ذات سلاميات قصيرة جداً، ولا يزيد طول الشجرة عند اكتمال نموها على ١,٨م. وهذه الطفرة تعد أطول بنحو ٦٠ ـ ٩٠ سم مقارنة بطفرات أخرى معروفة فى الخوخ؛ ولذا.. فإنها أقرب إلى النباتات شبه القزمية ـ التى سبق ذكرها ـ 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 ـ وهى فى عمر ٤ سنوات ـ 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.

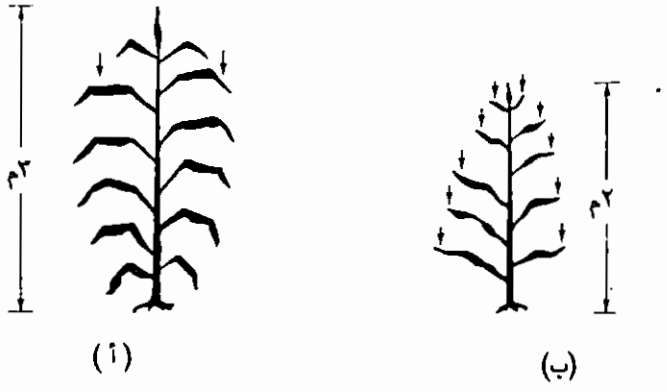
ومن المزايا الأخرى التى تحققها أشجار الفاكهة القزمية ـ بالنسبة للمربى ـ سرعة إنجاز برنامج التربية؛ بسبب قصر فترة الحداثة Juvenile period، وقلة تكلفته الإجمالية لاحتياجه إلى مساحة أقل وفترة زمنية أقصر لتنفيذه (Hansche & Beres ١٩٨٠).

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 ـ وهو ما يعرف فى الإنجليزية باسم Plant Architecture ـ 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 ـ أو المعمارية ـ تلك المبينة فى أشكال (٣ ـ ٣، و٣ ـ ٤، و ٣ ـ ٥).

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

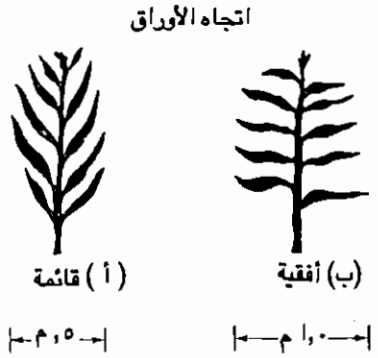
بالنمو القوى، والأوراق العريضة المتدلية المنتشرة جانبياً. ومثل هذه النباتات تنافس الحشائش بصورة جيدة، علماً بأن ذلك ليس له أهمية فى الدول التى تُستخدم فيها مبيدات الحشائش بشكل روتينى. أما الطراز (ب).. فإنه يتميز بنمو خضرى صغير نسبياً، وبأوراق قائمه تسمح بتخلل قدر أكبر من الضوء إلى الأوراق السفلى، التى 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.

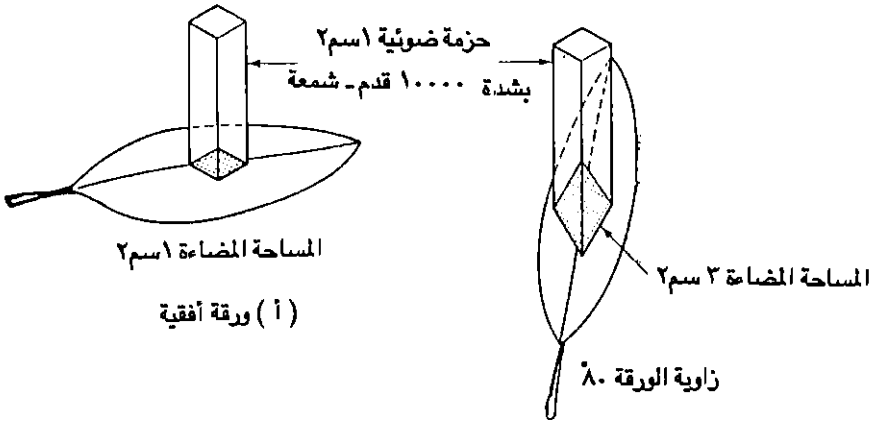
دعنا نتخيل سقوط حزمة ضوئية رأسية تبلغ شدتها ١٠٠٠٠ قدم ـ شمعة على ورقة أفقية (شكل ٣ ـ ٦). افترض بعد ذلك أن الورقة اتجهت تدريجيا إلى النمو القائم إلى أعلى. إن المحصلة الحتمية لهذا التغير فى وضع الورقة هو زيادة مساحة الجزء من الورقة المستقبل لحزمة الضوء. وعند زاوية ٨٠° ـ من الوضع الأفقى ـ نجد أن شدة الضوء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

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

وتكـون شـدة الإضـاءة التـى تستقبلـها تلك المساحـــة = $\frac{١٠٠٠٠}{٣}$ = ٣٣٠٠ قـدم ـ شمعـة /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

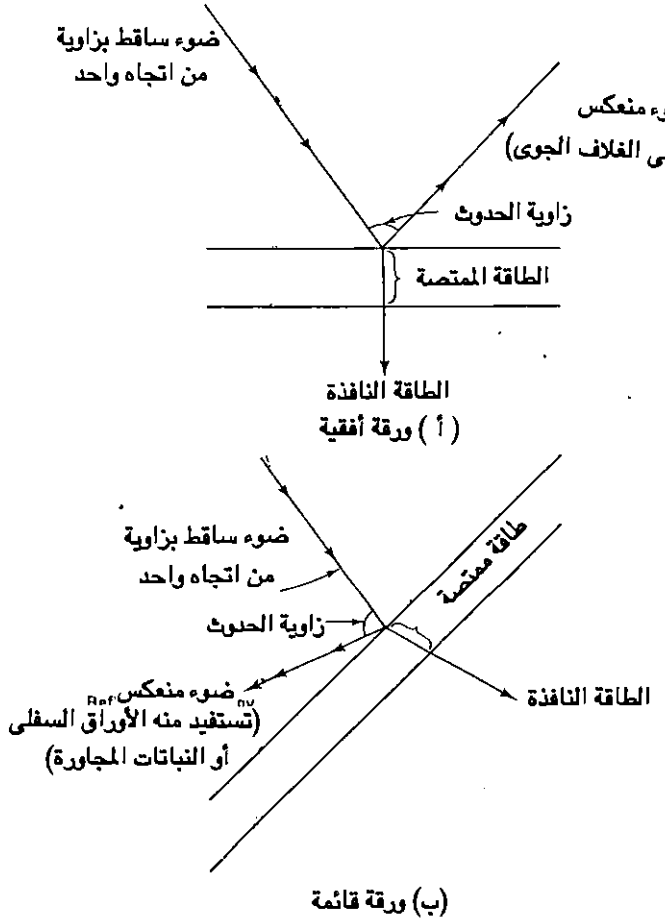


شكل (٣ - ٦) : المساحة الورقية التى تستقبل حزمة من الضوء الساقط عليها رأسيا فى كل من الأوراق الأفقية (أ)، والقائمة إلى أعلى (ب).

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.

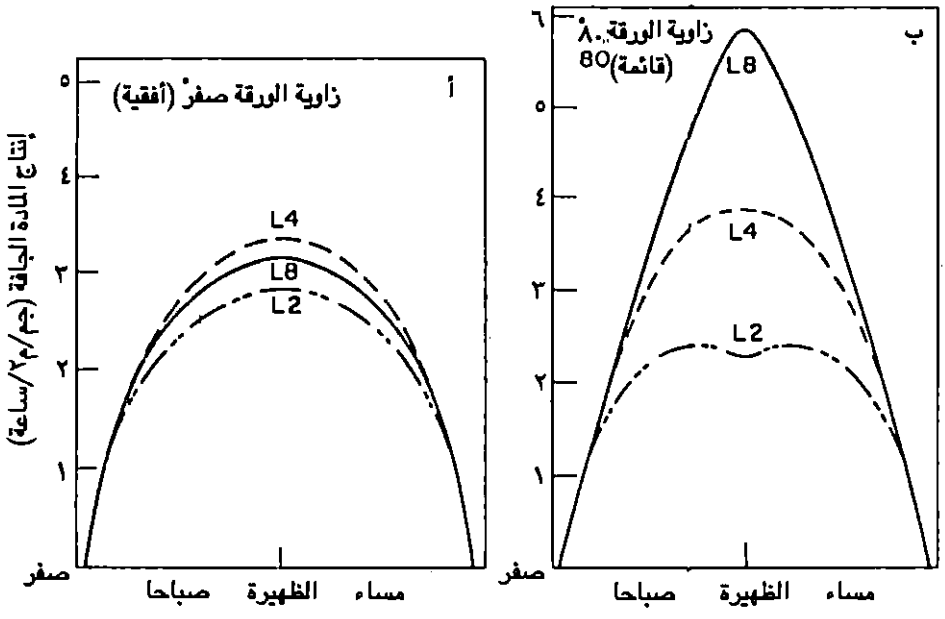
هذا.. وتبلغ كفاءة النبات - ككل - فى عملية البناء الضوئى أقصى معدلاتها فى شدة إضاءة ٨٠٠ قدم - شمعة. وبرغم أن معدل البناء الضوئى للورقة الواحدة يكون - فى هذه الحالة - منخفضاً، إلا أن العشيرة النباتية تكون استفادتها أفضل من كل الضوء الساقط، وتزداد استفادة العشيرة من هذا الضوء إذا كانت الأوراق قائمة. ولكن 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 - 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 - فى تلك المناطق بكثير - 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 - ربما لا تستمر الورقة القائمة إلى أعلى - فى بداية نموها - 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 - 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).