ثالثا- تأثير كثافة النباتات على اعتراض الأشعة الشمسية

إن فعالية إعتراض الطاقة الشمسية الساقطة على الكساء الخضري للمحصول تحتاج إلى مساحة ورقية مناسبة، وموزعة بإنتظام، وتغطي سطح الأرض، وهذا يمكن الوصول إليه عن طريق زراعة الكثافة المثلى أي زراعة العدد الأمثل من النباتات في وحدة المساحة من الأرض مع إنتظام توزيعه.

العوامل التي تؤثر على الكثافة المثلى للنباتات

أ) عوامل خاصة بالنبات وأهمها حجم النبات والتفريع والرقاد،

ب)عوامل بيئية ومنها الإضاءة والرطوبة الأرضية وخصوبة التربة والتسميد.

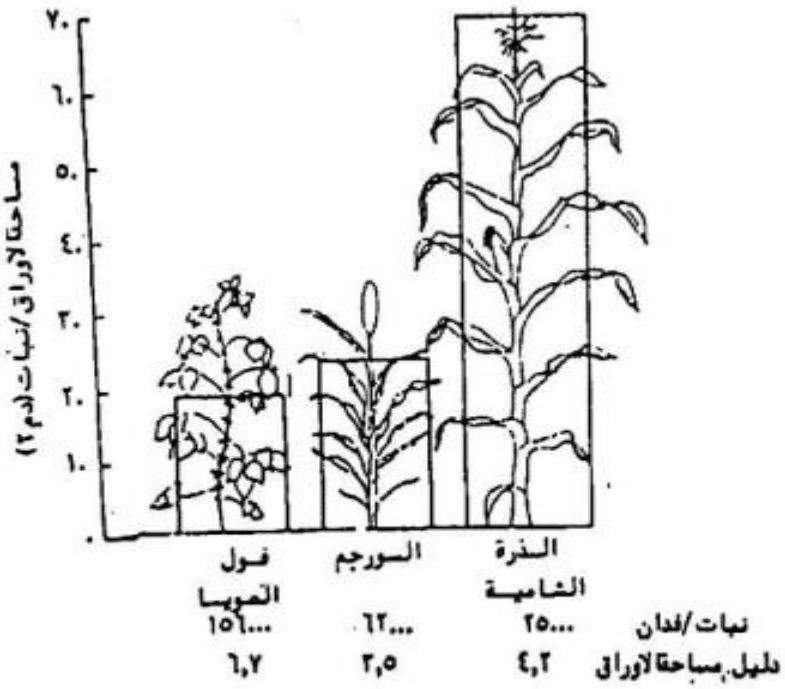
أ- العوامل الخاصة بالنبات

١- حجم النبات Plant size

تختلف نباتات أنواع المحاصيل المختلفة وكذلك الأصنف المختلفة داخل النوع الواحد، عن بعضها في حجم الكساء الخضري، وأن حجم النبات يدل أساسا على مساحة الأوراق لكل نبات. والمثال على ذلك، أن دليل مساحة أوراق نباتات الذرة الشامية، والذرة الرفيعة (السورجم)، وفول الصويا المنزرعة تحت الكثافات النباتية العادية، كانت ٤.٢، ٣.٥، ٦.٧ على الترتيب، ولذلك فإن مساحة السطح الورقي لكل نبات هو العامل المحدد لعدد النباتات اللازم للوصول إلى دليل مساحة الأوراق الحرج (شكل ٤-١٠). كما أن زاوية الورقة على النبات قد تغير من قيمة LAI الحرج، وبالتالي تتغير الكثافة المثلى للنبات (شكل ٤-١٠).

٢- التفريع Tillering (Branching)

تختلف نباتات المحاصيل المختلفة في قدرتها على تكوين أفرع، ويعتبر التفريع وسيلة فعالة لزيادة السطح الورقي لكل نبات، كما أن التفريع يعمل على تعويض النقص في عدد النباتات في الحقل والناتج عن نقص نسبة الإنبات أو الإصابة بالحشرات أو الأمراض، أي أن النباتات التي تكون أفرع يكون لها قدرة تعويضية عالية، ولذلك فإن درجة تأثرها بالكثافة النباتية يكون أقل من مثيلتها التي لا تكون أفرع. والمثال على ذلك، أنه وجد في نباتات الذرة الرفيعة الحبوب التي تتفرع من عقد الساق القريبة من أو أسفل سطح التربة، أن عدد النورات في الإيكر (الإيكر = ٠,٩٦ فدان) قد زادت زيادة طفيفة عندما تغيرت



شكل (٣-١٠). مساحة السطح الورقي/ نبات في الذرة الشامية، السورجم، وفول الصويا المنزرعة في كثافة نباتية مثلى، ودليل مساحة أورق كل منها. (Gardner, *et.al.* 1985).

كثافة النباتات من ١٣٠٠٠ إلى ٥٢٠٠٠ نبات/ إيكر (شكل ٤-١١)، وهذا يدل على أنه في حالة الكثافة النباتية ١٣٠٠٠ نبات، قد تكون على كل نبات أكثر من ثلاثة أفرع يحمل كل منها نورة، ولكن عندما تضاعفت كثافة النباتات من ٥٢٠٠٠ إلى ١٠٤٠٠٠ نبات/ إيكر، فإن عدد النورات بالإيكر قد تضاعف فقط، وهذا يدل على أن عدد الأفرع الذي تكون على كل نبات في حالة الكثافة النباتية ٥٢٠٠٠ نبات/ إيكر كان أقل عنه في الكثافة النباتية ١٣٠٠٠ نبات/ إيكر، من ذلك يتضح أن زيادة عدد النباتات عن حد معين لا يؤدي إلى زيادة محصول الحبوب، لأنه كلما زاد عدد النورات في وحدة المساحة كلما قل عدد الحبوببالنورة (شكل ٤-١١). وعلى العكس من ذلك، فإن أصناف الذرة الشامية المنتجة في الآونة الأخيرة لا تتفرع كثيرا حتى في الكثافة النباتية المنخفضة، وتكون كوز واحد غالبا على النبات، ولذلك فإن محصول الذرة الشامية من الحبوب يكون حساسا جدا لكثافة النباتات بالمقارنة بمحصول الذرة الرفيعة

الحبوب (السورجم)، لأن كلا من دليل مساحة الأوراق وعدد الكيزان يزداد أو يقل تبعا لكثافة النباتات، كما أن نباتات الذرة الشامية ليس لها المرونة الموجودة لدى أنواع المحاصيل التي تتفرع والتي يمكن أن تزيد من مساحة السطح الورقي، وعدد الوحدات المنتجة وذلك عن طريق التفريع، عند زراعتها في كثافات نباتية منخفضة، كما سبق أن ذكرنا في الذرة الرفيعة الحبوب (شكل ٤-١١).

٣- الرقاد

إن زيادة كثافة النباتات عن الحد الأمثل يؤدي إلى صغر وضعف النباتات والسيقان، وغالبا زيادة طول سيقانها، وهذا يسبب رقادها (ميل النباتات نحو الأرض)، ولذلك فإنه يمكن مقاومة أو تقليل الرقاد عن طريق زراعة أصناف ذات سيقان قوية، أو زراعة النباتات بكثافات نباتية منخفضة.

وعموما- يؤدي رقاد النباتات إلى الأضرار الآتية:

١- يؤدي رقاد النباتات إلى إختلال نظام وضع الأوراق على الساق، وهذا يؤدي إلى زيادة تظليل الأوراق بعضها لبعض، مما يؤدي إلى النقص الشديد في كفاءتها في عملية التمثيل الضوئي.

٢- يؤدي الرقاد إلى نقص مساحة المقطع العرضي للحزم الوعائية، وهذا يؤدي إلى إعاقة حركة المواد الغذائية الممثلة، وكذلك إعاقة إمتصاص العناصر الغذائية عن طريق الجذور، وهذا يؤدي إلى نقص كمية الحصول.

٣- كما يؤدي الرقاد أيضا إلى صعوبة عملية الحصاد الآلي، وهذا يؤدي إلى زيادة تكاليف الإنتاج.

ب-الظروف البيئية

تؤثر الظروف البيئية على عدد النباتات الأمثل والذي يعطي أعلى محصول. وأهم العوامل البيئية التي تؤثر في هذا الشأن هي، شدة الإضاءة، الرطوبة الأرضية، خصوبة التربة والتسميد.

ويؤدي نقص شدة الإضاءة التي تتعرض لها النباتات إلى نقص عدد النباتات اللازم للوصول إلى أعلى محصول.

نقص الرطوبة الأرضية يؤدي إلى نقص مساحة السطح الورقي أثناء فترة النمو الخضري، وهذا يؤدي بدوره إلى نقص كثافة النباتات المثلى.

نقص كلا من خصوبة التربة والتسميد يؤديان إلى نقص العدد الأمثل من النباتات للوصول إلى أعلى محصول.

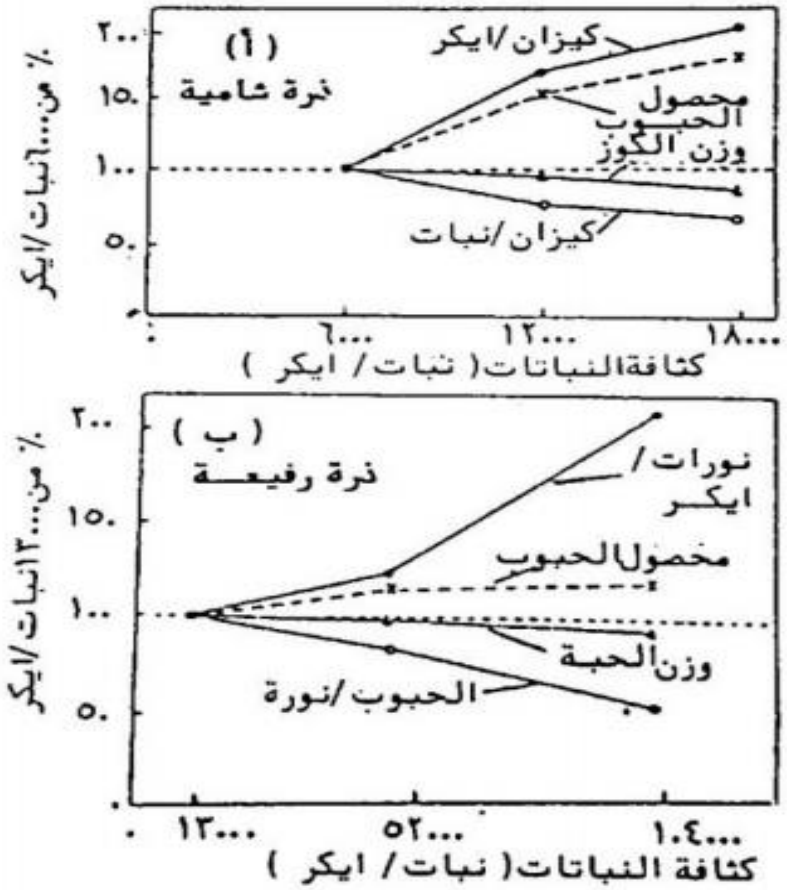
وبالإضافة إلى هذه العوامل البيئية السابقة، فإن الحشائش التي تنمو مع المحصول، تتنافس معه على هذه العوامل البيئية (الضوء، الرطوبة والعناصر الغذائية الموجودة بالتربة) مما يسبب تقليل الكثافة النباتية المثلى للمحصول المنزرع، وهذا النقص يتناسب مع درجة انتشار الحشائش في الأرض المنزرع بها المحصول.

كثافة النباتات وعلاقتها بكمية المحصول

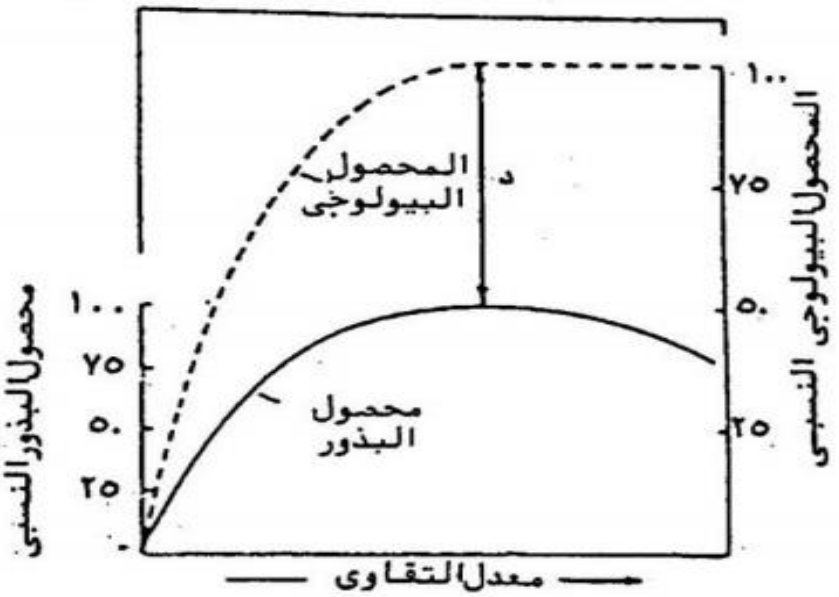
إن كمية المادة الجافة الكلية التي يكونها النبات (النبات كله) يطلق عليها "المحصول البيولوجي Biological yield"، وأن الجزء من المادة الجافة الكلية التي يكونها النبات والتي تتحول إلى ناتج إقتصادي (مثل الحبوب في محاصيل الحبوب) بـ"المحصول الإقتصادي Economic yield"، ولقد وجد أنه عند عندما يزرع المحصول من أجل الحصول على الحبوب (المحصول الإقتصادي)، فإنه توجد كثافة نباتية مثلى للوصول إلى أقصى محصول حبوب، وأن زيادة الكثافة النباتية عن هذا الحد الأمثل، تؤدي إلى نقص المحصول الإقتصادي، والسبب في ذلك هو أن نسبة كبيرة من ناتجات التمثيل الضوئي تستهلك في النمو الخضري والتنفس، ونسبة قليلة تستغل في تكوين ونمو البذور، أي المحصول الإقتصادي.

ولقد وجد أن محصول الحبوب (المحصول الإقتصادي) يصل إلى أقصاه تقريبا، عند الكثافة النباتية التي عندها يصل المحصول البيولوجي إلى حده الأقصى، ثم يثبت كما هو مبين بشكل (٣-١٢). وعند هذه الكثافة النباتية، فإن أي زيادة في المحصول الكلي للفدان ناتجة عن زيادة عدد النباتات في وحدة المساحة عن الحد الأمثل يقابل بنقص في وزن النبات الفردي.

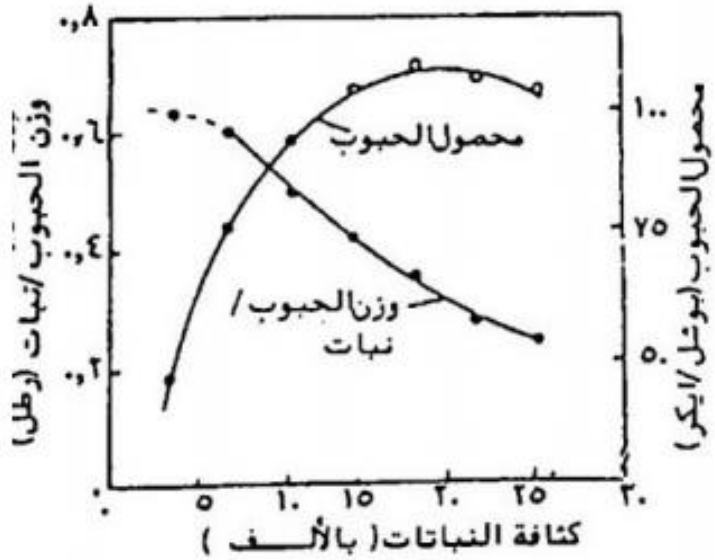
ويبين شكل (٣-١٣) العلاقة بين كثافة النباتات والمحصول في الذرة الشامية، ويتضح من الشكل أن محصول النبات الواحد يقل، كلما زاد عدد النباتات في وحدة المساحة، بينما ازدادت كمية محصول وحدة المساحة بزيادة كثافة النباتات، حتى تصل كثافة النباتات إلى حد أمثل، يصل عنده محصول وحدة المساحة إلى حده الأعلى، ثم تقل كمية محصول وحدة المساحة من الأرض بزيادة كثافة النباتات عن هذا الحد.



شكل (٣-١١). تأثير كثافة النباتات على المحصول ومكوناته في: أ- الذرة الشامية، ب- الذرة الرفيعة. (Gardner, *et.al.* 1985).



شكل (٣-١٢). علاقة معدل التقاوي بمحصول البذور (المحصول الإقتصادي) وبالمادة الجافة الكلية (المحصول البيولوجي) (Gardner, *et.al.* 1985)



شكل (٣-١٣). العلاقة بين المحصول وكثافة النباتات في الذرة الشامية (دانكن، ١٩٥٨).

استجابة نباتات المحاصيل للكثافات النباتية المختلفة

تتعرض نباتات المحصول الواحد المنزرعة معا تحت ظروف الحقل إلى نوعين من التنافس هما:

التنافس بين النباتات وبعضها Interplant competition

وتنافس داخل النبات نفسه Intraplant competition

فعندما تزرع النباتات على مسافات واسعة، أي بكثافة نباتية منخفضة، فلا تعاني النباتات في مراحل نموها الأولى أي من هذين النوعين من التنافس عادة، إذ ماتزال العناصر البيئية المتاحة تزيد عن احتياجات النباتات، ولذلك فتنمو النباتات نموا أمثل، ويتكون عليها عددا كبيرا من الأزهار والثمار. وبعد تكوين هذا العدد الكبير من الأزهار والثمار على النبات الواحد يزداد التنافس بينها على نفس النبات على المواد الغذائية النتاجة من التمثيل الضوئي، ويؤدي هذا إلى تساقط نسبة من هذه الأزهار والثمار، وهذا الفقد في الأزهار والثمار يكون كبيرا عند الزراعة على مسافات واسعة نسبيا، وهذا يؤدي إلى نقص كمية المحصول في وحدة المساحة من الأرض.

يتضح مما سبق أن زراعة النباتات على مسافات واسعة (كثافة نباتية منخفضة) يؤدي إلى فقد في المساحة المنزرعة من الأرض، وزيادة التنافس داخل النبات نفسه، وهذا يؤدي إلى نقص المحصول في وحدة المساحة من الأرض، بالمقارنة بالنباتات المنزرعة بكثافات نباتية أعلى من ذلك نسبيا.

وعند زراعة النباتات في كثافة نباتية مثلى (متوسطة)، فيظهر التنافس بين النباتات وبعضها في طور مبكر نسبيا، هو استبداء تكوين مبادئ الأزهار على النبات الواحد، وهذا يؤدي إلى نقص عدد النورات أو الأزهار التي تتكون على نفس النبات. ويتوقف مقدار هذا النقص في البراعم الزهرية والنورات والأزهار، على درجة التنافس بين النباتات وبعضها على العوامل البيئية،

ولذلك ففي كثافة النباتات المثلى هذه، يصل عدد البذور في كل نورة، وعدد البذور في كل وحدة مساحة من الأرض إلى أعلى قيمة.

وعند زراعة النباتات بكثافة نباتية، تزيد عن الحد الأمثل، فإن التنافس بين النباتات وبعضها، يكون عاليا جدا في وقت تكوين مبادئ الأزهار، وهذا يعمل على نقص عدد البذور، التي تتكون على كل نبات، وبالتالي نقص نقص محصول بذور النبات الواحد، وبالتلي محصول وحدة المساحة من الأرض لأن المنافسة بين النباتات تكون عالية، بالمقارنة بالنباتات المنزرعة بكثافة نباتية أقل من ذلك.

٤- تأثير توزيع النباتات بالحقل على اعتراض الأشعة الشمسية

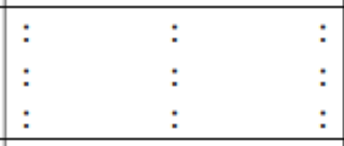
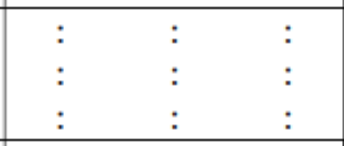
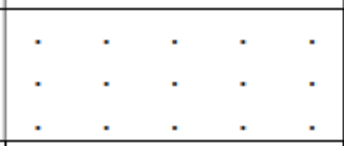
إن التوزيع المنتظم للنباتات بالحقل، يؤدي بدوره أيضا إلى إنتظام توزيع الكساء الخضري للنباتات بالحقل، وزيادة كفاءته في اعتراض الأشعة الضوئية الساقطة عليه، والإستفادة منها. ولكن قد لا تتوزع النباتات توزيعا منتظما بالحقل، إذ توضع البذور عند الزراعة في التربة بواسطة آلات التسطير أو يدويا، في سطور أو على خطوط منفصلة (متباعدة) عن بعضها، وحيث أن عدد البذور المراد زراعتها في وحدة المساحة يمكن أن يوزع على الأرض بطرق مختلفة، وذلك على حسب المسافة بين الخطوط أو السطور، وكذلك المسافة بين النباتات في الخط أو السطر الواحد، فإنه كلما زاد عرض الخط أو المسافة بين السطور، فإنه يلزم وضع عددا أكبر من البذور في كل خط أو سطر، حتى يمكن الوصول إلى الكثافة النباتية المطلوبة، والعكس عندما يكون عرض الخط أو المسافة بين السطور قليلة.

ولقد وجد أن انتظام مسافات الزراعة بين النباتات في الحقل تعمل على زيادة كفاءة الكساء الخضري لهذه النباتات في إعتراض أكبر كمية من الضوء الساقط عليه، وذلك بعد وقت قصير من الزراعة، كما هو مبين بشكل (٣-١٤).

ولقد وجد أنه كلما زادت المسافة بين السطور أو الخطوط تصبح المسافات بين النباتات أقل داخل السطر الواحد، ويظهر التنافس بين النباتات وبعضها داخل السطر أو الخط الواحد، بعد وقت قصير من الزراعة، وهذا يؤدي إلى نقص المحصول، إذ أنه عندما تكون السطور أو الخطوط متباعدة، فإنه يجب زراعة النباتات متقاربة داخل السطر أو الخط الواحد، حتى يمكن الوصول إلى العدد الأمثل من النباتات في وحدة المساحة، كما سبق أن ذكرنا.

يتضح من شكل (٣-١٤)، أنه كلما قلت المسافة بين السطور وزادت المسافة بين النباتات داخل السطر الواحد، كلما زاد انتظام توزيع النباتات بالحقل، وهذا يمكن النباتات من إعتراض أكبر كمية من الضوء الساقط عليها بعد فترة قصيرة من الزراعة.

ولقد وجد أن نقص المسافة بين السطور (الخطوط)، يؤدي إلى زيادة كمية المحصول في كثير من محاصيل الحقل، إذ أن السطور أو الخطوط المتقاربة، مع إنتظام المسافة بين النباتات داخل الخط أوالسطر الواحد، تؤدي إلى سرعة نمو الكساء الخضري، واعتراضه لمعظم الأشعة الضوئية الساقطة على النباتات ، وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة كمية المحصول.

تغطية سطح الأرض في بداية الإزهار	ذرة شامية ٢١ ألف نبات/ فدان	المسافة داخل السطر الواحد	المسافة بين السطور
		٦	٤٠
		٨	٣٠
		١٢	٢٠
		٢٤	١٠

شكل (٣-١٤). نظم توزيع بذور الذرة الشامية، وفول الصويا عند زراعتها في سطور تبعد عن بعضها بمسافة ٤٠، ٣٠، ٢٠،١٠ بوصة. ويبين الشكل أيضا تأثير المسافة بين السطور على كفاءة نباتات فول الصويافي تغطية سطح التربة (عن جاردنر وآخرون، ١٩٨٥).

العوامل التي تؤثر على المسافة بين السطور أو الخطوط

هناك بعض العوامل التي تؤثر على المسافة بين السطور أو الخطوط ومن هذه العوامل، نوع المحصول المنزرع، ميعاد الزراعة، وتوفر الرطوبة.

١ـ المحصول المراد زراعته

تختلف الكثافة النباتية المثلى (التي تعطي أعلى محصول) من محصول لآخر، إذ أن المحاصيل ذات النباتات الكبيرة الحجم، وذات مساحة ورقية كبيرة، تزرع في كثافات نباتية منخفضة، كما سبق أن ذكرنا، كما هو الحال في الذرة الشامية. إن مثل هذه المحاصيل تستجيب بدرجة أقل إلى تقليل المسافة بين الخطوط (أو السطور)، بالمقارنة بالنباتات صغيرة الحجم، مثل فول الصويا والقمح والتي تنمو في كثافات نباتية أكبر.

٢ـ ميعاد الزراعة

يؤثر ميعاد الزراعة على كثافة النباتات، وكذلك على المسافة بين السطور، والمثال على ذلك، أنه عند زراعة نباتات فول الصويا والذرة الشامية في ميعاد متأخر، يؤدي ذلك إلى قصر النباتات وصغر حجمها، نتيجة لتأثير طول الفترة الضوئية المهيئة للإزهار، ولذلك يجب زيادة كثافة النباتات، وتضييق المسافة بين السطور أو الخطوط، للوصول إلى أعلى محصول، وعلى العكس من ذلك عند زراعة النباتات في ميعاد مبكر.

٣ـ توفر الرطوبة

يؤثر توفر الرطوبة على كثافة النباتات والمسافة بين السطور أو الخطوط، فمثلا نقص الرطوبة الأرضية، أو تعرض النباتات لفترات من الجفاف أثناء نموها، فإن تضييق المسافة بين الخطوط أو السطورتؤدي إلى زيادة كمية المحصول في معظم محاصيل الحفل. ويعزي ذلك إلى أن النباتات المنزرعة في سطور متقاربة، تعاني من نقص الرطوبة الأرضية بسرعة، أكبر من مثيلتها المنزرعة في سطور متباعدة، وهذا يؤدي بدوره أيضا إلى أن النباتات المنزرعة في خطوط (سطور) متقاربة، تصبح أقل ارتفاعا وحجما، وذات دليل مساحة أوراق أقل، وهذا يؤدي إلى نقص محصولها.

مما سبق يتضح أنه ليس المهم فقط زراعة العدد الأمثل من النباتات في وحدة المساحة للوصول إلى أعلى محصول، ولكن يجب توزيع هذا العدد الأمثل توزيعا منتظما بالحقل، عن طريق تحديد المسافة بين الخطوط أو السطور، والمسافة بين النباتات في السطر أو الخط الواحد.

وأن كلا من علماء فسيولوجيا المحاصيل وتربية النبات يحاولون تحديد التراكيب الوراثية، التي توافق الزراعة في كثافات عالية وخطوط ضيقة نسبيا.

مما سبق يتضح أن الكمية الكلية من المادة الجافة التي يكونها النبات، تنتج من كفاءة الكساء الخضري في اعتراض الأشعة الشمسية الساقطة عليه، والإستفادة منها أثناء نمو المحصول. وأن أعضاء النبات الأساسية في إعتراض الأشعة الشمسية هي الأوراق.

إن استراتيجية زيادة الإستفادة من الأشعة الشمسية الساقطة على الكساء الخضري للنباتات المنزرعة، وبالتالي زيادة المحصول، تشتمل على الآتي:

١ـ الزراعة في ميعاد مبكر، حتى تتمكن النباتات من تكوين مساحة ورقية كبيرة، وبسرعة تغطى سطح التربة، وتعترض أكبر كمية من الطاقة الشمسية الساقطة على النباتات.

٢- الزراعة بالكثافة النباتية المثلى، والتي تؤدي إلى تكوين دليل مساحة أوراق أمثل، وذلك عندما تصل النباتات إلى تكوين أقصى مساحة ورقية.

٣- الزراعة في الميعاد المناسب، بحيث تتوافق تغطية سطح الأرض بواسطة الكساء الخضري تغطية تامة، أثناء الفترة التي تصل فيها شدة الإضاءة إلى أقصاها، مما يؤدي إلى زيادة الإستفادة من الأشعة الشمسية الساقطة على النباتات بأقصى درجة.

٤- زراعة النباتات بالحقل على أبعاد منتظمة بقدر المستطاع لتقليل التنافس بين النباتات، وزيادة معدل اعتراض الكساء الخضري للأشعة الشمسية الساقطة على النباتات.

٥- الإهتمام بتسميد النباتات لزيادة معدل نموها وكفاءة التمثيل.

٦- العمل على إطالة الفترة التي تظل فيها الأوراق قائمة بالتمثيل الضوئي، وذلك بعد الوصول إلى دليل مساحة الأوراق الأمثل، مما يؤدي إلى زيادة كفاءة إعتراض الكساء الخضري للأشعة الشمسية وكفاءة التمثيل، وزيادة المحصول.