معدل التمثيل الصافي Net A assimilation Rate (NAR)

تنتج المادة الجافة الكلية في النبات من تراكم صافي تمثيل CO2 خلال موسم النمو ويكون تمثيل CO2 ناتج عن امتصاص الطاقة الشمسية وكفاءة استخدامها في تثبيته وبما ان الورقة هي العضو الرئيس الذي تتم فيه عملية التمثيل الكاربوني في النبات لذلك يعبر عن النمو احياناً على اساس المساحة الورقية ويعبر عن معدل تراكم المادة الجافة بوحدة مساحة الورقة بوحدة الوقت (معدل التمثيل الصافي (NAR)) غم/م^2(مساحة الورقة/ اليوم ولو اخذنا ثمرة بعد قطفها نجد انها تستمر بالتنفس أي انها تفقد CO2 وماء وطاقة وسرعان ما تلين وتتجعد ولكن عند وضعها في الثلاجة أو بالمخازن المبردة فان معدل تنفسها يقل وهناك عدة عوامل تؤثر في معدل التنفس والتمثيل الكاربوني و يستخدم معدل التمثيل الصافي NAR كمقياس لمعدل التمثيل الكاربوني مطروحاً منه الفقد بالتنفس

معدل التمثيل الصافي = معدل التمثيل الكاربوني – الفقد بالتنفس

عندما تكون النباتات صغيرة وان اغلب أوراقها تكون معرضة بصورة مباشرة لضوء الشمس لذلك فإن NAR يكون عالي وعندما ينمو النبات وتزداد المساحة الورقية وتصبح الاوراق كثيرة ومظللة يكون NAR منخفض

العوامل المؤثرة في NAR

درجة الحرارة , الضوء, CO2 , الماء, عمر الورقة, العناصر المعدنية, محتوى الكلوروفيل, البنية الوراثية Genotype هذه العوامل جميعها تؤثر في معدل التمثيل الصافي وبالتالي تؤثر في الحاصل النهائي للنبات

الضوء:

وجد في حقول الذرة ان ازالة النورات الزهرية الذكرية Tassel بعملية تسمى Detasseling وذلك بعد الاخصاب أدى الى زيادة الحاصل النهائي من خلال زيادة إيصال الضوء الى الاوراق في النهار وبالتالي زيادة في معدل عملية التمثيل الكاربوني وبالتالي زيادة الحاصل .

Growth and Metabolism

التنفس في الضوء والظلام:

في فترة الظلام يكون التنفس فعال والتمثيل الكاربوني بطيء في حين يكون التمثيل الكاربوني فعال اثناء النهار وكذلك يحدث التنفس اثناء النهار في وجود الضوء ويسمى التنفس الضوئي Photo Respiration وتكون هناك حالتين اعتماداً على نوع النبات C3 أم C4

1- في نباتات C3 لها NAR منخفض بسبب ارتفاع معدل التنفس الضوئي

2- في نباتات C4 لها NAR عالي بسبب انخفاض معدل التنفس الضوئي

المجموعتين C3 وC4 تختلفان في معدل صافي التمثيل والحاصل والسبب يعود الى وجود انزيم RuBp Carboxylase محصور في مكان واحد

عند ارتفاع درجات الحرارة يزداد تنفس نباتات C3 (الحبوب) لذلك يفضل التبكير في موعد الزراعة تهربا من ارتفاع درجات الحارة والذي ينعكس على سلباً على معدل صافي التمثيل بسبب ارتفاع معدل التنفس الضوئي بينما في المناطق الباردة (الالاسكا) نهار طويل ودرجات حرارة منخفضة تنتج افضل الحبوب الا ان الذرة (C4 Plant) تكون غير ناجحة في هذه المنطقة لذلك فان ارتفاع درجات الحرارة تزيد من فعاليات النبات

Q_{10} :

تعرف قيمة Q_{10} للعمليات والتفاعلات بانها مع اي زيادة مقدارها 10 درجات في درجات الحرارة فان قيمتة Q_{10} تتضاعف بمعنى ان التفاعل يتضاعف , النباتات بحد ذاتها Q_{10} الطبيعية لها ثلاثية تسمى Cardinal Temp. Point موجودة في كل نبات وهي الثلاثي الحراري وهي:

1 – درجة الحرارة الدنيا لبدء العمليات الحيوية تسمى نقطة بدء النمو أو توقف النمو وتسمى بالصفر البايولوجي

2 – درجة الحرارة المثلى تكون العمليات الفسلجية في قمتها

3 – درجة الحرارة العليا عندها تتوقف العمليات الفسلجية مرة ثانية

درجات الحرارة الثلاثية تختلف بين النباتات وتختلف خلال مدة دورة الحياة للنبات الواحد. ان قيم NAR تزداد مع ازدياد درجة الحرارة الى المثلى وبعد هذا الحد تبدأ قيم NAR بالانخفاض حتى تتوقف عند درجات الحرارة العليا بسبب التنفس.

Growth and Metabolism

درجة الحرارة المثلى للبناء الكاربوني هي دائماً اقل من درجة الحرارة المثلى للتنفس مثلاً في البطاطا يصل معدل التمثيل الكاربوني اقصاه عند درجة 20 °م بينما التنفس في هذه الدرجة يمثل 12% فقط من اقصى قيمة له وتصل اقصى قيمة له عند درجة 48°م , نلاحظ تسوء حالة النباتات دائماً بارتفاع درجات الحرارة فوق المثلى للتمثيل الكاربوني لانخفاض قيم NAR كما ان التظليل وكبر عمر الورقة يقلل من NAR لانه يقلل من معدلات التمثيل الكاربوني والتنفس مستمر مادامت الاوراق حية.

جدول يبين اوراق نبات في مرحلة الحداثة وله 4 أوراق ونبات اكبر له 7 أوراق ومضحة فيه قيم NAR (نبات مثالي) يبين العلاقة بين الزيادة في عمر الورقة ومعدل NAR

	عدد الاوراق	معدل التمثيل الكاربوني	معدل التنفس	قيمة NAR
نبات في مرحلة الحداثة ذو 4 أوراق	1	12	2	10
	2	10	2	8
	3	7	2	5
	4	3	2	1
	المجموع	32	8	24
نفس السابق نبات أكبر وبه 7 أوراق أي 3 أوراق زادت عن السابق	1	12	2	10
	2	10	2	8
	3	7	2	5
	4	3	2	1
	5	2	2	0
	6	0	2	2-
	7	0	1	1-
	المجموع	34	13	21

Growth and Metabolism

نلاحظ من الجدول الاتي:

1 – مجموع معدلات التمثيل الكاربوني للنبات الكبير 34 وهي أعلى من النبات الصغير 32 بسبب زيادة عدد الاوراق

2 – التنفس تقريباً ثابت ومجموع معدلات التنفس للكبير 13 بينما للصغير 8 بسبب زيادة عدد الاوراق

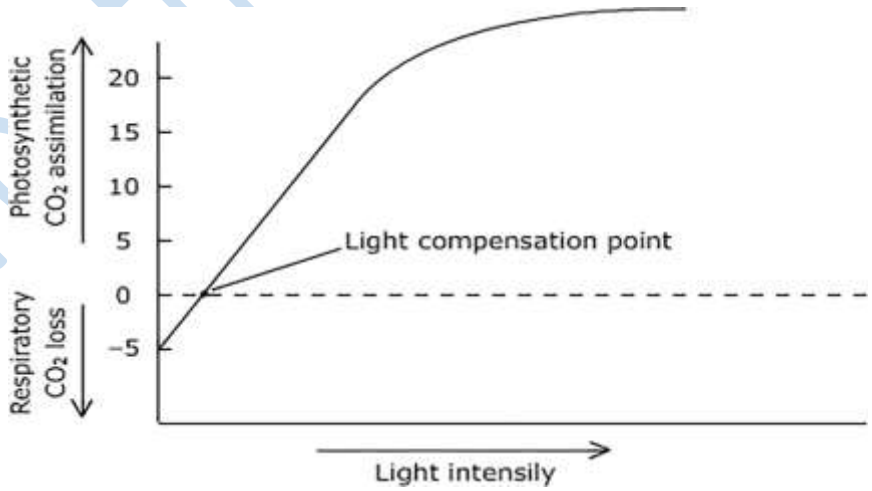
3 – قيم NAR للكبير 21 وللصغير 24 نلاحظ القيمة أقل في الكبير بسبب عمر الورقة والتظليل وزيادة التفرعات.

هذا الوضع مثالي ويجب الاخذبه خلال فترة النمو الخضري الصغيرة لتقليل قيم NAR السالبة عند بداية الفترة الانتاجية وربما لعمر الورقة والتظليل كلا على انفراد أو مجتمعين اضافة الى حجم الورقة وعدد التفرعات (الاغصان) هي وراء هذا الانخفاض وهذه ايضا تختلف حسب النبات والظروف الجوية

4 – الورقة الخامسة قيمة NAR تساوي صفراً وهذا معناه ان النبات في نفطة التعادل أو التساوي أو التوازن Compensation point

5 – الورقتين السادسة والسابعة لها قيم NAR اقل من الصفر ولهذا تعتبر تطفل على النبات وتعرف حالة التطفل Parasitism بانها يستخدم فيها المواد الداخلة في التمثيل بنسب أعلى من تكوينها وعادة تلاحظ في الاوراق السفلى من النبات

العلاقة بين التنفس والتمثيل الكاربوني



Growth and Metabolism

المساحة الورقية Leaf area

كل مقومات الانتاج الزراعي ذات علاقة مباشرة بنمو الاوراق رغم ان العلاقة بين الماحة الورقية والحاصل تظهر للعيان بسيطة لكنها في الحقيقة معقدة لان هناك عوامل عديدة تتعلق باستخدام الضوء لوحده من قبل الاوراق مع استثناء العناصر والماء ودرجة الحرارة, هذه العوامل هي:

1. المساحة الورقية
2. زاوية الورقة
3. وضع الورقة العمودي
4. انعكاس الضوء من الورقة
5. الضوء النافذ المنقول عبر الورقة
6. منحنى استجابة الضوء (العلاقة الفسلجية بين الاضاءة والتمثيل الكاربوني)
7. موقع الشمس فوق الافق
8. الكثافة الضوئية
9. لمعان ضوء الشمس (صفاء السماء)

ان قياس المساحة الورقية لوحدها لا يعني شيء بدون معرفة مسافة الزراعة ولذلك يقاس دليل المساحة الورقية Leaf area index (LAI) الذي يمثل مجموع المساحة الورقية لمحصول الى وحدة المساحة بمعنى:

اذا كان LAI = 1 معناها ان مساحة ورقية مثلاً 10000 م^2 نامية في هكتار واحد (10000 م^2)

LAI = 4 معناها مساحة ورقية 40000 م^2 نامية في هكتار

LAI تحسب في بداية الدور الانتاجي ويقترح لكل نبات له LAI مثالي وعادة يقع بين 2.5 و 5

LAI المثالية عندها نحصل على اعلى حاصل في المادة الجافة في وحدة المساحة

اذا كانت LAI أعلى من المثالية هذا يعني ان حاصل المادة الجافة يقل والسبب يعود الى تظليل الاوراق السفلى وبالتالي تقل قيمة NAR أما اذا كانت LAI أقل من المثالية فهذا يعني ان حاصل المادة الجافة يقل والسبب ان ليس كل الاشعة الشمسية الساقطة مستغلة بأعلى نسبها في التمثيل الكاربوني.

Growth and Metabolism

نظرياً وجد انه بالامكان الوصول الى زيادة في الحاصل بزيادة LAI الى 4 وبعدها لا تكون هناك زيادة .

هناك توصيات كثيرة توصي بزيادة عدد النباتات في وحدة المساحة لكن كمية البذار يجب ان تتطابق مع LAI المثالية للنبات والنباتات تختلف في التركيب الوراثي والنمو البايولوجي لها والذي يؤثر في شكل الورقة (طول وعرض وانحناء الورقة وزاويتها مع الضوء الساقط وتأثير الرياح عليها...الخ)

السيطرة على المساحة الورقية

من الصعوبة السيطرة على المساحة الورقية بالكثافة العددية للنباتات كما تصعب السيطرة على العوامل المؤثرة في نمو وتطور الاوراق وبسبب ان المساحة الورقية والتمثيل الكاربوني مترادفان فيمكن من خلال هذه العلاقة ادارة المحصول في الوصول الى أعلى مساحة ورقية مثالية والتي يمكن ان تتم بأحد الطرائق الاتية واحتمال أكثر من طريقة:

1. كمية البذار Seeding Rate

بواسطة التجارب يمكن التوصية بكمية بذور معينة تعطي مساحة ورقية قريبة جدا من المثالية وهذه يمكن التوصل اليها عن طريق التجارب

2. نظام الزراعة Planting Pattern

يثبت عدد النباتات في وحدة المساحة حسب نظام الزراعة خطوط أو مروز باتخاذ شكل النبات وحجمه

3. الاختلاف في شكل النبات Differences in plant morphology

ان اختلاف صفة الطول في نبات من نفس النوع قد يعود الى جين واحد مثلا البزاليا الطويلة والبزاليا القصيرة والذرة القصيرة والطويلة ويفضل النبات الطويل على المتقزم على فرض ان كل منهما لهما نفس المساحة الورقية الفرق بينهما يعود الى طول السلامية ويعود قلة الحاصل في الاصناف المتقزمة أو القصيرة الى سوء اعتراض اشعة الشمس والتظليل إضافة الى انها أقل مطاطية في مقاومة حركة الهواء أو الرياح وبمعرفة شكل النبات يمكن للمزارع تحوير كمية التقاوي أو نظام الزراعة نحو الافضل

Growth and Metabolism

4. وقت الزراعة Date of Seeding

الزراعة في الوقت المناسب في المناطق المعتدلة تؤدي الى التمايز بدلاً من النمو الخضري أما الزراعة المبكرة تنتج نباتات صغيرة البنية مقارنة بالطبيعية أما الزراعة المتأخرة ايضا تنتج نباتات صغيرة الحجم بسبب قصر فترة النمو الخضري حيث تستجيب للفترة الضوئية

5. الخف والشتل Thinning and Transplanting

مثل زراعة البصل والفجل تكون فيه كمية التقاوي أكثر من الطبيعي وبالخف اليدوي يمكن ان نحصل على حاصل صالح للاستهلاك الطازج كما ان الشتل لبعض النباتات كالطماطة وذلك للتخلص من الانجمادات الطبيعية ولاستغلال اشعة الشمس الفعالة بعد زوال خطر الانجمادات (21 آذار)

6. الحش والرعي

الحش في نباتات المراعي يحافظ على المساحة الورقية قرب المثلى بعمليات القطع المنظم والرعي وكذلك الحال مع المسطجات الخضراء وبعض الخضروات الورقية

7. التنافس والسيطرة الطبيعية

يكون التنافس والسيطرة الطبيعية على الضوء وغيرها من العوامل خاصة عند الزيادة العددية للتقاوي والبذور , فنلاحظ ان بعض النباتات يُقضى عليه والبعض الاخر تقل تفرعاته كما في الحبوب , عملية التفريع أو التشطيط نتيجة الاستطالة , بعض النباتات تموت أوراقها السفلية وكلها بالنتيجة تحدد المساحة الورقية وتظهر النباتات بعض السيطرة نتيجة هذا التنافس.

8. خصوبة التربة

تنشط المساحة الورقية بالسماد النيتروجيني فالحبوب المتضررة ببرودة الشتاء تسمد نايتروجيناً لتشجيع نمو الاوراق وزيادة معدل التمثيل الكاربوني من اجل الحصول على حاصل مُرضي. كما ان الاسراف بالسماد النيتروجيني يزيد من المساحة الورقية ويظلل الاوراق السفلى ويقل الحاصل نتيجة قلة التمثيل الكاربوني

9. الري

تحت ظروف المناطق الجافة الري يحسن ويحدد نمو الورقة اثناء الدور الخضري والري في بداية واثناء الدور الانتاجي أكثر فائدة من الري في الدور الخضري الذي يزيد من المساحة الورقية واضطجاع النبات ويقل NAR ويقل الحاصل.

Growth and Metabolism

علاقة شكل الورقة وتركيب الورقة أو ريازة الورقة Plant Architecture (فن العمارة)

سلوك انتشار الاوراق حسب طول الافرع وطول النبات وغيرها

لو اخذنا الاختلافات الكمية في الصفات الخضرية لنبات الذرة مثلاً يتمثل بما يلي:

1. طول النبات يختلف الطول من 60 – 70 سم الى 650 – 700 سم
2. عدد الاوراق يختلف على الساق الرئيس 8 48 ورقة
3. معدل طول الورقة من 30 – 152 سم
4. معدل عرض الورقة من 4 – 15 سم
5. عدد السيقان من 1 – 15 ساق

من هذه الاختلافات لا يوجد هناك تصميم بنائي مفضل ذات امتياز عن غيره ولكن من خلال البحث عن مختلف الانماط الشكلية للاصناف المتأقلمة في المنطقة يمكن الخروج بنمط مفضل على غيره هذا كله يدرس في مجال الهندسة الوراثية

مثال: نبات صغير أوراقه ذات نسق معين يستطيع اعتراض أكبر كمية من الضوء وبالتالي يزداد التمثيل الكاربوني وعند مقارنته مع نبات آخر أوراقه متجهه الى الخارج قد يحتاج الى مساحة أقل من النبات التي تكون اوراقه أفقية بمعنى أي انه يحتاج الى خطوط أو مروز ضيقة وبالتالي يمكن زيادة عدد النباتات في وحدة المساحة , ويمكن ان نجمع أكثر من شكل بشكل جديد يسمح بتخلل الهواء واعتراض للضوء بشكل جيد.

مثال آخر في القطن والباميا يمكن استخدام الاوراق من نوع Okra و Super okra لزيادة عدد النباتات في وحدة المساحة وزيادة كفاءة التمثيل الكاربوني مقارنة بالاوراق الطبيعية وبالتالي ستكون حركة الهواء بشكل افضل واحسن درجة حرارة للهواء في التمثيل الكاربوني وهذا يتم عندما تكون الاوراق هي okra و Super okra

Growth and Metabolism

زاوية الورقة وحالتها المنتصبة الى الأعلى Leaf angle and up right

تتميز الاوراق القائمة المنتصبة بان لها كيان هيكلي يمكن ان يقدر ويقاس ويشاهد لان وضعها يعطيها اعتراض مناسب للضوء مثلاً:

في يوم صافي عند الظهر يقع على الورقة ضوء ما بين 10000 – 20000 شمعة. قدم , أعلى نسبة من التمثيل الكاربوني عادة تحصل مابين 2000 – 3000 شمعة. قدم ولا يزداد بعد ذلك بزيادة الاشعة فلو تخيلنا شعاع من ضوء الشمس يسقط على ورقة افقية بكثافة 10000 شمعة. قدم فان المساحة المضاءة عند ميلان الورقة الى الانتصاب تزداد بينما كثافة الضوء تقل وبميلان حوالي 70° يمكن ان نحسب المساحة الجديدة باستخدام قانون المثلثات

المساحة الجديدة = 1 / جيب التمام زاوية 70 = 3 سم^2 بمعنى ان كثافة الضوء سوف تقل وتصبح 10000 / 3 = 3000 شمعة. قدم وبهذه الطريقة تصبح قريبة من المثالية مع زيادة المساحة الورقية المضاءة من 1 – 3 سم^2 وبذلك تزداد كفاءة التركيب الضوئي

اما في الايام الغائمة تكون الاشعة متساوية من كل الجهات اضافة الى ان بعض النباتات توجه اوراقها باتجاه الشمس مثل البرسيم و زهرة الشمس التي تتبع حركة الشمس عبر السماء

Growth and Metabolism