

رقم الترتيب:.....

رقم التسلسل:.....

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة الشهيد حمه لخضر-الوادي-
كلية العلوم الدقيقة
قسم الفيزياء

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

تخصص: فيزياء تطبيقية إشعاع وطاقة

من إعداد:

محبوب نوال

كحيلي صافية

تحت عنوان:

دراسة نظرية حول تأثير الإشعاع الشمسي
على المحاصيل الزراعية

نوقشت يوم: 2024/06/24

أمام لجنة المناقشة المكونة من الأساتذة:

رئيسا	أستاذ محاضر	عسكري سهيلة
مناقشا	أستاذ مساعد-أ-	بوراس ليلي
مؤطرا	أستاذ محاضر	فتحي ليتيم
مساعد مؤطر	أستاذ مساعد- أ -	سالمي السعيد

السنة الجامعية: 2024/2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وَقُلْ رَبِّ زِدْنِي عِلْمًا

الإهداء

قد يكون هذا العام ليس محصلة ما درست ولا بداية حياة عملية وانما خطوة وتجربة خضتها بعد أكثر من عشرين سنة من تخرجي في ولاية اخرى وهاهي الاقدار تعيدني حتى اتخرج وسط ولايتي .
قد يكون الاهداء تغير من عشرين سنة الى اليوم وزاد عدد من اهدي اليهم هذا التوفيق وهذا النجاح الذين بفضلهم بعد عز وجل أنا اليوم انال هذه الشهادة .

أهدي هذا النجاح:

- إلى من كان عوناً لي من اول سنوات دراستي أُمي وأبي وأسأل الله أن يحفظهما لي عمراً طويلاً ان شاء الله
- إلى من كان دافعاً لي هذه السنة حتى وقبلها في سنوات عملي إلى زوجي الغالي أسأل الله ان يمهده بالصحة والعافية ويوفقه في مشواره العلمي .
- إلى زهرات حياتي وشمسها إلى بناتي الثلاث سيرين وسجى وسبأ وابني الأكبر قرة عيني سالم حفظهم الله من كل سوء
- إلى رفيقات عمري أخواتي اسأل الله ان يحفظهم وكذلك اخي اسأل الله ان يوفقه ويبارك فيه والى من يرقد في قبره أخي الغالي رضا رحمه الله واسكنه جنته .
- إلى من كان له سبب منذ بدايات تعليمي لليوم بارك الله فيه وبارك فيما علم وفي من علم .
- ولا أنسى الى من ضحوا بدمائهم عزة للامه الى اهل غرة الصامدة الى روح كل شهدائها والى كل حاملي رايات الرباط هناك قرب اراضي عسقلان نسأل الله أن ينصرهم ويمدهم بالصبر ان شاء الله .
- اسأل الله ان يبارك لنا في علمنا وعملنا ويرزقنا اجر طلبنا للعلم وأن يوفقنا في اكمال مسيرة التعليم بأكمل وجه انه على كل شيء قدير وبالاجابة جدير .

محبوب نوال

الإهداء

اهدي هذا العمل المتواضع لمن كان سببا في وجودي أبي وأمي
حفظهما الرحمان والى سندي ومن شجعني على إكمال دراستي
زوجي الغالي نبيل والى زهراتي بناتي هديل نرجس أفنان لينة وقرّة
عيني ابني يوسف ولكل من أعطاني يد العون من قريب أو بعيد
وساعدني في انجاز هذه المذكرة واطح بالذكر المشرف الدكتور

فتحي لتييم.

صفية كحيلتي

الشكر والتقدير

نحمد الله عزّ وجلّ ونشكره وهو أحقّ من يُشكّر على توفيقه لنا على إتمام هذا البحث .

تقدّم بجزيل الشكر والعرفان إلى أستاذنا الفاضل الدكتور "ليثيم فتحي"

والأستاذ سالمي السعيد

اللذان تفضّلا بالإشراف على هذا البحث، فنشكر لهما إرشادهما لنا وصبرهما على أخطائنا وزلاتنا .

كما لا ننسى أن تقدّم أيضا بالشكر الجزيل إلى الأستاذان الكريمتان

" أعضاء لجنة المناقشة "

على قبولهما مراجعة هذا العمل وتصويبه، وعلى كلّ توجيهاتهما السديدة .

كما تقدّم بجزيل الشكر والعرفان لكلّ من ساعدنا من قريب أو بعيد على إنجاز هذا العمل

وإخراجه إلى حيّز الوجود .

فهرس المحتويات

I.....	الإهداء
II.....	الإهداء
III.....	الشكر والتقدير
IV.....	فهرس المحتويات
VII.....	فهرس الجداول
VIII.....	فهرس الأشكال
IX.....	فهرس الصور
X.....	فهرس الرموز
1.....	المقدمة العامة:

الفصل الأول: الإشعاع الشمسي

4.....	1-1 المقدمة
4.....	2-1 الإشعاع: Radiation:
4.....	3-1 الإشعاع الشمسي: (Solar Radiation)
4.....	4-1 أنواع الإشعاع الشمسي:
6.....	5-1 مكونات الإشعاع الشمسي:
6.....	1-5-1 الإشعاع الشمسي المباشر الساقط بشكل عمودي: (Direct Normal Irradiation: DNI):
6.....	2-5-1 الإشعاع الشمسي الأفقي المشتت (Diffuse Horizontal Irradiation):
7.....	3-5-1 الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي (Global Horizontal Irradiation GHI):
8.....	4-5-1 الإشعاع الشمسي الكلي على سطح مائل (Global Tilted Irradiation GTI):
9.....	6-1 أهمية الإشعاع الشمسي:
10.....	7-1 العوامل المؤثرة في الإشعاع الشمسي:
10.....	8-1 حساب الإشعاع الشمسي:
12.....	9-1 الزوايا الشمسية:
12.....	1-9-1 زاوية الانحراف الشمسية δ (solar Declination):
13.....	2-9-1 زاوية سمت الرأس θZ (Zenith Angle):
13.....	3-9-1 زاوية خط العرض φ :
13.....	4-9-1 زاوية خط الطول (L):

13	5-9-1 الزاوية الساعية (ω Hour Angle).....
14	10-1 تقدير قيمة الإشعاع الشمسي:
14	1-10-1 تقدير قيمة الإشعاع الشمسي اللحظي من طرف سطح افقي:
16	11-1 تقدير الإشعاع الشمسي اللحظي الساقط على سطح مائل:
16	1-11-1 الإشعاع المباشر:.....
16	2-11-1 الإشعاع المنتشر:.....
17	3-11-1 الإشعاع المنعكس من الأرض:.....
20	12-1 خاتمة:
21	قائمة المراجع:
الفصل الثاني: الاشعاع الشمسي والمحاصيل الزراعية	
23	1-2 مقدمة
23	2-2 عموميات حول علم الزراعة:
23	3-2 الإشعاع الشمسي وأهميته على المحاصيل الزراعية:
23	1-3-2 نمو النبات:
24	2-3-2 التمثيل الضوئي:.....
24	3-3-2 صحة النبات:.....
24	4-3-2 تنظيم الأيض:.....
24	5-3-2 حماية الأشعة فوق البنفسجية:.....
24	4-2 العلاقة بين الاشعاع الشمسي والمحاصيل الزراعية:
24	1-4-2 تعريف التمثيل الضوئي في النبات:
24	2-4-2 آلية حدوث عملية التمثيل الضوئي:
26	3-4-2 العوامل المؤثرة في عملية التمثيل الضوئي:.....
26	5-2 تقدير الإشعاع الشمسي على المحاصيل الزراعية:
26	1-5-2 الاستشارة العلمية:.....
26	2-5-2 الملاحظة المباشرة:.....
26	3-5-2 القياسات المعلمية:.....
26	4-5-2 الخبرات السابقة:.....
30	6-2 التمثيل الضوئي في الشمس والظل:
32	7-2 اعتراض الضوء واستخدامه:
34	8-2 التثبيط الضوئي والحماية الضوئية:

38 قائمة المراجع:

الفصل الثالث: تأثير الإشعاع الشمسي على نمو وانتاجية المحاصيل الزراعية

41 1-3 مقدمة:

41 2-3 البناء الضوئي

41 3-3 اعتراض الإشعاع

43 4-3 مؤشر مساحة الورقة

44 5-3 تأثير الإشعاع المعترض ومؤشر مساحة الأوراق على النمو وإنتاج المحاصيل

45 1-5-3 المرحلة الأولية:

45 2-5-3 مرحلة تطور المحاصيل:

46 3-5-3 مرحلة منتصف الموسم:

48 6-3 الإشعاع المعترض وطرق قياس مؤشر مساحة الورقة

48 1-6-3 قياس الإشعاع المعترض

49 2-6-3 قياس LI بالطرق المباشرة

50 3-6-3 قياس نسبة الإشعاع المعترض (LI) بطرق غير مباشرة

50 4-6-3 الاستشعار عن بعد لقياس LI

50 5-6-3 استخدام الصور الفوتوغرافية الرقمية

51 7-3 قياس مؤشر مساحة الورقة

52 1-7-3 قياس LAI بالطرق المباشرة

52 2-7-3 قياس LAI بطرق غير مباشرة

53 3-7-3 تقدير LAI باستخدام معامل الانقراض

53 4-7-3 أدوات قياس LAI:

56 8-3 الخاتمة

57 قائمة المراجع:

64 الخاتمة العامة:

67 الملخص

فهرس الجداول

- الجدول رقم (1-1): اختيار اليوم في الشهر واليوم المتوسط من الشهر 15
- الجدول رقم (2-1): تغير الإشعاع الشمسي بتغيير الزوايا في شهر جانفي 18
- الجدول رقم (3-1): تغير الإشعاع الشمسي بتغيير الزوايا في شهر جوان 18

فهرس الأشكال

- النشك رةم (1-1): أنواع الإشعاع الشمسي 5
- النشك رةم (2-1): الإشعاع الشمسي المباشر الساقط بشكل عمودي: (Direct Normal Irradiation: DNI) 6
- النشك رةم (3-1): الإشعاع الشمسي الأفقي المشتت (Diffuse Horizontal Irradiation) 7
- النشك رةم (4-1): الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي (Global Horizontal Irradiation GHI) 8
- النشك رةم (5-1): الإشعاع الشمسي الكلي على سطح مائل (Global Tilted Irradiation GTI) 9
- النشك رةم (6-1): الزوايا الشمسية المختلفة 14
- النشك رةم (7-1): مركبات الإشعاع الكلي على سطح مائل 16
- النشك رةم (8-1): منحنى بياني يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن خلال 24 ساعة (الزاوية $\alpha = 33.5^\circ$) 17
- النشك رةم (9-1): منحنى بياني يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن خلال 24 ساعة على سطح مائل و سطح مستوي. . 18
- النشك رةم (1-2): يتغير ضوء الشمس الذي يمر عبر الغلاف الجوي للأرض من حيث الكمية والتكوين الطيفي. 29
- النشك رةم (2-2): مقارنة بين تركيب التمثيل الضوئي ووظيفته في نباتات الشمس والظل. يتم وصف الخصائص الرئيسية للخلايا والأوراق والنباتات الكاملة. 31
- النشك رةم (3-2): المسار الزمني للأوراق التي تتكشف في *Oxalisoregana* 32
- النشك رةم (4-2): أوراق فول الصويا المزروعة تحت الظل وأشعة الشمس الكاملة بعد 30 يومًا من الزراعة. قضبان 33
- النشك رةم (5-2): منحنى استجابة الضوء لعملية التمثيل الضوئي لنباتات الظل والشمس النموذجية. 34
- النشك رةم (6-2): مع زيادة إشعاع الفوتون، فإن استخدام الطاقة يفسح المجال تدريجيا لتبديد الطاقة. 35
- النشك رةم (7-2): النطاقات الموجية المقابلة للحد الأقصى لامتصاص الأوراق 36
- النشك رةم (8-2): دورة الزانثوفيل الملخصة هنا في تبديد الطاقة الضوئية الزائدة. 37
- النشك رةم (1-3): العلاقات النظرية النموذجية بين الكتلة الحيوية المتراكمة فوق الأرض والإشعاع الشمسي المعترض المتراكم لأنواع C3 و C4. 41
- النشك رةم (2-3): طيف عمل PAR النموذجي، موضح بجانب أطيف الامتصاص للكلوروفيل A والكلوروفيل B 43
- النشك رةم (3-3): عرض نموذجي للتباين في مؤشر مساحة الأوراق النشط (الأخضر) خلال موسم النمو لمحصول الذرة. 44
- النشك رةم (4-3): تقسيم التبخر والنتح إلى تبخر و نتح خلال فترة النمو لمحصول حقل سنوي. 45
- النشك رةم (5-3): تأثير الإجهاد المائي والتغذية في تجربتين على الذرة. 47
- النشك رةم (6-3): تأثير الإجهاد المائي في تجهيز محصول الطماطم المروي بجرعتين. وفقا لمتطلبات المحاصيل (T100) ومعالجة العجز 75% من احتياجات المحاصيل (T75) 48
- النشك رةم (7-3): الصور الرقمية لمعالجة قياس الطماطم بطريقة المساحة. 51
- النشك رةم (8-3): العلاقة بين LAI المقاس باستخدام أداة LAI-2000 و LAI المقدر من NDVI ؛ $RMSE = 0.71$ ، دراسة حالة إيطالية (13% من البيانات المقاسة الأرضية المستخدمة للمعايرة). 54
- النشك رةم (9-3): العلاقة بين مؤشر مساحة الأوراق (LAI) المقدر من خلال أخذ العينات المدمرة للكتلة الحيوية والنسبة المئوية للأرض المظلمة المقاسة (PGC) بطريقة إعادة التصنيف للقرنبيط وتجهيز محاصيل الطماطم في عامي 2005 و 2006. 55

فهرس الصور

- 12 الصورة رقم (1-1): جهاز الأكتينومتر Actinometer
- 12 الصورة رقم (2-1): مسجل كامبل ستوكس
- 25 الصورة رقم (1-2): التفاعلات المعتمدة على الضوء
- 25 الصورة رقم (2-2): التفاعلات المستقلة على الضوء (حلقة كالفن)
- 28 الصورة رقم (3-2): أشعة الشمس تخترق مزارع النخيل في الجزائر

فهرس الرموز

DHI ($W.m^{-2}$)	- الإشعاع الأفقي المشتت
GHI ($w.m^{-2}$)	- الإشعاع الأفقي الكلي
DNI ($w.m^{-2}$)	- الإشعاع الشمسي المباشر
GTI ($w.m^{-2}$)	- الإشعاع الشمسي الكلي على سطح مائل
$L(0)$	- زاوية خط الطول
$\omega(0)$	- الزاوية الساعية
$G_{SC}(w/m^2)$	- ثابت الإشعاع
$\mathcal{Q}(0)$	- زاوية الانحراف الشمسي
$\theta_z(0)$	- زاوية سمت الرأس
$\varphi(0)$	- زاوية خط العرض
$H_0(w/m^2.rd)$	- قياس الإشعاع الشمسي خارج الأرض
$G_{SC}(w/m^2)$	- قياس الإشعاع الكلي
$H_r(w/m^2)$	- الإشعاع المنعكس من الأرض
F_r	- معامل الميل الإشعاع الشمسي الكلي
$G_{MAX}(w/m^2)$	- التدفق الشمسي
U_v	- الإشعاع فوق البنفسجي
$I_L(w/m^2)$	- شدة الضوء
RUE (g/MJ)	- كفاءة استخدام الإشعاع
ATP	- ادينوسين ثلاثي الفوسفات
PAR	- الإشعاع النشط ضوئيا

المقدمة العامة

المقدمة العامة:

تعد الزراعة من أقدم الأنشطة البشرية التي أسهمت في بناء الحضارات وازدهار المجتمعات عبر التاريخ. في جوهر هذا النشاط، يلعب الإشعاع الشمسي دورًا حيويًا وأساسيًا في نمو وإنتاجية المحاصيل الزراعية. تعتمد عملية التمثيل الضوئي، التي تمثل التحويل الأساسي للطاقة الشمسية إلى مواد عضوية داخل النباتات، بشكل مباشر على كمية ونوعية الإشعاع الشمسي الذي تتلقاه النباتات. هذه العملية الحيوية تمكن النباتات من إنتاج الغذاء والطاقة التي تحتاجها للنمو. عندما يقل الإشعاع الشمسي أو تتدنى جودته، تفقد النباتات قدرتها على إجراء التمثيل الضوئي بكفاءة، مما يؤدي إلى انخفاض كبير في إنتاجية المحاصيل ونوعيتها. لذلك، يعد توفر الإشعاع الشمسي الكافي أمرًا بالغ الأهمية لضمان تحقيق مستويات إنتاجية عالية وجودة ممتازة في المحاصيل الزراعية، مما يؤثر في النهاية على استدامة وأمن الإمدادات الغذائية للمجتمعات البشرية.

تأتي هذه المذكرة لتسليط الضوء على أهمية الإشعاع الشمسي بالنسبة للمحاصيل الزراعية من خلال منهج بحث بيبيولوجرافي يجمع بين التحليل النظري واستعراض شامل للأبحاث والدراسات المتعلقة بهذا الموضوع. يشمل البحث البيبيولوجرافي مراجعة الأبحاث العلمية والمقالات والدراسات الميدانية التي تناولت تأثير الإشعاع الشمسي على الزراعة. من خلال هذا النهج، يمكن تحديد العلاقة الدقيقة بين الإشعاع الشمسي ونمو المحاصيل، وكذلك فهم العوامل البيئية والمناخية التي تؤثر على هذه العلاقة.

تنقسم المذكرة إلى ثلاثة فصول رئيسية: يتناول الفصل الأول الإشعاع الشمسي بصفة عامة، حيث يتم تعريفه وتوضيح أنواعه المختلفة، واستعراض القوانين الفيزيائية التي تحكمه. كما سيتم التطرق إلى كيفية حساب كمية الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح الأرض، والأدوات والأجهزة المستخدمة في قياسه وتسجيله. أما الفصل الثاني، فيركز على العلاقة النظرية بين الإشعاع الشمسي والمحاصيل الزراعية. يتم هنا تحليل كيفية استفادة النباتات من الإشعاع الشمسي في عمليات النمو المختلفة، وتأثير التغيرات في كمية ونوعية الإشعاع على العمليات الفسيولوجية للنباتات. ويخصص الفصل الثالث والأخير لجرد أهم الأبحاث والنتائج المتعلقة بتأثير الإشعاع الشمسي على نمو وإنتاجية المحاصيل الزراعية. سيتم دعم هذا الفصل برسوم بيانية توضيحية تسلط الضوء على النتائج الرئيسية وتبين تأثير الإشعاع الشمسي على أنواع مختلفة من المحاصيل عبر مناطق مناخية متنوعة.

تهدف هذه المذكرة إلى تقديم فهم متكامل لدور الإشعاع الشمسي في الزراعة من خلال الاعتماد على أدلة علمية ودراسات ميدانية موثوقة. من خلال هذا الفهم، يمكن تطوير استراتيجيات زراعية أكثر كفاءة واستدامة، مما يساعد في زيادة إنتاجية المحاصيل وتحسين جودتها. كما يمكن أن تسهم هذه

المقدمة العامة

الاستراتيجيات في مواجهة تحديات التغير المناخي وتأثيراته على الزراعة، من خلال تحسين استغلال الموارد الطبيعية وتقليل التأثيرات السلبية على البيئة. تسعى هذه المذكرة إلى أن تكون مرجعًا قيمًا للباحثين والمزارعين على حد سواء، بهدف تحقيق زراعة مستدامة وأكثر إنتاجية في المستقبل.

الفصل الأول

الإشعاع الشمسي

1-1 المقدمة

يتناول الفصل الأول الإشعاع الشمسي بصفة عامة، حيث يتم تعريفه وتوضيح أنواعه المختلفة، واستعراض القوانين الفيزيائية التي تحكمه. كما سيتم التطرق إلى كيفية حساب كمية الإشعاع الشمسي التي تصل إلى سطح الأرض، والأدوات والأجهزة المستخدمة في قياسه وتسجيله.

2-1 الإشعاع: Radiation:

هو نوع من الطاقة يسير بشكل خط مستقيم وسرعة الضوء أو قريباً منه (1) أن أهم مصدر للإشعاع هو الشمس إذ يسمى الإشعاع الصادر منها بالإشعاع الشمسي (Radiation Solar) مع قليل من الإشعاعات الأخرى ذات الطاقة العالية والتي تدخل محيط الأرض إلا أن تأثيرها قليل في سريان الطاقة ولكن تأثيرها المهم في الكائنات الحية (العامل البيولوجي) بسبب التأثير في الكروموسومات وتسمى هذه الأشعة بالأشعة الكونية (Cosmic Radiation) وهناك مصادر أخرى للإشعاعات مثل الصخور والمعادن المشعة والبراكين وطابع المياه المعدنية والغبار الذري وتسمى هذه الأنواع من الأشعة بالأشعة المحلية (Local Radiation) وهي ذات أهمية قليلة في تجهيز الطاقة اللازمة لتسخين المحيط البيئي أو استخدامها من قبل النباتات في عملية التركيب الضوئي.

3-1 الإشعاع الشمسي: (Solar Radiation)

يعرف الإشعاع الشمسي بأنه الطاقة الإشعاعية التي تطلقها الشمس في جميع الاتجاهات والتي تستمد منها كل الكواكب التابعة لها وعندما تصل هذه الأشعة إلى الأرض فإنها تمتص جزء منها وتتحول إلى حرارة (طاقة مكتسبة) تكون نتيجتها حدوث تغيرات مختلفة في الطقس والمناخ. وأشعة الشمس المخترقة للغلاف الجوي من بدء انبعاثها من الشمس وخلال اجتيازها للغلاف الهوائي الجوي في طريقها إلى سطح الأرض تتعرض لعدة عمليات وظواهر تقلل من حدة تأثير هذه الأشعة من الناحية الحرارية والكيميائية. (1)

* وأيضا يعرف الإشعاع الشمسي (2) هو مقدار الأشعة الشمسية الساقطة على مساحة معينة والقادرة على توليد قدرة كهربائية لا يصيب الأرض إلا حوالي جزء من ألفي مليون جزء من أشعة الشمس التي تقدر بنحو 130 ميجاوات لكل متر مربع من سطح الشمس وهذا القدر الضئيل هو المسؤول عن كل الطاقة الحرارية لسطح الأرض وغلافها الجوي.

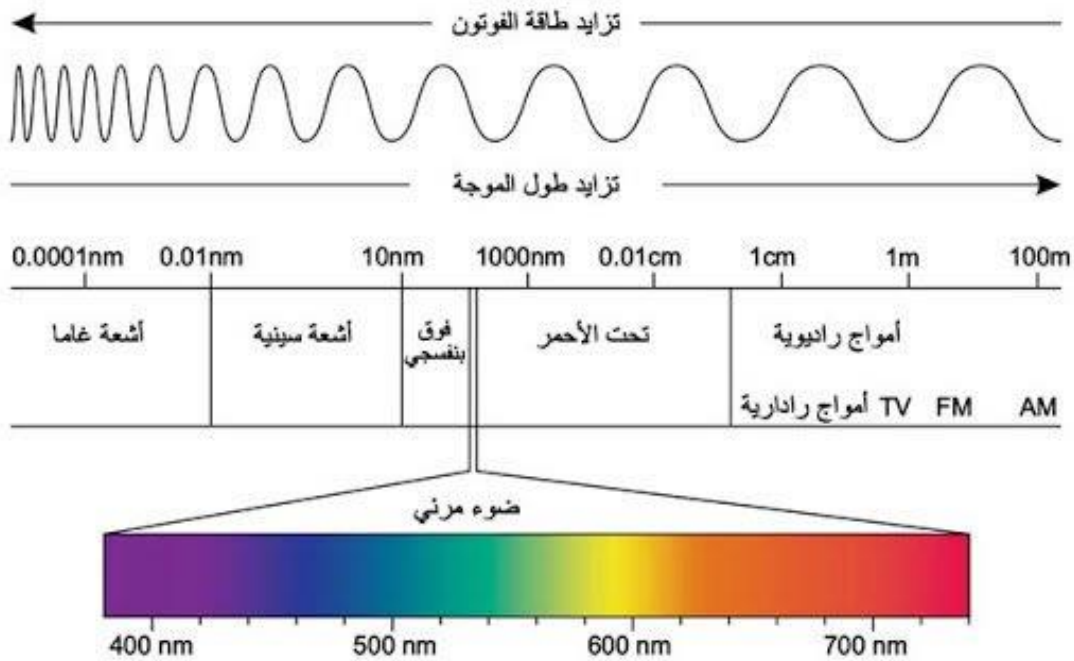
4-1 أنواع الإشعاع الشمسي:

يتميز العلماء ثلاثة أنواع من الأشعة التي يتألف منها الإشعاع الشمسي والتي تشمل.

* الأشعة الحرارية: أو الأشعة تحت الحمراء وهي غير مرئية وتقدر نسبتها بنحو (50%) من جملة الاشعاع الشمسي ويتراوح طول موجاته من (0.75 – 4) ميكرون ($\frac{1}{1000}$ من ملتر) وتلعب دورا هاما في النشاط بأسره.

* الأشعة الضوئية: وهي ما يسمى الضوء المرئي مثلا تخترق الفضاء الكوني من غير أن تراها ولكنها تدير الوسط المادي الشفاف التي تتأثر فيه مثل غلافنا الجوي أو تنعكس منه مثل سطح القمر والتشتت أو التناثر هو السر في إدارة الجو بضوء النهار مع العلم أنه يمكن تحليل الضوء بمنشور زجاجي إلى مكوناته الأساسية وتقدر نسبة الأشعة الضوئية بنحو 37% من جملة الاشعاع الشمسي ويتراوح طول موجاته من (0.40 – 0.74) ميكرون وتزداد قوة الأشعة الضوئية على سطح الأرض في وقت الظهيرة أثناء النهار في فصل الصيف.

* الأشعة فوق البنفسجية: وتسمى أيضا (الأشعة الحيوية) وهي غير مرئية وتقدر نسبتها بنحو (13%) من جملة الاشعاع الشمسي ويختلف طول موجتها من (0.17 – 0.40) ميكرون. (3)

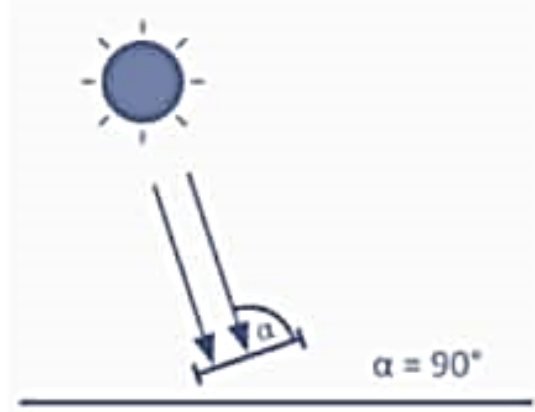


الشكل رقم (1-1): طيف الضوء الابيض

5-1 مكونات الإشعاع الشمسي:

يتكون الإشعاع الشمسي الساقط على سطح ما من:

1-5-1 الإشعاع الشمسي المباشر الساقط بشكل عمودي: (Direct Normal Irradiation: DNI):

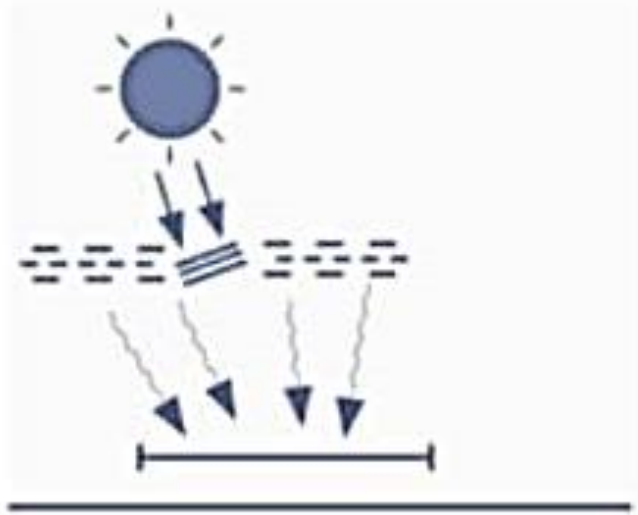


الشكل رقم (2-1): الإشعاع الشمسي المباشر الساقط بشكل عمودي: (Direct Normal Irradiation: DNI)

هو الإشعاع الشمسي الساقط المباشر على وحدة المساحة التي تواجه الشمس مباشرة في جميع الأوقات، وتبرز أهمية الإشعاع الشمسي المباشر بشكل كبير في أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتتبعه لأشعة الشمس بالإضافة إلى أنظمة الطاقة الشمسية المركزة (Concentrating solar systems) والتي تستفيد فقط من الإشعاع الشمسي المباشر (DNI).

2-5-1 الإشعاع الشمسي الأفقي المشتت (Diffuse Horizontal Irradiation):

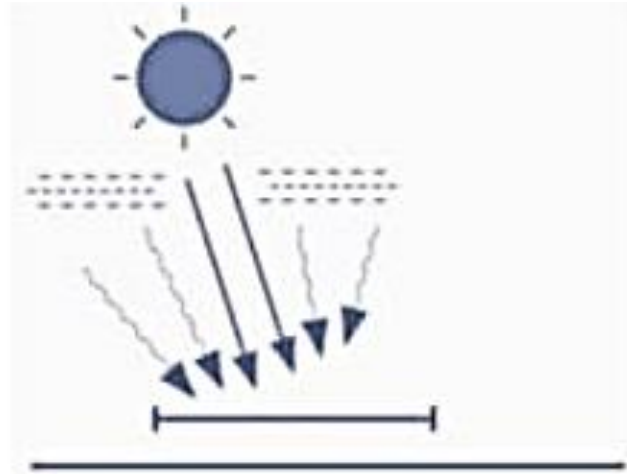
الإشعاع الشمسي الأفقي المشتت يمثل الإشعاع DHI الشمسي الساقط على وحدة من المساحة المثبتة أفقيًا بشكل غير مباشر من الشمس أي الإشعاع الشمسي المنكسر / المبعثر من العيوم أو الأجسام المحيطة.

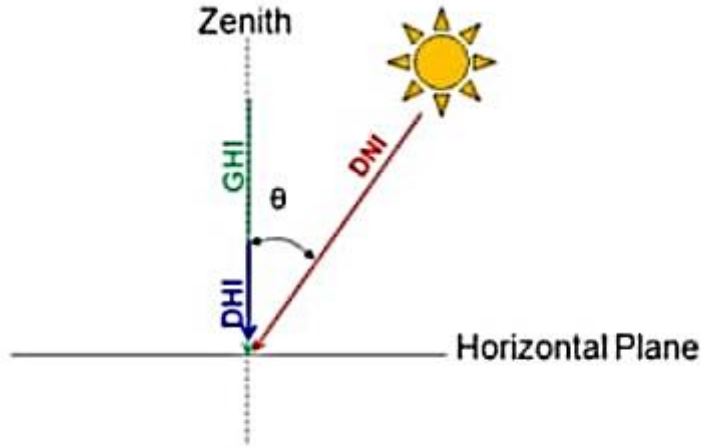


الشكل رقم (3-1): الإشعاع الشمسي الأفقي المشتت (Diffuse Horizontal Irradiation)

3-5-1 الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي (Global Horizontal Irradiation GHI):

الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي يمثل مجموع الإشعاع الشمسي الساقط على وحدة من المساحة مثبتة أفقياً وتتضمن الإشعاع الشمسي الساقط من الشمس مباشرة (المكون الأفقي للإشعاع الشمسي المباشر (DNI) والإشعاع الشمسي الأفقي المشتت (DHI)).





$$GHI = DHI + DNI \times \cos \theta$$

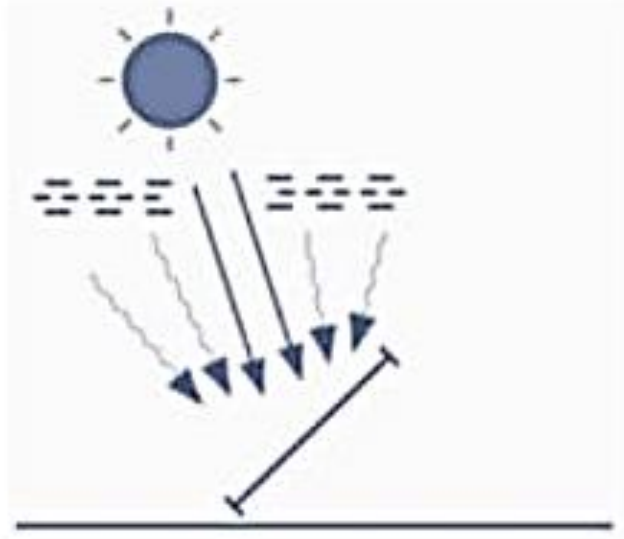
الشكل رقم (4-1): الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي (Global Horizontal Irradiation GHI)

مجموع الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي على صدار العام يمثل أهمية كبيرة لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، والتي لديها القدرة على الاستفادة من الإشعاع الشمسي المباشر والإشعاع الشمسي المشتت.

يستخدم الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي (GHI) في برامج محاكاة إنتاجية أنظمة الطاقة الشمسية لحساب كمية الطاقة الكهربائية المتوقع توليدها وتعمل البرمجيات على حساب الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح بمستوى ميلانها (Global Tilted Irradiation GTI) من خلال عمليات حسابية على الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي (GHI).

1-5-4 الإشعاع الشمسي الكلي على سطح مائل (Global Tilted Irradiation GTI):

الإشعاع الشمسي الكلي على سطح مائل (GTI) يمثل مجموع الإشعاع الشمسي الساقط على وحدة من المساحة مثبتة بشكل مائل عن الأرض وتتضمن الإشعاع الشمسي الساقط من الشمس مباشرة والإشعاع الشمسي المشتت بالإضافة إلى الأشعة المنعكسة من سطح الأرض (Albedo).



الشكل رقم (5-1): الإشعاع الشمسي الكلي على سطح مائل (Global Tilted Irradiation GTI)

- **الوضاءة (Albedo):** هي قدرة جسم ما على عكس الضوء الساقط عليه من مصدر ضوئي كالشمس وهو مصطلح أكثر خاصية من الانعكاسية *reflectivity*، فتعرف الوضاءة بأنها قدرة الجسم على عكس "كافة" الأشعة الكهرومغناطيسية على اختلاف طول موجتها. تعطى الوضاءة كرقم بلا وحدات، فهي النسبة بين الأشعة المنعكسة على سطح إلى الأشعة الساقطة عليه (أي أن الوضاءة *Albedo* 0.9 تعادل 90% لإنعكاس الأشعة على سطحه).

تتراوح قيمة الوضاءة لمادة ما في الضوء المرئي بين قيمة 0.9 للثلج الجديد و0.04 للفحم الحجري وهو واحد من أكثر المواد سوادا. وتصل قيمة الوضاءة (الجسم الأسود إلى الصفر). تختلف قيمة الوضاءة على سطح الأرض تبعا للتضاريس.

فمثلا قيمة وضاءة المحيط منخفضة وكذلك بالنسبة للغابات بينما تملك الصحراء قيمة من أعلى قيم الوضاءة في المناطق المختلفة. تتراوح قيمة الوضاءة على سطح الكرة الأرضية بين 0.1 و0.4 وتبلغ قيمة متوسط الوضاءة لكوكب الأرض حوالي 0.3 وهو أعلى بكثير من قيمة وضاءة المحيط المكون الأساسي للأرض بسبب مساهمة الغيوم برفع القيمة. (4)

6-1 أهمية الإشعاع الشمسي:

- الإشعاع الشمسي مصدر حياة لجميع الكائنات الحية على سطح الأرض.
- يمكنك دائما الاعتماد على الشمس لتزويد بالجوية والطاقة النظيفة.
- تستخدم الطاقة الشمسية أيضا في عمليات التبريد وتسخين المياه.
- يعمل على توفير مصدر الطاقة لعملية التمثيل الضوئي.

- يعتبر مصدر حيوي للطاقة والضوء.

- أعظم ما يميزه أنه متجدد ونظيف. (5)-(6)

1-7 العوامل المؤثرة في الإشعاع الشمسي:

كثيرة ولكن تتمثل أهم هذه العوامل فيما يأتي:

- شفافية الغلاف الجوي: يؤدي انتشار الجسيمات العالقة في طبقة التروبوسفير في الطيف المرئي نحو سطح الأرض إلى حدوث لون في السماء ونتيجة ذلك يحدث تشتت الضوء داخل الغلاف الجوي ثم تتكون ألوان السماء حيث يحدث اللون الأحمر للشمس عند الشروق والغروب وعند مرور الإشعاع الشمسي عبر الغلاف الجوي يمتص بخار الماء والأوزون والغازات الأخرى الكثيرة من الأشعة تحت الحمراء القريبة.

- دوران الأرض حول محورها: حيث أن دوران الأرض على المحور المائل له تأثير كبير على كمية التشوه المتلقاة عند خطوط العرض المختلفة حيث أنها تدور حول محورها بزاوية قياس 66.5 مع مستوى مدارها حول الشمس.

- طول مدة النهار: تختلف باختلاف المواسم والأماكن حيث أن كلما طالت مدة اليوم زاد مقدار الشمس والعكس صحيح يؤدي قصر مدة اليوم إلى تلقي أقل تشمس.

- زاوية سقوط أشعة الشمس: كلما زاد خط العرض قلت الزاوية التي يضعها مع سطح الأرض، وكلما كان مسار أشعة الشمس زادت كمية انعكاس وامتصاص الغلاف الجوي للحرارة، يتسبب في ذلك تشميس أقل، بالإضافة إلى أن أشعة الشمس تعبر الغلاف الجوي بزاوية صغيرة أكثر من الأشعة التي تضرب بزاوية كبيرة.

- أليبدو: هو انعكاسات الأشعة الشمسية من الأرض والرجوع إلى الفضاء. (7)-(8)

1-8 حساب الإشعاع الشمسي:

تحسب أدوات تحليل الإشعاع الشمسي التشمس عبر المناظر الطبيعية أو لمواقع محددة، بناء على طرق من خوارزمية في مجال الرؤية نصف الكروية، يتم إعطاء المقدار الإجمالي للإشعاع المحسوب لموقع أو منطقة معينة كإشعاع عالمي يتم تكرار حساب التشمس المباشر والمنتشر والشامل لكل موقع معلم أو كل موقع على السطح الطبوغرافي مما ينتج خرائط تشمس لمنطقة جغرافية بأكملها. (9)

وهناك العديد من مصادر الإشعاع التي تدخل في حساب الإشعاع الشمسي حيث إن الصيغة البسيطة للإشعاع الشمسي ليست فعالة لأننا سنحتاج إلى أخذ المصادر التالية في الاعتبار للحصول على حساب

دقيق للإشعاع، أولاً. إشعاع " الحزمة " المباشر هو الذي قد تربطه حدسياً بالإشعاع، يتضمن ذلك تحديداً إذا كان هناك أي كائنات تضع أشعة الشمس من الوصول إلى اللوحة الشمسية (الظل) من أجل تحديد إذا كان يجب تضمين هذا المكون في الإشعاع الكلي بالإضافة إلى ذلك هناك نوعان من الإشعاع " المنتشر " أو غير المباشر الذي يجب حسابه مع إشعاع السماء المنتشر وهو الضوء المنعكس من الغلاف الجوي المنفصل عن أشعة الشمس المباشرة، والضوء المنعكس على الأرض عبارة عن شعاع منتشر حيث ينعكس الضوء من الأرض، ثاني لحساب هذه الأنواع الثلاثة العريضة للإشعاع، من الضروري أيضاً مراعاة زاوية المصفوفة واتجاه الشمس ومن أجهزة قياس الإشعاع الشمسي:

- مقياس بيرانومتر لقياس الإشعاع الكلي:

مقياس درجة الحرارة لقياس إشعاع الحزمة المباشر عند الوقوع الطبيعي، يستخدم مقياس بيرانومتر لقياس الإشعاع الكلي نصف كروي وأيضاً مسجل أشعة الشمس الكهروضوئي.

- ترمومتر النهاية العظمى للإشعاع الشمسي:

"مقياس الحرارة للحد الأقصى للإشعاع الشمسي"، المعروف أيضاً باسم مقياس حرارة الإشعاع الشمسي أو مقياس البيرلوميتر (pyrheliometer)، هو جهاز مصمم لقياس الإشعاع الشمسي المباشر. وهو يقيس كمية الطاقة الشمسية المستلمة لكل وحدة مساحة على سطح مستو، ويتم التعبير عنها عادةً بالواط لكل متر مربع (W/m^2). تعتبر هذه الأدوات ضرورية لفهم شدة الإشعاع الشمسي، الذي يؤثر على دراسات المناخ، وتوليد الطاقة الشمسية، وأبحاث الغلاف الجوي.

يتكون مقياس الحرارة عادةً من مستشعر نابذة حرارية يحول الحرارة من ضوء الشمس إلى إشارة كهربائية، والتي يتم بعد ذلك قياسها وتسجيلها. يمكن للنماذج عالية الدقة قياس الثابت الشمسي، وهو إجمالي الطاقة الشمسية الواردة إلى الغلاف الجوي الخارجي، والتي تبلغ حوالي 1361 واط/م². (11)

- جهاز الأكتينوميتر Actinometer:

مقياس الأكتينوميتر هو أداة تستخدم لقياس شدة الإشعاع الشمسي. فهو يحدد كمية ضوء الشمس الذي يصل إلى السطح، وهو أمر ضروري للدراسات في مجال الأرصاد الجوية وعلم المناخ وتطبيقات الطاقة الشمسية. تستخدم مقاييس الأكتينوميترات عادةً عمليات كيميائية أو فيزيائية لقياس الطاقة الإشعاعية، وغالباً ما تشير إلى النتائج بالواط لكل متر مربع (W/m^2). (12)



الصورة رقم (1-1): جهاز الأكتينومتر Actinometer

- جهاز كامبل ستوكس Campbell Stokes :

"مسجل كامبل ستوكس" هو أداة للأرصاد الجوية تستخدم لقياس مدة سطوع الشمس. وهو يتألف من كرة زجاجية تركز ضوء الشمس على شريط ورقي معاير، مما يؤدي إلى حرق أثر يشير إلى كمية ضوء الشمس خلال فترة معينة. هذه البيانات حاسمة لدراسات المناخ والزراعة. (7)-(10)



الصورة رقم (2-1): مسجل كامبل ستوكس

9-1 الزوايا الشمسية:

إن معرفة اتجاه الشمس عند أية نقطة من سطح الأرض والتي تسمى بالموقع الشمسي وهي ضرورية لأجل تحديد موقع الشمس بالنسبة للأرض تسمى الزوايا الشمسية تشمل:

1-9-1 زاوية الانحراف الشمسية δ (solar Declamation):

زاوية الانحراف الشمسي δ هي الزاوية بين المستوي الاستوائي وبين الخط الواصل بين مركز الأرض ومركز الشمس. وتختلف قيمة هذه الزاوية من يوم لآخر هي معادلة الاعتدالات للربيع والخريف،

أقصى انقلاب صيفي ($\delta = +23.^\circ 27'$) وأدنى انقلاب شتوي ($\delta = -23.^\circ 27'$) هذه القيمة بالدرجات في كل العام ومعطاة من طرف متلازمة كوبر (13).

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[360 \left(\frac{284+d}{365} \right) \right] \quad (1-1)$$

حيث: d تعبر عن التقويم السنوي يعني التمثيل الرقمي من 1 إلى 365.

1-9-2 زاوية سمت الرأس (θ_z) (Zenith Angle)

هي الزاوية المحصورة بين سمت الراصد وموقع الشمس، بمعنى آخر هي الزاوية التي يصنعها الشعاع الشمسي مع العمود المقام على السطح الأفقي (14).

مجموع زاوية السمت وزاوية ارتفاع يساوي 90 درجة، أي أن:

$$\theta_z = 90^\circ - h \quad (2-1)$$

1-9-3 زاوية خط العرض (φ):

خط العرض لنقطة ما هو الموقع الزاوي للنقطة المدروسة بالنسبة إلى مستوي خط الاستواء، ويفرض خط العرض موجب شمال خط الاستواء وسالب جنوبا (14).

$$\varphi \in [-90^\circ, +90^\circ]$$

1-9-4 زاوية خط الطول (L)

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول غرينتش. وتقرا هذه الزاوية موجبة شرقا وسالبة غربا (14).

$$L \in [-180^\circ, +180^\circ]$$

1-9-5 الزاوية الساعية ((ω) Hour Angle)

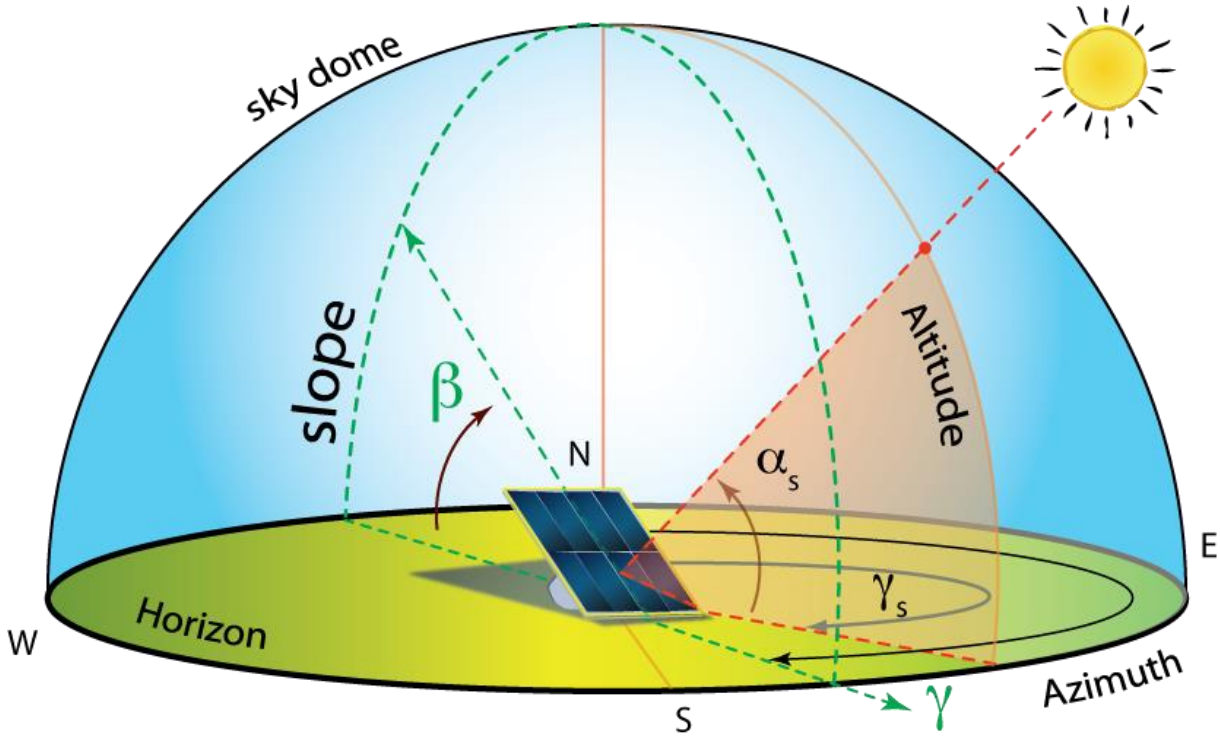
هي القياس الزاوي للوقت وتساوي 15 درجة لكل ساعة. وتقاس بالنسبة إلى موقع الشمس وقت الظهر يمكن استخراج قيمتها لأية ساعة النهار من العلاقات التالية (15):

$$\omega = 15(t_s - 15) \quad (3-1)$$

وتعطى المعادلة باتجاه:

$$\cos \omega_s = -t_q n \phi t_q n \delta \quad (4-1)$$

والشكل (6-1) يلخص الزوايا سابقة الذكر.



الشكل رقم (6-1): الزوايا الشمسية المختلفة

10-1 تقدير قيمة الإشعاع الشمسي:

سنقوم بدراسة تحليلية لتقدير قيمة الإشعاع الشمسي وذلك بناء على الوسائط التالية:

1-10-1 تقدير قيمة الإشعاع الشمسي اللحظي من طرف سطح أفقي:

لحساب الإشعاع الشمسي لسطح أفقي: تستعمل طريقة مشابهة للوغاريتيم SAKlein و JC. Theilaker الحساب يكون: في كل ساعات اليوم المتوسطة مع نفس الإشعاع الكلي اليومي مع المتوسط الشهري. (15)

متوافق مع متوسط اليوم اقترحوا بأخذ اليوم 16 من كل شهر. لكن S.A.Klein يفضل الاختيار اليوم بمساعدة الجدول (1-1).

الجدول رقم (1-1): اختيار اليوم في الشهر واليوم المتوسط من الشهر

الشهر	رقم اليوم في الشهر	رقم اليوم في السنة
جانفي	17	17
فيفري	16	47
مارس	16	75
أفريل	15	105
ماي	15	135
جوان	11	162
جويلية	17	198
أوت	16	228
سبتمبر	15	258
أكتوبر	15	288
نوفمبر	14	318
ديسمبر	10	344

1-1-10-1 قيمة الإشعاع الشمسي خارج الأرض:

الإشعاع الشمسي خارج الأرض يعطى بالعلاقة التالية (13):

$$H_0 = \frac{86400G_{SC}}{\pi} = \left(1 + 0.033\cos\left(2\pi\frac{d}{365}\right)\right) (\cos\phi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_s + \omega_s \sin\phi \sin\delta) \quad (5-1)$$

G_{SC} : ثابت الإشعاع يساوي 1367 w/m^2 .

$$\bar{H} = \bar{K}_t H_0 \quad (6-1)$$

2-1-10-1 تقدير متوسط الإشعاع الشهري (منتشر ومباشر):

يمكن حساب الإشعاع المنتشر \bar{H}_d انطلاقاً من الإشعاع الكلي \bar{H} وذلك باستخدام علاقات D.G: (15)

$$\text{من أجل: } W_s < 81.4^\circ$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.391 - 3.560\bar{K}_t + 1.189\bar{K}_t^2 - 2.137\bar{K}_t^3 \quad (7-1)$$

$$\text{من أجل: } W_s > 81.4^\circ$$

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1.311 - 3.022\bar{K}_t + 3.427\bar{K}_t^2 - 1.821\bar{K}_t^3 \quad (8-1)$$

وبمعرفة \bar{H}_b ويمكن تقدير الإشعاع الشمسي المباشر \bar{H}_d بالعلاقة الثانية:

$$\bar{H}_b = \bar{H} - \bar{H}_d \quad (9-1)$$

بعد معرفة قيم هذه الإشعاعات يمكن تقدير قيمة الإشعاع الشمسي اللحظي المنتشر والمباشر ثم

الكلي وذلك انطلاقاً من علاقات collares-pereira: (15)

$$r_i = \frac{\pi}{24} (a + b\cos\omega) \frac{\cos\omega - \cos\omega_0}{\sin\omega_0 - \cos\omega_2} \quad (10-1)$$

أين:

$$a = 0.409 + 0.501 \sin \left(\omega_0 - \frac{\pi}{3} \right) \quad (11-1)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 \sin \left(\omega_n - \frac{\pi}{3} \right) \quad (12-1)$$

مع:

$$r_\pi = \frac{\pi}{24} \frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\sin \omega_\infty - \omega_2 \cos \omega_*} \quad (13-1)$$

$$H_\alpha = r_d \bar{H}_\alpha \quad (14-1)$$

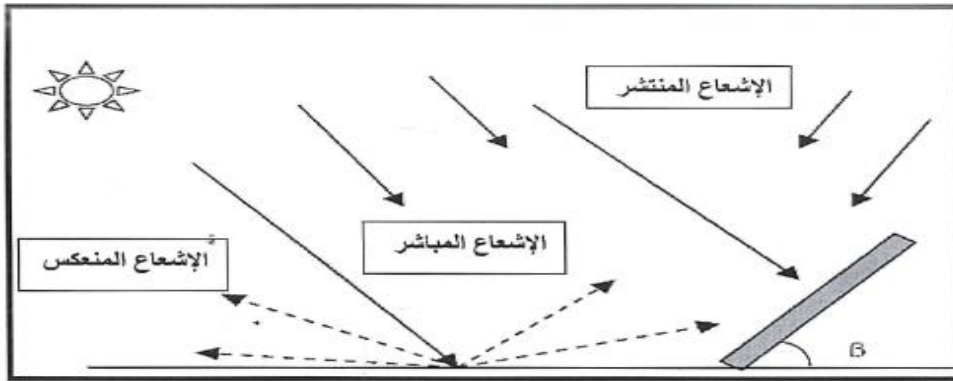
$$H = r_1 \bar{H} \quad (15-1)$$

$$\bar{H}_b = \bar{H} - \bar{H}_d \quad (16-1)$$

$$\bar{H}_b = \bar{H} - \bar{H}_d \quad (17-1)$$

11-1 تقدير الإشعاع الشمسي اللحظي الساقط على سطح مائل:

بالنسبة إلى هذه الحالة يكون السطح المستقبل للإشعاع مائل بزاوية تختلف عن $(\beta > 0)$ وذلك زيادة على الإشعاع المنتشر والمباشر هناك قيمة إضافية منعكسة من طرف سطح الأرض. (15)



الشكل رقم (7-1): مركبات الإشعاع الكلي على سطح مائل

1-11-1 الإشعاع المباشر:

يمكن حساب الإشعاع المباشر انطلاقاً من العلاقة التالية: (15)

$$H_{bi} = r_b H_b \quad (18-1)$$

$$R_b = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (19-1)$$

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega \quad (20-1)$$

$$\cos \theta = \cos(\phi - \beta) \cos \delta \cdot \cos \omega + \sin(\phi - \beta) \sin \delta \quad (21-1)$$

2-11-1 الإشعاع المنتشر:

يمكن حساب الإشعاع المنتشر بالعلاقة التالية: (15)

$$H_{di} = H_d F_d \quad (22-1)$$

$$H_{di} = \frac{H_d}{2} (1 + \cos \beta) \quad (23-1)$$

$$F_d = \frac{1}{2}(1 + \cos \beta)(24-1)$$

3-11-1 الإشعاع المنعكس من الأرض:

يمكن حسابه بالعلاقة التالية: (15)

$$H_r = P_s H F_r (25-1)$$

حسب منطقة الوادي فان قيمة Ps بتقريب (Ps= 0.35)

Fr: معامل الميل

Fr=0 لما تكون الشمس ساطعة.

$$F_r = \frac{1}{2}(1 - \cos \beta)(26-1)$$

لما تكون الشمس محجوبة جزئيا

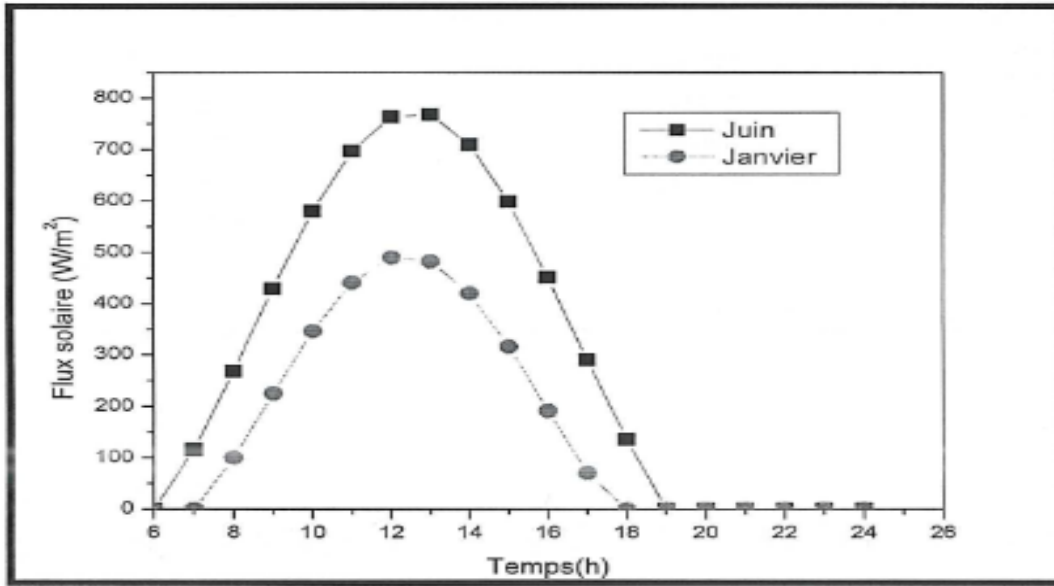
وبناء على ذلك يمكن حساب الإشعاع الشمسي الكلي بالعلاقة التالية:

$$G = H_{bi} + H_{di} + H_r (27-1)$$

بناء على هذه العلاقات (النموذج) الحسابي يمكن تقدير قيمة الإشعاع الساقط على أي سطح سوى

كان مائل أو أفقي ومن ثم ترجمة نتائج هذا البرنامج إلى منحنيات وجدول. (15)

2-تقدير الإشعاع الكلي:



الشكل رقم (8-1): منحنى بياني يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن خلال 24 ساعة (الزاوية $\alpha = 33.5^\circ$)

يبين المنحنى (2-3) تغيرات تدفق الإشعاع الشمسي خلال يوم في منطقة الوادي. في شهرين

مختلفين هما جانفي ومقارنته بشهر جوان حيث نلاحظ أن أقصى قيمة للتدفق الإشعاعي في الفترة الممتدة

بين 12:00 و 14:00

أما عن قيم التدفق الإشعاعي بدلالة تغير الزوايا توضحه الجداول التالية:
الجدول رقم (2-1): تغير الإشعاع الشمسي بتغيير الزوايا في شهر جانفي

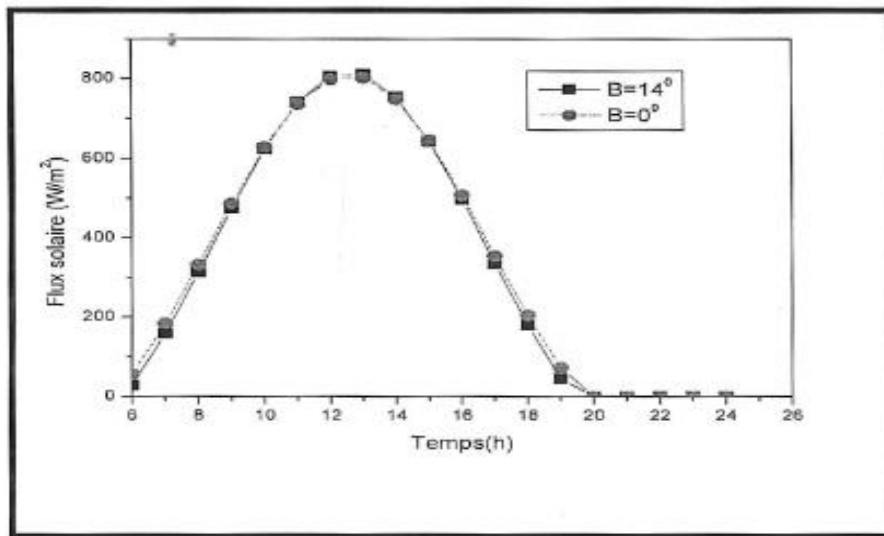
التدفق الشمسي G_{max} w/m	الزوايا
392.21	°5
431.15	°14
490.34	°33.5
509.94	°52
506.74	°60

الجدول رقم (3-1): تغير الإشعاع الشمسي بتغيير الزوايا في شهر جوان

التدفق الشمسي G_{max} w/m	الزوايا
808.82	°5
810.15	°14
768.25	°33.5
716.43	°52
622.61	°60

بالمقارنة بين نتائج الجدولين تلاحظ انه في شهر جانفي له الزاوية المثلى 520 أين يصل الإشعاع الشمسي أقصى قيمة 509.94 w/m^2 .

أما في شهر جوان تعتبر الزاوية المثلى تساوي 14° وقيمة الإشعاع فيها 810.15 w/m^2 (16).
3- الإشعاع الساقط على سطحين مائل ومستوي:



الشكل رقم (9-1): منحنى بياني يوضح تغيرات الإشعاع الشمسي بدلالة الزمن خلال 24 ساعة على سطح مائل و سطح مستوي.

يبين المنحني (9-1) مدى تدفق الإشعاع الشمسي في الوادي وهذا في شهر جوان على سطحين مختلفين سطح مائل بزاوية $\beta = 14^\circ$ و سطح آخر مستوي أي زاويته $\beta = 0^\circ$. فوجدنا أن أعلى إشعاع يكون للسطح المائل لان إشعاعه الكلي يتضمن ثلاث أشعة مختلفة المباشر والمنتشر والمنعكس من الأرض. أما الإشعاع الكلي للسطح المستوي فيتضمن شعاعين فقط أي المباشر والمنتشر. (16)

12-1 خاتمة:

من خلال ما درسنا في هذا الفصل توصلنا إلى النتائج التالية:

- تتغير كمية الإشعاع الشمسي تبعاً لتغير الفصول وعوامل أخرى مساعدة.
- أقصى قيمة يأخذها الإشعاع المباشر ثم المنتشر وأخيراً المنعكس الزاوية المثلى لشهر جانفي تكون تقريباً 52° وإشعاعها الشمسي الاعضي 509.94w/m^2 .
- الزاوية المثلى لشهر جوان تكون تقريباً 14° وإشعاعها الشمسي الاعضي 810.15w/m^2 .
- وقت أقوى إشعاع في شهر جانفي يكون تقريباً على الساعة م 12:00 أما في شهر جوان يكون على الساعة م 13:00.
- الإشعاع الكلي الساقط على السطح المائل يكون أكبر من الإشعاع الساقط على سطح مستوي.

قائمة المراجع:

- (1) محاضرات في الفيزياء والأرصاد الزراعية اعداد أ.د. حكمة مصطفى- أ.د.أبو النصر هاشم عبد الحميد-أ.د.محمد نذير- أ. د عصمت حسن عطية نوفل، بكلية الزراعة لمشتهر 2013، جامعة بغداد.
- (2) مترجم بتصريف من world Nuclear Association.
- (3) مصطفى الشهابي 2003 – أحمد شفيق الخطيب. (المحرر) معجم الشهابي في مصطلحات العلوم الزراعية بالعربية والانجليزية واللاتينية (ط.5)، بيروت، مكتبة لبنان، ص 224.
- (4) الكتاب: الجغرافيا المناخية والنباتية المؤلف: عبد العزيز طريح.
- (5) نضال نجار-ديسمبر 13-2020 مصطلحات وتعريفات مقالات تعليمية.
- (6) اسي سي بهاتيا، في انظمة الطاقة المتجددة المتقدمة2014.
- (7) VenTuresolar.com. 16-02-2017.
- (8) مقال بقلم جيجو سودارشان آخر تحديث بتاريخ. 13يناير2024. ClearLAS.com حقوق الطبع والنشر.
- (9) <http://maps.grida.no/go/graphic/factors-influencing.The-greenhouseeffect>.
- (10) فو ص-2000 نموذج هندسي الاشعاع الشمسي مع تطبيقات بيئة المناظر الطبيعية . دكتورة اطروحة، قسم الجغرافيا جامعة كانساس- الولايات المتحدة الامريكية
- (11) فصل الكتاب دافئ جي ا،بيكمان الهندسة الشمسية العملات الحراري الفصل الثاني
- (12) مقال بقلم جيجو سوداشان آخر تحديث بتاريخ 13 يناير 2024
- (13) <https://www.britannica.com/science/actinometer>
- (14) د.أمين القلق ،سلسلة الحقائق التعليمية التدريبية في مجال الطاقات المتجددة _ حقيبة السخان الشمسي ،المركز الوطني لبحوث الطاقة.
- (15) بن اعمارة عواطف ،معدة أحلام ، دراسة تأثير الهباء الجوي على كمية الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح الأرض ،مذكرة ليسانس ، المركز الجامعي بالوادي ،2012/2013 .
- (16) chekirou wasila .etude et analyse d une machine frigori fique solaire a adsorption .mémoire doctorat. Constantine_2008.

الفصل الثاني

الإشعاع الشمسي والمحاصيل
الزراعية

1-2 مقدمة

بعدما تطرقنا في الفصل الأول إلى مفهوم الإشعاع الشمسي ومكوناته وأنواعه والعوامل المؤثرة فيه، كما أشرنا إلى طرق قياسه، وأهميته في الحياة. ففي هذا الفصل سوف نركز على أهميته في المحاصيل الزراعية وكيف يؤثر عليها.

2-2 عموميات حول علم الزراعة:

الزراعة مصطلح واسع جدا يشمل جميع جوانب إنتاج المحاصيل مثل: تربية الماشية، وصيد الأسماك، والغابات تعتبر زراعة المحاصيل علم يدرس بشكل منظم من أجل توفير الغذاء والاحتياجات الأخرى لتقدم الأمم. كما أن هذا العلم له علاقة بمجموعة من العلوم الأخرى مثل: علم البيئة – والكيمياء – الفيزياء – الرياضيات والاقتصاد.

فعلى سبيل المثال المعروفة بعلم الكيمياء تساعد المزارع على اختبار أفضل الأدوية اللازمة والمناسبة لكل نوع من المحاصيل الزراعية، كما أن علم الرياضيات له دور في التجريب الزراعي من خلال الإحصاء وتقدير النتائج، وعلم الاقتصاد مفيد في معرفة التكاليف والعائدات القائمة، ومعرفة ظروف المزارعين في القرى لإحداث التحسينات ويساعد علم الفيزياء في تقدير ما يحتاجه النبات من الحرارة والأشعة ضوئية الكافية للحصول على أفضل المحاصيل الزراعية فبدون العلوم الأساسية لا يمكن أن يكون هناك تطور في العلوم التطبيقية في مجال الزراعة لأنها علوم مترابطة مع علم الزراعة (1).

2-3 الإشعاع الشمسي وأهميته على المحاصيل الزراعية:

تختلف شدة الإضاءة اختلافا كبيرا من مكان إلى آخر وتتكيف النباتات التي تعيش في أماكن مختلفة للعوامل البيئية السائدة في هذه الأماكن، ومنها شدة الإضاءة... ويتمثل دورها بالنسبة لمحاصيل الزراعة فيما يلي: (2)

2-3-1 نمو النبات:

يمكن للضوء أن يؤثر على نمو النبات ويظهر ذلك من خلال تأثيره على إنبات البذور فهناك نباتات تحتاج بذورها إلى ضوء تام ومستمر لكي تنبت، وإذا لم تتعرض للضوء خلال بضعة أيام سوف تفقد حيويتها. مثل نبات التين تحتاج بذورها إلى إضاءة مستمرة على عكس بعض النباتات الأخرى فقد ينشط الضوء من إنبات بذورها مثل البصل. (3) كما يؤثر الضوء الشمسي على عملية تمايز الخلايا ونمو الجذور والسيقان والأوراق والأزهار وتختلف أطوال الموجات في الضوء الشمسي، مثل الأشعة فوق البنفسجية والضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء في قدرتها على التأثير على نمو وتطور النباتات. (4)

2-3-2 التمثيل الضوئي:

هناك علاقة مباشرة بين شدة الإضاءة ومعدل التركيب الضوئي حيث يؤثر مستوى شدة الإضاءة على عدة جوانب من هذه العملية بما في ذلك تركيب الكلوروفيل وهو مركب موجود في خلايا النبات يمتص الإشعاع الضوئي ويحوّله إلى طاقة كيميائية فكلما كانت شدة الإضاءة عالية ارتفعت كمية الكلوروفيل وبالتالي تزداد شدة التركيب الضوئي.

وهنا تجدر الإشارة أن هناك حد لشدة الإضاءة التي يمكن للنباتات تحملها، حيث يؤدي شدة الإضاءة الزائدة إلى حروق وتلف الأنسجة النباتية. (5)

2-3-3 صحة النبات:

يحمي الإشعاع الشمسي النباتات ويعزز مقاومتها للأمراض فالنباتات التي تتلقى كميات كافية من الضوء الشمسي غالباً ما تكون أكثر قوة وأقل عرضة للإصابة بالأمراض. (6)

2-3-4 تنظيم الأيض:

يؤثر الإشعاع الشمسي على عمليات الأيض في النباتات، ويتمثل ذلك في إنتاج الهرمونات النباتية وتجميع المواد الغذائية. (6)

2-3-5 حماية الأشعة فوق البنفسجية:

في حين أن الإشعاع فوق البنفسجي المفرط (UV) يمكن أن يكون ضاراً بالنباتات، فإن المستويات المعتدلة يمكن أن تحفز إنتاج مركبات الحماية مثل الفلافونويد والأنثوسيانين. هذه المركبات درع النباتات من تلف الأشعة فوق البنفسجية. علاوة على ذلك، تعمل بعض الأطوال الموجية لأشعة الشمس كإشارات لتطوير النبات والاستجابات للإشارات البيئية.

2-4-2 العلاقة بين الإشعاع الشمسي والمحاصيل الزراعية:

تعتبر عملية التركيب الضوئي عملية حيوية أساسية للمحاصيل الزراعية، حيث يتم خلالها تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية يمكن استخدامها في التغذية والوقود وتترافق هذه العملية عادة بتحرير غاز الأكسجين. (7)

2-4-1 تعريف التمثيل الضوئي في النبات:

البناء الضوئي هو العملية الكيميوفيزيائية التي تقوم بها النباتات الخضراء وخلالها تحول المواد الخام الغير عضوية إلى مركبات عضوية في وجود ضوء الشمس. (7)

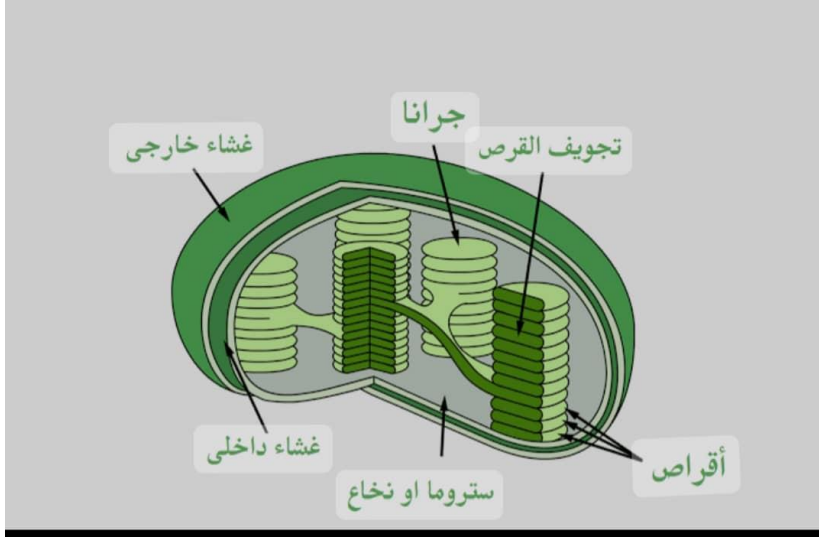
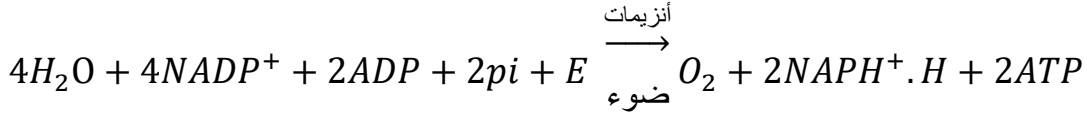
2-4-2 آلية حدوث عملية التمثيل الضوئي:

تحدث عملية البناء الضوئي على مرحلتين متتابعتين:

أ/ التفاعلات المعتمدة على الضوء: وهي تفاعلات تعتمد على وجود الضوء، حيث يوجد بداخل البلاستيدات الخضراء جهاز غشائي يتكون من (stroma, lamellae, grana, strama) وتكمن أهمية هذا

الجهاز في تجميع وانتاج الطاقة الضوئية وتحويلها إلى طاقة كيميائية عن طريق مجموعة من تفاعلات الأكسدة والأرجاع للحصول على مركبات طاقة وذلك من خلال:

- فسفرة ضوئية حلقية: تنتج خلالها مركبات طاقة على صورة ATP.
- فسفرة ضوئية لا حلقية: تنتج خلالها مركبات طاقة على صورتها $NADPH+H$ و atp . (8)



الصورة رقم (1-2): التفاعلات المعتمدة على الضوء

ب/ التفاعلات المستقلة على الضوء: بعد إنتاج ATP والمرافق الأنزيمي المختزل $NADPH+H$ من التفاعل الكيميوضوئي، يتم تثبيت غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 وإرجاعه إلى مواد كربوهيدراتية وهذه التفاعلات لا تحتاج إلى الضوء وإنما تحدث في الظلام فهي تعتمد على نواتج المرحلة الضوئية. ($NADPH+H$ و ATP) وتسمى بدورة كالفن نسبة إلى مكتشفها كالفن. (8)



الصورة رقم (2-2): التفاعلات المستقلة على الضوء (حلقة كالفن)

2-4-3 العوامل المؤثرة في عملية التمثيل الضوئي:

من أهم العوامل البيئية التي تؤثر في عملية التمثيل الضوئي هي:

- أ/ تأثير شدة الإضاءة: كلما كانت النباتات معرضة لشدة إضاءة ضعيفة فإن معدل عملية التمثيل الضوئي يزداد تدريجياً بزيادة شدة الإضاءة إلى أن تصل شدة الإضاءة إلى نقطة التعويض الضوئي، وهي الشدة التي تكون فيها كمية CO_2 الممتصة مساوية إلى كمية CO_2 المنطلقة من التنفس. (7)
- ب/ تأثير غاز ثاني أكسيد الكربون: يعتبر غاز CO_2 هو المصدر الرئيسي للكربون الذي تستخدمه النباتات في عملية التمثيل الضوئي عن طريق فتحات صغيرة تسمى الثغور موجودة في أوراق النبات، فكلما زادت تركيز CO_2 في الجو زادت سرعة التمثيل الضوئي. (7)
- ج/ درجة الحرارة: تؤثر درجة الحرارة على سرعة وفعالية عملية التمثيل الضوئي بحيث تعمل درجة الحرارة المنخفضة جداً أو المرتفعة جداً على تقليل عملية التمثيل الضوئي. (7)
- د/ توفر الماء: يعتبر الماء عنصراً حيوياً آخر لعملية التمثيل الضوئي ويتم امتصاصه من التربة بواسطة الجذور، ويؤدي نقص الماء إلى انخفاض سرعة التمثيل الضوئي. (7)
- هـ/ العناصر الغذائية: بعض العناصر الغذائية مثل النيتروجين والفسفور والحديد ضرورية لعملية التمثيل الضوئي، بحيث يؤدي نقصها إلى انخفاض سرعة التمثيل الضوئي. (7)

2-5-5 تقدير الإشعاع الشمسي على المحاصيل الزراعية:

هناك عدة طرق لمعرفة وتحديد كمية الشمس (الضوء) المثلى واللازمة كل نوع من المحاصيل الزراعية.

2-5-1 الاستشارة العلمية:

حيث يمكن الرجوع إلى الأبحاث العلمية والدراسات التي تناولت النبات المعني، وكذلك عن طريق الاستعانة بخبراء الزراعة أو علماء النبات لتحديد المتطلبات الضوئية للنبات. (9)

2-5-2 الملاحظة المباشرة:

مراقبة نمو النبات تحت ظروف إضاءة مختلفة عن طريق الملاحظة البصرية لعلامات النمو الجيد أو السيئ تحت مستويات إضاءة مختلفة. (9)

2-5-3 القياسات المعلمية:

استخدام قياسات كمية شدة الضوء باستخدام أجهزة قياس الإضاءة وإجراء تجارب على النبات تحت ظروف إضاءة محددة في البيئة المخبرية. (9)

2-5-4 الخبرات السابقة:

الاستفادة من خبرات زراعة النوع المعين من النباتات في الماضي ومراجعة توصيات وإرشادات زراعة هذا النوع من النباتات. (9)

- تقدير الإشعاع الشمسي اللازم لإنتاج المحاصيل الزراعية: تقدير الإشعاع الشمسي اللازم لتحسين انتاج المحاصيل يتطلب معرفة عدة عوامل متعلقة بالنباتات، والمناخ والبيئة الزراعية وفيما يلي نتعرف على الخطوات الأساسية والعوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار. (10)

1/ معرفة الاحتياجات الضوئية للمحاصيل:

أ- فترة الضوء اليومية: تختلف المحاصيل في احتياجاتها من فترة التعرض للضوء، حيث هناك محاصيل تحتاج إلى فترات طويلة من الضوء لتحقيق نمو مثالي فعلى سبيل المثال تحتاج الطماطم إلى حوالي 6-8 ساعات من الضوء المباشر يوميا.

ب- شدة الضوء: يجب معرفة شدة الضوء المثلى التي يحتاجها النبات والتي تقاس بوحدة الإشعاع الشمسي (W/m²) (10)

2/ قياس الإشعاع الشمسي:

أ- أجهزة القياس: يمكن استخدام إحدى أجهزة قياس الإشعاع الشمسي المذكور سابقا مثل: البيرومتر الذي بقي الكسبية الواصلة إلى سطح الأرض في مكان الزراعة.

ب- بيانات الأرصاد الجوية: الاستفادة من بيانات الأرصاد الجوية المتوفرة لقياس متوسط الإشعاع الشمسي الشهري والسنوي. (10)

3/ تحديد الكفاءة الضوئية للنبات:

أ- الكفاءة الضوئية: وهي قدرة النبات على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية (عملية التحويل الضوئي) تعتمد الكفاءة على نوع المحصول وظروف النمو.

ب- حساب الكفاءة: يمكن تقدير كمية الإشعاع اللازمة بناء على الكفاءة الضوئية للنبات، والتي تتراوح عادة بين 1% إلى 5% من الإشعاع الشمسي المتوفر. (10)

4/ العوامل البيئية الأخرى:

أ- الحرارة: درجة حرارة البيئة تؤثر على فعالية التمثيل الضوئي والنمو النباتي وبالتالي على كمية الإشعاع الممتص.

ب- الرطوبة والتربة: ظروف الرطوبة وخصوبة التربة تلعب دورا مهما في امتصاص النباتات للإشعاع وتحويله إلى طاقة. (10)

5/ التقييم والتخطيط:

أ- تحليل البيانات: تحليل البيانات المتوفرة لتحديد ما إذا كانت الكمية المتوفرة من الإشعاع الشمسي كافية للمحصول المحدد.

ب- التخطيط الزراعي: بناء على التقييم يمكن اتخاذ قرارات حول مواسم الزراعة، واختيار أنواع المحاصيل المناسبة للموقع. (10)

مثال تطبيقي:

*محصول الطماطم:

- الاحتياجات الضوئية: 6 – 8 ساعات من الضوء المباشر يوميا.

- شدة الضوء المطلوبة: يفضل أن تكون شدة الضوء من 400 إلى 700 W/m²

- الكفاءة الضوئية: إذا افترضنا أن الكفاءة الضوئية للطماطم 3% وكان المتوسط الضوئي للإشعاع

$$\frac{5}{0.03} = 0.15$$

الشمس اليومي في هذه المنطقة 5kw/m² فإن الكمية المفيدة للطماطم ستكون

- ضوء الشمس والإنتاج النباتي.(10)



الصورة رقم (2-3): أشعة الشمس تخترق مزارع النخيل في الجزائر

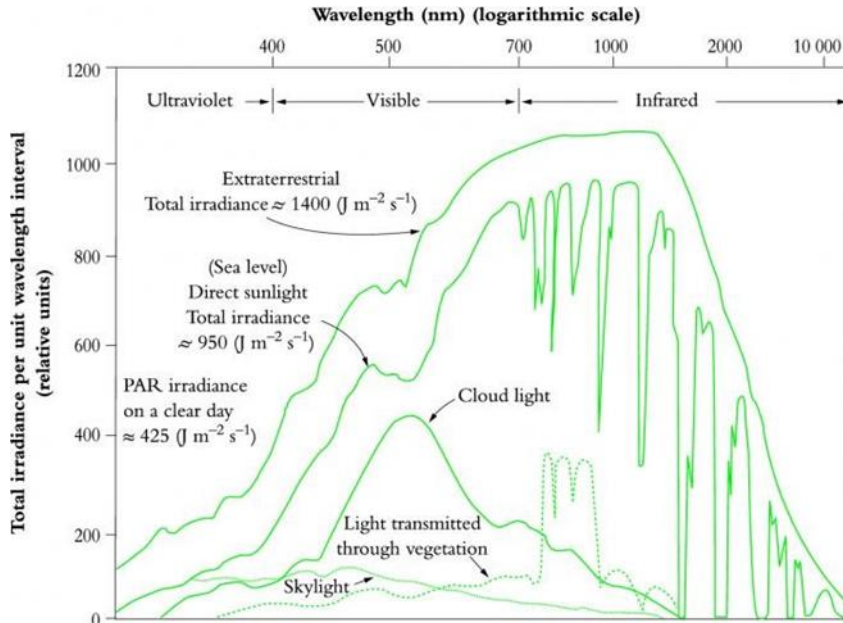
النباتات تتكيف مع مجموعة متنوعة من البيئات الضوئية، مثل الظلال الكثيفة في الغابات المطيرة والمناطق تحت الماء والصحاري وقمم الجبال. يمكنها الاستفادة من هذه البيئات المختلفة لأنها طورت طرقاً متعددة لاستغلال أشعة الشمس. كما أنها تُظهر مرونة كبيرة في التكيف مع تغييرات الضوء في نفس البيئة، مما يجعلها أكثر قدرة على العيش في بيئات متغيرة مقارنة بالنباتات التي تستجيب بشكل أقل تنوعاً للضوء.

ضوء الشمس يحافظ على النظم البيئية الأرضية وينظمها. الإشعاع النشط ضوئياً يدعم النظم البيئية بشكل كبير، بينما الأطوال الموجية الأخرى لها دور أقل وضوحاً. الأطوال الموجية الأكثر فعالية لعملية التمثيل الضوئي تتراوح بين 380 و720 نانومتر، والنطاق الأوسع يمتد من 350 إلى 800 نانومتر،

ويؤثر على جوانب أخرى من نمو النبات مثل إنبات البذور والانتحاء والتشكل والتصبيغ واستجابات الدورة الضوئية. (11)

تختلف تأثيرات الضوء على النباتات في كيفية تدفق الطاقة داخل مجتمعات النبات. في بعض الحالات، يتم تحويل الطاقة المشعة إلى طاقة كيميائية وتخزينها ككتلة حيوية. في حالات أخرى، تؤدي كميات صغيرة من الطاقة المشعة إلى تغييرات في التعبير الجيني والنمو.

ومع ذلك، يتم التوسط في كل فئة بواسطة أنظمة الصباغ التي تحول الطاقة الشمسية إلى أشكال كيميائية مرتبة للغاية: أنظمة التخليق الحيوي في عملية التمثيل الضوئي، وأنظمة التشغيل في التشكل الضوئي (التطور بواسطة الضوء الخفيف، حيث تستجيب أنماط نمو النبات للضوء الخفيف). (12)



الشكل رقم (1-2): يتغير ضوء الشمس الذي يمر عبر الغلاف الجوي للأرض من حيث الكمية والتكوين الطيفي.

يقلل الغلاف الجوي للأرض من الإشعاع الشمسي بطرق معينة. يمتص الكثير من طاقة الأشعة تحت الحمراء (بين 850 و1300 نانومتر) بواسطة ثاني أكسيد الكربون والأوزون وبخار الماء، بينما يقطع الأوزون معظم الأشعة فوق البنفسجية التي تقل عن 300 نانومتر. امتصاص بخار الماء للأشعة تحت الحمراء واضح جداً، وأيضاً امتصاص الأوزون للأشعة فوق البنفسجية مهم للكائنات على الأرض.

ضوء الشمس الذي يمر عبر السحب غني بالأطوال الموجية المرئية، مع ذروة عند حوالي 500 نانومتر. لهذا السبب، يعتبر الغلاف الجوي نافذة تسمح للأطوال الموجية المرئية بالوصول إلى سطح الأرض، وقد تطورت الحياة على الأرض لتستفيد من هذا الضوء المرئي.

ترشيح الأطوال الموجية على جانبي الطيف المرئي أمر مهم. الأشعة فوق البنفسجية تمتصها المكونات البيولوجية مثل البروتينات والحمض النووي وتسبب لها ضرراً. الأشعة تحت الحمراء أيضاً ضارة لأنها تمتصها مياه الأنسجة، مما يؤثر على الوظائف الخلوية. (13)

الطيف المرئي يقع بين هذين النطاقين، وجميع الكائنات الحية خُلقت للاستفادة منه. النباتات، على سبيل المثال، تمتص الضوء المرئي لعملية التمثيل الضوئي، ولكنها تسمح بمرور الأشعة تحت الحمراء التي قد تسخن الأوراق.

النباتات الوعائية مثل الأشجار قد تكيفت بشكل خاص مع هذا الطيف من الضوء، حيث تطورت مظلاتها وأوراقها وبلاستيدياتها الخضراء لتحسن استخدام أشعة الشمس. لديها آليات للتعامل مع الإشعاع الزائد لضمان بقائها ونموها. (14)

توفر كفاءة التمثيل الضوئي في الإضاءة المنخفضة ميزة للنباتات التي تعيش في الظل، لكنها تجعلها حساسة لأشعة الشمس المباشرة. لذا، طورت هذه النباتات ميزات لحمايتها من الضوء الزائد. تكيفها مع الشمس والظل، بالإضافة إلى ميزات النباتات المحبة للشمس، يظهر مرونة جهاز التمثيل الضوئي لديها. حتى زيادة الأشعة فوق البنفسجية UV-B، المرتبطة بالتغير المناخي و"ثقب الأوزون"، تدفع النباتات لتطوير استجابات حمائية من الضوء.

رغم المخاطر البيولوجية، يلعب الإشعاع الشمسي دوراً حيوياً في الحفاظ على التمثيل الضوئي العالمي، ويوجد ارتباط وثيق بين امتصاص الطاقة وإنتاج الكتلة الحيوية. هذه العلاقة واضحة بشكل خاص في البيئات المدارية مثل المحاصيل والغابات الزراعية والبستنة.

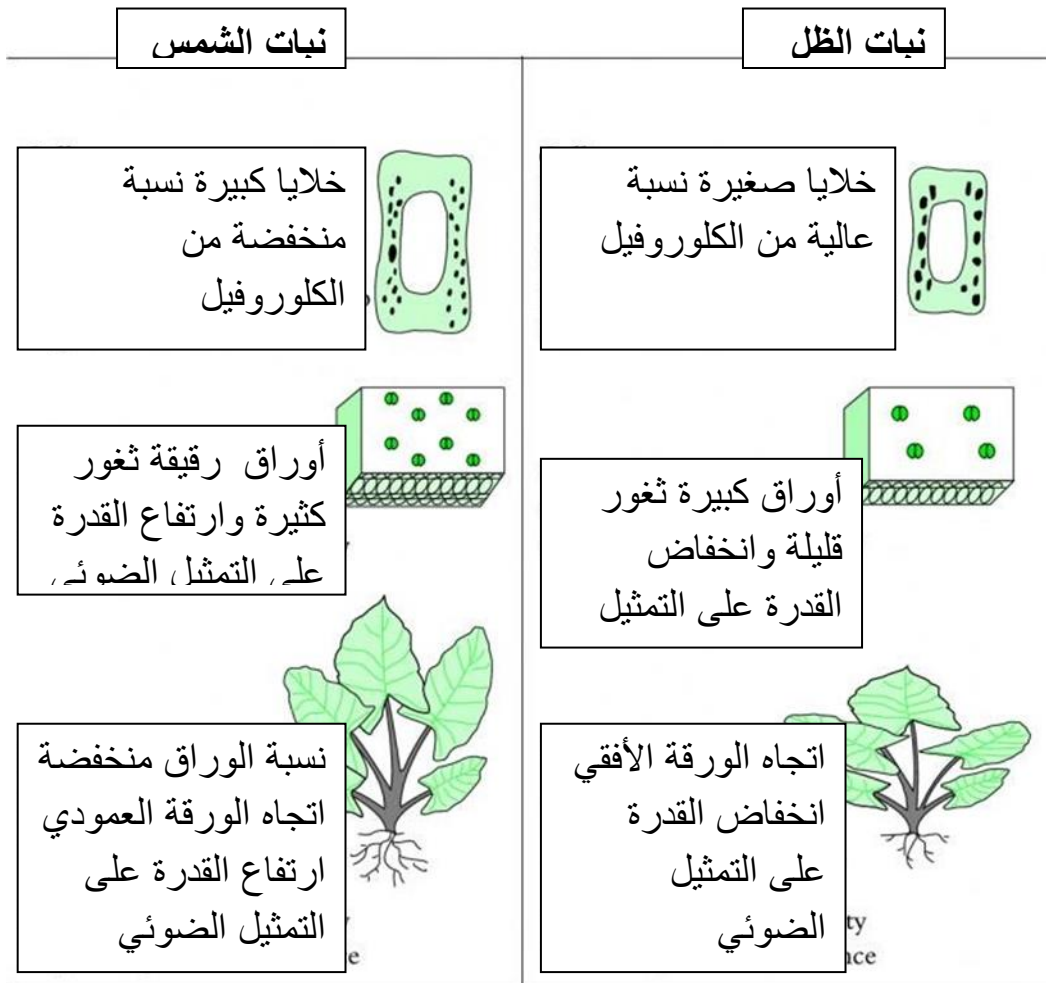
هيكل المظلة يعتبر عاملاً رئيسياً في اعتراض أشعة الشمس وبالتالي في إنتاج الكتلة الحيوية. تقليم المظلة في البستنة هو مثال على كيفية زيادة الإنتاجية من خلال تحسين اعتراض الضوء. في هذه الحالات، يصبح تنظيم ضوء الشمس لتطوير النبات أمراً مهماً، حيث تتشكل مظلات الأشجار والكروم لتحقيق أقصى قدر من اعتراض الضوء والإثمار. (15)

6-2 التمثيل الضوئي في الشمس والظل:

في الإضاءة المنخفضة، تحتاج النباتات إلى امتصاص أكبر قدر ممكن من الضوء لعملية البناء الضوئي من أجل البقاء. أما في الضوء العالي، فعليها الاستفادة من الطاقة الضوئية الزائدة بشكل فعال،

وأيضًا التعامل مع أشعة الشمس الزائدة التي تتجاوز قدرتها على التمثيل الضوئي. لهذا السبب، طورت النباتات ميزات متنوعة لتحسين اعتراض الضوء وامتصاصه ومعالجته وفقًا لبيئة الضوء التي تعيش فيها.

التكيف مع الشمس أو الظل يتطلب تعديلًا في السمات المتعلقة باعتراض ضوء الشمس واستخدامه. السمات المشتركة لنباتات الشمس والظل موضحة أدناه، وتوضح كيفية تكيف النباتات مع بيئات ضوئية مختلفة. كما تُعرض التطبيقات العملية لهذه التكيفات بأمثلة على تأقلم النباتات مع الشمس والظل واستخدام بقع الشمس في غابات المطر. (16)



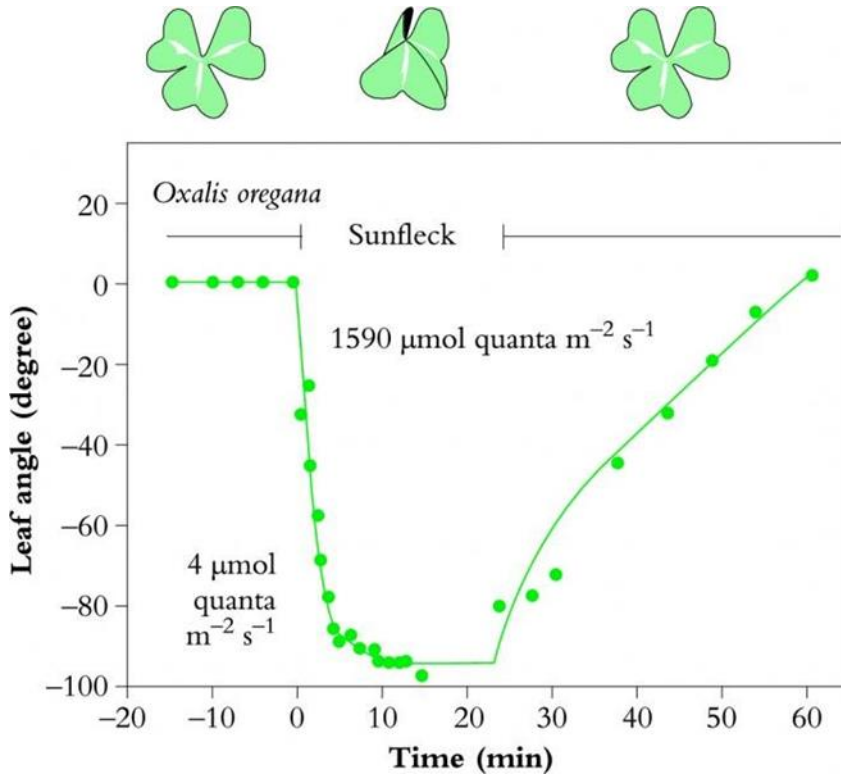
الشكل رقم (2-2): مقارنة بين تركيب التمثيل الضوئي ووظيفته في نباتات الشمس والظل. يتم وصف الخصائص الرئيسية للخلايا والأوراق والنباتات الكاملة.

تتضمن الخطوات الأولية لعملية التمثيل الضوئي اعتراض وامتصاص الفوتونات بواسطة أعضاء التمثيل الضوئي. وتشارك الخطوات اللاحقة في استخدام أو تبديد الطاقة الكهرومغناطيسية الممتصة. يختلف اعتراض الضوء وفقًا للحجم والزوايا والاتجاه وخصائص السطح الضوئية للعضو (الأعضاء) ويتأثر أيضًا بترتيب أنسجة التمثيل الضوئي داخل تلك الأعضاء (الشكل 2.2). (17)

7-2 اعتراض الضوء واستخدامه:

يمكن لنباتات الظل زيادة امتصاصها للضوء عن طريق إنتاج أوراق كبيرة. في الغابات المطيرة، تجد بعض من أكبر الأوراق في الطبقات السفلية من الغابة. حجم الورقة يمكن أن يتغير داخل النبات الواحد؛ حيث تنتج أوراق أصغر في الأعلى حيث يكون الضوء أقوى، وأوراق أكبر في الأسفل حيث يكون الضوء أقل.

طريقة أخرى لتحسين امتصاص الضوء هي تغيير زاوية الورقة أو اتجاهها. الأوراق الرأسية تزيد من امتصاص الضوء في الصباح الباكر وفي وقت متأخر من بعد الظهر، وتقله عند الظهيرة عندما يكون الضوء أقوى. الأوراق الأفقية تمتص الضوء طوال اليوم، وخاصة في منتصف النهار. لذلك، تميل الأوراق في الغابات المطيرة إلى أن تكون رأسية في الطبقات العليا وأفقية في الطبقات السفلية. الأوراق المتدللة في العديد من الأشجار الأسترالية، مثل الأوكالبتوس، تساعد على تجنب الإشعاع الزائد في منتصف النهار. (18)

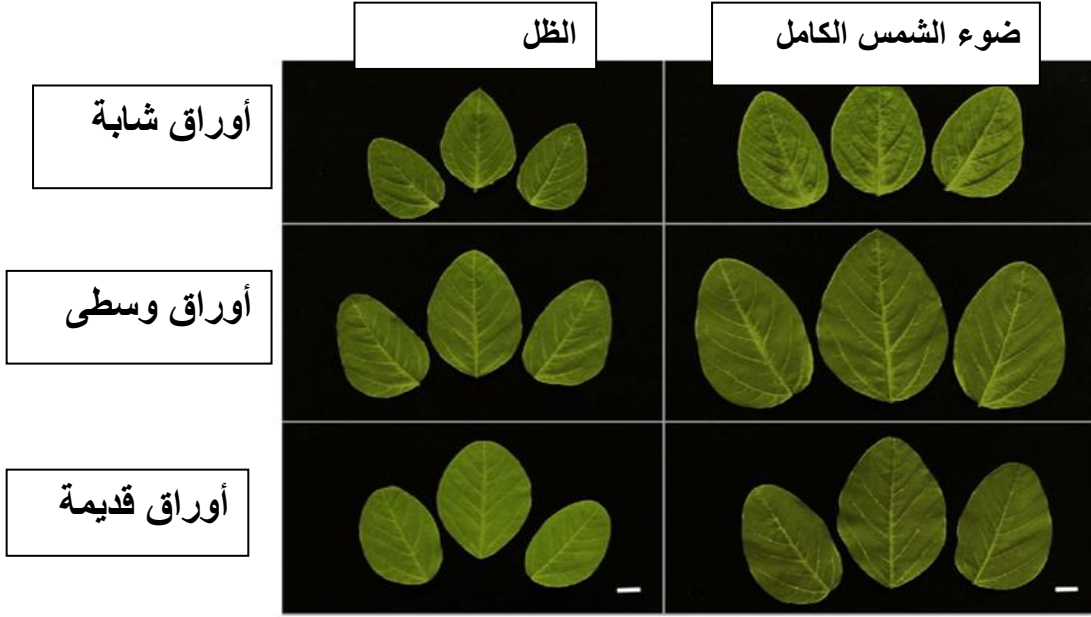


الشكل رقم (3-2): المسار الزمني للأوراق التي تتكشف في *Oxalis oregana*.

وهي عشبة سفلية من غابات الخشب الأحمر في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، استجابة لوصول ومغادرة بقعة الشمس الشديدة. لاحظ الاختلافات في الإشعاع قبل وأثناء بقعة الشمس. (O.)

(19) (S.B. Powles و Björkman)

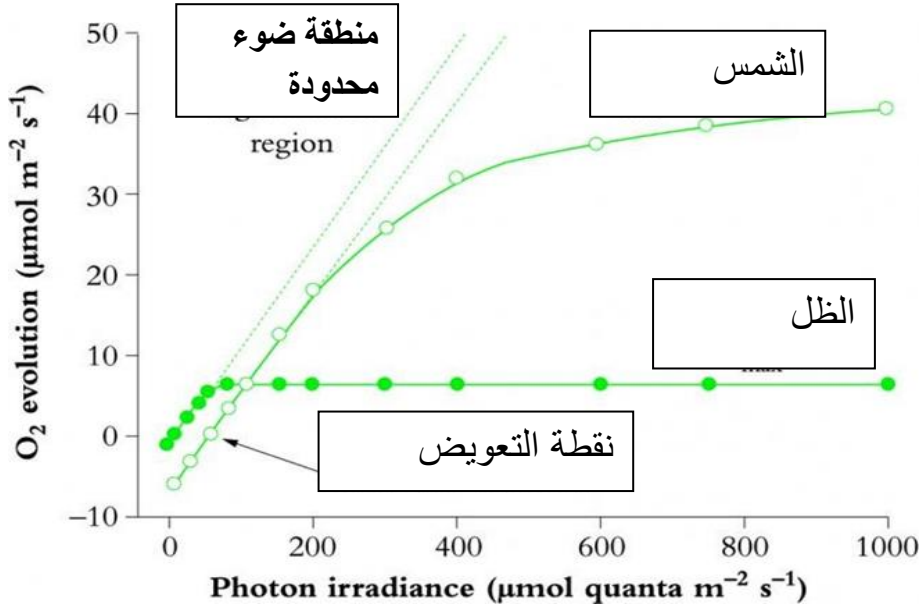
يمكن للعديد من النباتات تغيير زوايا أوراقها واتجاهها استجابة لتغير الضوء. بالنسبة للبعض، لزيادة الاعتراض بينما بالنسبة للآخرين، لتجنب الضوء العالي. (Watling et al. 1997b).



الشكل رقم (2-4): أوراق فول الصويا المزروعة تحت الظل وأشعة الشمس الكاملة بعد 30 يوماً من الزراعة.

يمكن للنباتات تقليل امتصاص الضوء بتغيير سطح أوراقها. العديد من النباتات في المناطق ذات الإضاءة العالية لديها أوراق تعكس الضوء بفضل طبقات من الشعر أو الشمع أو بلورات الملح. النباتات التي تنمو في الضوء العالي تنتج الكثير من الشمع الأبيض الذي يعكس 60% من الضوء، بينما النباتات في الإضاءة المنخفضة تنتج قليلاً من الشمع، مما يخفض انعكاس الضوء إلى 9%. يمكن أيضاً تنظيم امتصاص الضوء على مستوى الأنسجة والعضيات. يمكن توزيع أنسجة التمثيل الضوئي بالتساوي على جانبي الورقة لزيادة امتصاص الضوء من كلا الجانبين، أو تركيزها على جانب واحد في الأوراق الأفقية. (20)

تختلف معالجة الطاقة الشمسية بين نباتات الظل ونباتات الشمس. في الضوء العالي، تحتاج النباتات إلى قدرة أكبر في تفاعلات تثبيت الضوء وثاني أكسيد الكربون لعملية التمثيل الضوئي. منحنيات التمثيل الضوئي والاستجابة للضوء تظهر هذه الاختلافات. الكفاءة الفوتونية لعملية التمثيل الضوئي متساوية بين نباتات الشمس والظل، لأنها تتطلب نفس العدد من الفوتونات لتطور جزيء واحد من الأكسجين وتثبيت جزيء واحد من ثاني أكسيد الكربون في جميع النباتات. (21)



الشكل رقم (2-5): منحنى استجابة الضوء لعملية التمثيل الضوئي لنباتات الظل والشمس النموذجية.

يوضح العلاقات بين معدل التمثيل الضوئي والضوء الممتص (معبرا عنه بإشعاع الفوتون). الخطوط المتقطعة هي استقراء للمنحدرات الخطية الأولية حيث يكون التمثيل الضوئي محدودا بالضوء، وتمثل العائد الكمي (مولات O₂ تطورت لكل كمية مولية ممتصة). (البيانات الأصلية مقدمة من S.A. (Robinson

نباتات الشمس تمتلك قدرة أكبر على نقل الإلكترونات الضوئية وتخليق ATP لكل وحدة من الكلوروفيل مقارنة بنباتات الظل، مما يسمح لها بمعالجة المزيد من ضوء الشمس في ATP و NADPH لاستخدامها في استيعاب CO₂. هذا يرافقه استثمار أكبر في إنزيمات دورة تقليل الكربون الضوئي، مما يؤدي إلى ارتفاع نقطة تشبع الضوء ومعدل أقصى أعلى لعملية التمثيل الضوئي. أوراق الشمس أكثر سمكاً وتحتوي على المزيد من طبقات الخلايا وتملك موصلات أعلى للثغور لامتصاص CO₂ بسرعة. ومع ذلك، تتحمل أوراق الشمس تكاليف أعلى، مثل معدلات تنفس أعلى، وزيادة تكاليف بناء الأوراق وصيانتها، وزيادة النتج. في ظروف ندرة الماء، قد يتم تقليل التوصيل الثغري مما يضحى بعملية التمثيل الضوئي لصالح تقليل النتج. (22)

8-2 التثبيط الضوئي والحماية الضوئية:

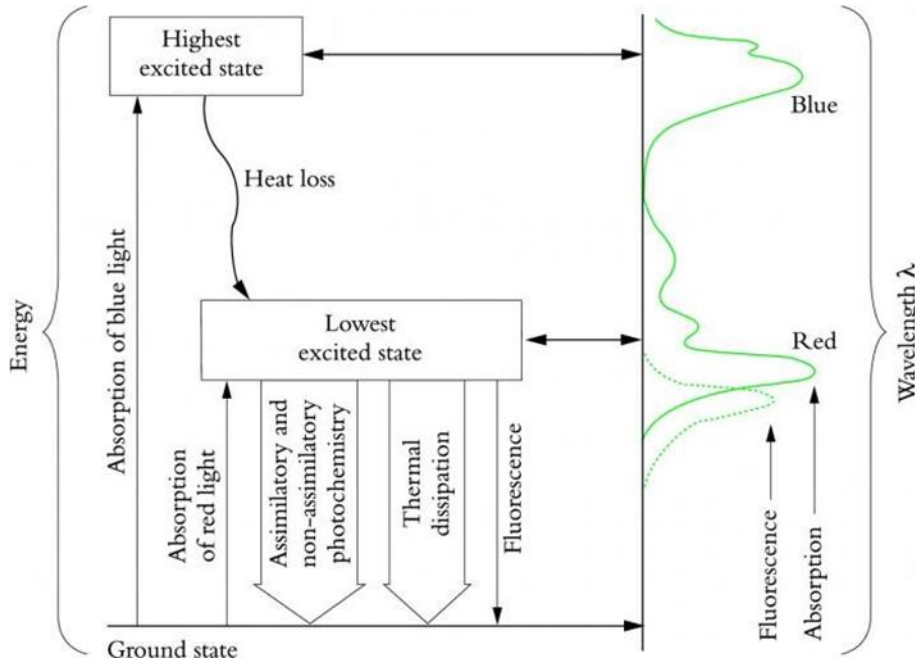
في منحنيات استجابة الضوء لعملية التمثيل الضوئي (الشكل 12.7 أعلاه)، تكون العملية محدودة بالضوء في الجزء الأول من المنحنى. عندما يصل الضوء إلى نقطة التشبع، لا تستطيع الورقة استخدام الزيادة الإضافية في الضوء لعملية التمثيل الضوئي. بمجرد الوصول إلى الحد الأقصى لمعدل التمثيل الضوئي (P_{max})، يصبح الضوء الإضافي غير مستخدم بشكل فعال. في الإضاءة المنخفضة، تستخدم

الواصلة لمراكز التفاعل الكيميائي في النظام الضوئي الثاني (PSII). نباتات الظل تمتص ضوءاً أكثر بسبب كمية أكبر من الكلوروفيل، لكنها تحتاج إلى ضوء أقل لتشبع عملية التمثيل الضوئي، مما يجعلها بحاجة إلى تبديد الضوء الزائد.

التعرض الطويل للضوء الزائد يؤدي إلى تفعيل آليات الحماية الضوئية، مما يقلل من إنتاج الفوتونات، لكن P_{max} يظل ثابتاً) منحنى (A) إذا استمر التعرض، ينخفض كل من إنتاج الفوتونات و P_{max} منحنى (B) الحماية الضوئية عادةً ما تكون كافية للتعامل مع الضوء الممتص، لكن التلف الضوئي يحدث عند استنفاد هذه القدرة، مما يؤدي إلى انخفاض في إنتاج الفوتونات و P_{max} ويتعافى ببطء.

التلف الضوئي الشديد يمكن أن يؤدي إلى ابيضاض الأصباغ، تلف الأغشية، وقد يسبب موت

الأنسجة



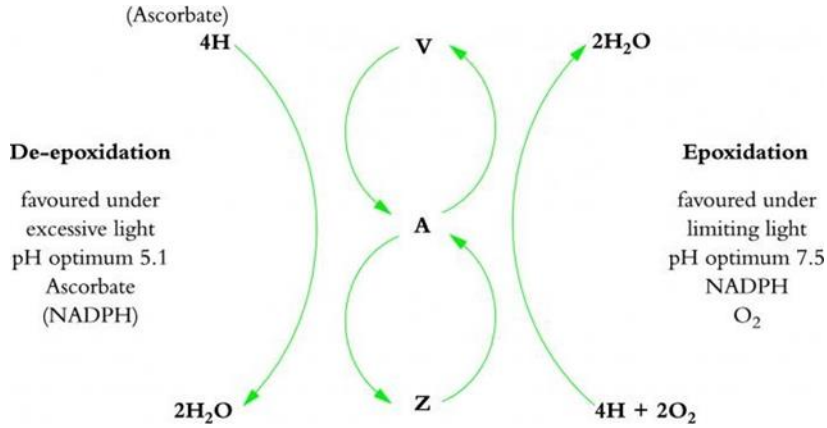
الشكل رقم (2-7): النطاقات الموجية المقابلة للحد الأقصى لامتصاص الأوراق

يؤدي امتصاص الضوء الأزرق أو الأحمر (النطاقات الموجية المقابلة للحد الأقصى لامتصاص الأوراق) إلى إثارة الكلوروفيل من حالته الأرضية. يشير سمك السهم أعلاه إلى الأهمية النسبية لكل عملية لاستخدام الطاقة. (24)

لنلق نظرة على كيفية استخدام الطاقة الضوئية التي يمتصها الورق. الضوء الأزرق، رغم قوته، يفقد سريعاً طاقته ويخفض الكلوروفيل إلى حالة أقل إثارة. هذه الطاقة يمكن استخدامها لعدة غايات، مثل التثبيت الكيميائي لثاني أكسيد الكربون (CO_2) أو الاستهلاك الغير كيميائي للطاقة في عمليات لا تثبت CO_2 ، مثل التنفس وتحويل النترات. هناك أيضاً تحويل الطاقة الضوئية إلى حرارة وإعادة انبعث

الفوتونات كمضان. هذه العمليات تستهلك الطاقة بشكل مختلف، مع العمليات الكيميائية الاستيعابية تحتل المرتبة الأولى بالأهمية، تليها العمليات غير الاستيعابية، ثم تحويل الطاقة إلى حرارة وإعادة انبعاث الفوتونات كمضان.

عندما يتجاوز الضوء المتلقى سعة استيعاب النبات، يستخدم المصنع آليات الحماية الضوئية لتبديد الطاقة الزائدة كحرارة. هذا التحويل الغير كيميائي للطاقة يحدث في الهوائيات PSII ويتضمن مجموعة من الأصباغ مثل زانثوفيل. هذه الأصباغ تستخدم لتبديد الطاقة في استجابة للضوء الزائد. عندما يكون الضوء زائداً، يحدث التحويل إلى أصباغ معينة مثل زياكسانثين التي توفر تبديداً حرارياً للطاقة الزائدة. في ظل الضوء الكافي، يحدث التحويل العكسي ببطء. نباتات الشمس تحتوي على مسابح أكبر من هذه الأصباغ بمقدار يصل إلى ثلاثة إلى أربعة أضعاف مقارنة بنباتات الظل.



الشكل رقم (2-8): دورة الزانثوفيل الملخصة هنا في تبديد الطاقة الضوئية الزائدة

تساهم دورة الزانثوفيل الملخصة هنا في تبديد الطاقة الضوئية الزائدة، وتتضمن ثلاثة أصباغ، فيولاكسانثين (V)، أنثراكسانثين (A) وزياكسانثين (Z). (الرسم الأصلي مجاملة S.A. روبنسون). (25)

قائمة المراجع:

- (1).sr .reddy .course no: a g r o 101 page_2 principles of .agronomy
- (2)جامعة الملك سعود ...s//faculty.ksu.edu.sa.
- (3)عيسى جروني .محاضرات فسيولوجيا البيئة والنبات . جامعة الأخوة منشوري قسنطينة 1_ المحاضرة الثانية ص 29.
- (4) [https //www.arablantsci.org](https://www.arablantsci.org)
- (5) روبرت م.دفلن .ترجمة د.عبد الحميد بن حميدة والدكتور محمد الجيلاني و الدكتور حازم الالوسي. كتاب فسيولوجية النبات =الطبعة الثالثة .
- (6).sinauer associates.(plant physiology fifth edition lincoln taiz.copyright(c) 2010.inc.
- (7) مشعل علي محمد .علم الأحياء العام المرحلة الأولى كلية علوم البيئة(1427- 2006)
- (8)د،عبد الحميد محمد حسانين كملية الزراعة جامعة الأزهر (1441.2020م) فسيولوجيا المحاصيل الطبعة الثالثة
- (9) john monteith and mike unsworth principles of environmental physices.fourth edition copyrigh (c)2008.2013 elsevier ltd.
- (10) كتاب الاحصاء السنوي لمنظمة الاغذية والزراعة للامم المتحدة FAO (2022/ 12/ 12)
- (11)Anderson MC (1970) Radiation, climate, crop architecture and photosynthesis. In I Setlik, ed, Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity. Pudoc, Wageningen, pp 71–78
- (12)Bornman JF, Teramura AH (1993) Effects of UV-B radiation on terrestrial plants. In AR Young, LO Björn, W. Nultsch, eds, Environmental UV Photobiology. Plenum Press, New York, pp 427–471
- (13)Byers RE, Carbaugh DH, Presley CN, Wolf TK (1991) The influence of low light on apple fruit abscission. J Hort 66:7-17
- (14)Caldwell MM, Robberecht R, Billings WD (1982) Differential photosynthetic inhibition by ultraviolet radiation in species from the artic-alpine life zone. Artic Alpine Res 14: 195-202

(15)Chazdon RL, Pearcy RW (1986) Photosynthetic response to light variation in rainforest species. I. Induction under constant and fluctuating light conditions. *Oecologia* 69: 517-523

(16)Chow WS (1994) Photoprotection and photoinhibitory damage. In J. Barber, ed, *Advances in Molecular and Cell Biology: Molecular Processes of Photosynthesis*, Vol. 10, JAI Press Inc.: Greenwich, Connecticut, pp 151–196

(17)Jackson JE (1980) Light interception and utilization by orchard systems. *Hort Rev* 2: 208– 267

(18)Greer DH (1996) Photosynthetic development in relation to leaf expansion in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) vines during growth in a controlled environment. *Aust J Plant Physiol* 23: 541 – 549

(19)Greer DH, Weedon MM (2012) Interactions between light and growing season temperatures on growth and development and gas exchange of Semillon (*Vitis vinifera* L.) vines grown in an irrigated vineyard. *Plant Physiol Biochem* 54: 59 – 69

(20)Hay RKM, Porter JR (2006) *The Physiology of Crop Yield*. 2nd Edition, Blackwell Publishing: Oxford, UK.

(21)Khurana, SC, McLaren JS (1982) The influence of leaf area, light interception and season on potato growth and yield. *Potato Research* 25, 329-342.

(22)Kiniry JR, Jones CA, O'Toole JC, Blanchet R, Cabelguenne M, Spanel DA (1989) Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for grain-crop species. *Field Crops Res* 20: 51–64

(23)Kriedemann PE, Torokfalvy E, Smart RE (1973) Natural occurrence and photosynthetic utilisation of sunflecks in grapevines. *Photosyn* 7: 18-27

(24)Lang ARC, Xiang YQ, Norman JM (1985). Crop structure and the penetration of direct sunlight. *Agric Forest Meteorol* 35: 83–101

(25)Long SP, Humphries S, Falkowski PG (1994) Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Annu Rev Plant Physiol* 45: 633-662

الفصل الثالث

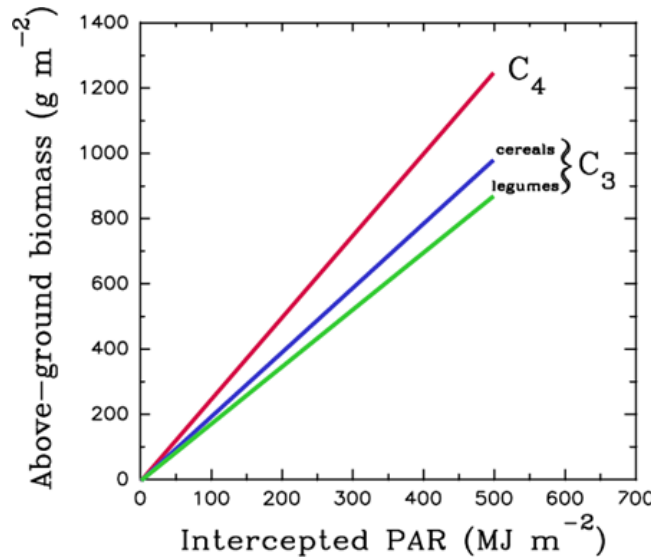
تأثير الأشعاع الشمسي على نمو
وانتاجية المحاصيل الزراعية

1-3 مقدمة:

سنقوم في هذا الفصل باستعراض أهم النتائج التي تم التوصل إليها في العديد من الأبحاث والتي تبرز تأثير الإشعاع الشمسي في نمو المحاصيل الزراعية وجودتها وكذا إنتاجيتها.

2-3 البناء الضوئي

اعتمادا على كيفية تثبيت ثاني أكسيد الكربون، يمكن تجميع النباتات في ثلاثة أنواع C3 : و C4 و CAM. نباتات C3 هي النباتات المتفوقة المعتادة، وهي محاصيل الطقس المعتدل (القمح والشعير وعباد الشمس، إلخ)؛ الفئة C4 هي أنواع من الطقس الجاف أو الطقس الحار أو الاستوائي (الذرة أو السكر أو الذرة الرفيعة). يعتبر النوع C3 بشكل عام أقل إنتاجية من C4 الشكل 3.1.



الشكل رقم (1-3): العلاقات النظرية النموذجية بين الكتلة الحيوية المتراكمة فوق الأرض والإشعاع الشمسي المعترض المتراكم لأنواع C4 و C3[1].

يكن أحد الاختلافات في حقيقة أن التنفس الضوئي نشط للغاية في نباتات C3. يجعل التنفس الضوئي النباتات تزيد من استهلاك الأكسجين عندما تضيئها الشمس، وهذا مهم جدا للزراعة في المناطق المعتدلة. في يوم حار بدون رياح، ينخفض تركيز CO₂ في النبات بشكل كبير لاستهلاك التمثيل الضوئي، وبالتالي تقل العلاقة بين الكربون والأكسجين، ويزيد تثبيت CO₂ من التنفس الضوئي.

3-3 اعتراض الإشعاع

في اعتراض الضوء (LI) بواسطة مظلة، يعد الفرق بين الإشعاع الساقط الشمسي والإشعاع المنعكس من سطح التربة [2]، عاملا حاسما في تنمية المحاصيل ويوفر الطاقة اللازمة للعمليات الفسيولوجية الأساسية مثل التمثيل الضوئي والنتج.

النباتات تعترض أشعة الشمس المباشرة والمنتشرة. تتلقى الأوراق العلوية كلا النوعين من الإشعاع، بينما تعترض الأوراق السفلية جزءا صغيرا من الإشعاع المباشر. لذلك، يصبح الإشعاع المنتشر أكثر أهمية

في الأوراق السفلية بسبب الإشعاع الذي ينتقل وينعكس من الأوراق و سطح التربة. الإشعاع الشمسي الذي تنتقل عن طريق الأوراق هو في الغالب الأشعة تحت الحمراء. من الناحية العملية، ينقسم طيف الإشعاع الشمسي إلى مناطق، لكل منها خصائصه المميزة. يجب اختيار الإجراءات وأجهزة الاستشعار المناسبة وفقا للأهداف المحددة لقياسات الإشعاع. الإشعاع المرئي، بين الأطوال الموجية 400 و700 نانومتر، هو النوع الأكثر أهمية من وجهة نظر فيزيولوجية بيئية، لأنه يتعلق بالإشعاع النشط ضوئيا (PAR) يتم استخدام 50٪ فقط من الإشعاع الساقط من قبل المصنع لأداء عملية التمثيل الضوئي [3]. تتأثر كمية الإشعاع التي يعترضها الغطاء النباتي بسلسلة من العوامل مثل زاوية الورقة، وخصائص سطح الورقة التي تؤثر على انعكاس الضوء، وسمك وتركيز الكلوروفيل، والتي تؤثر على انتقال الضوء، وحجم وشكل وترتيب الأوراق والتقسيم الطبقي الرأسى، وارتفاع الشمس وتوزيع الإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر.

من إجمالي الطاقة بنسبة 100٪ التي تتلقاها الورقة يتم تحويل 5٪ فقط إلى كربوهيدرات لإنتاج الكتلة الحيوية لاحقاً. خسائر الطاقة هي:

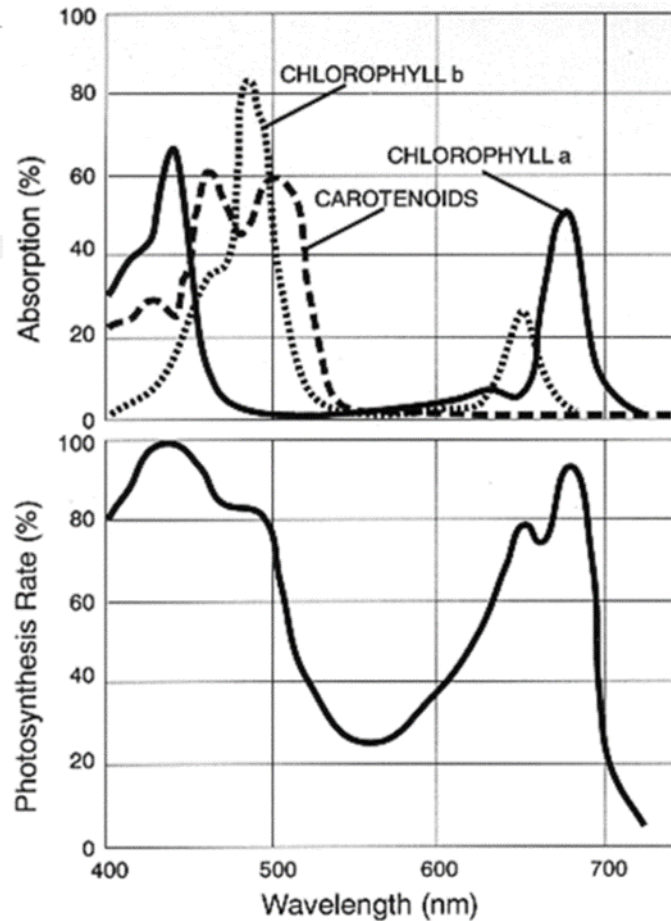
- بواسطة الأطوال الموجية غير الممتصة: 60٪.
- الانعكاس والانتقال: 8٪.
- تبديد الحرارة: 8٪.
- التمثيل الغذائي: 19٪.

من بين الإشعاع العالمي الساقط على مظلة النبات، يتم استخدام نسبة فقط لإجراء عملية التمثيل الضوئي (PAR الإشعاع النشط الضوئي). تختلف استجابة النبات باختلاف الأطوال الموجية. الكلوروفيل هو الصباغ الرئيسي الذي يمتص الضوء، والأصبغ الملحقة الأخرى هي ب كاروتين، مركب الأيزوبرينويد الأحمر الذي هو مقدمة لفيتامين أ في الزانثوفيل وهو كاروتينويد أصفر.

في الأساس، يكون الضوء المرئي بأكمله قادراً على تعزيز التمثيل الضوئي، لكن المناطق من 400 إلى 500 و600 إلى 700 نانومتر هي الأكثر فعالية (الشكل 2.3). بالإضافة إلى ذلك، يحتوي الكلوروفيل النقي على امتصاص ضعيف للغاية، بين 500 و600 نانومتر. تكمل أصباغ الملحقات امتصاص الضوء في هذه المنطقة، مكملة للكلوروفيل.

1. 620-700 نانومتر (أحمر): نطاقات امتصاص أكبر للكلوروفيل.
2. 510-620 نانومتر (برتقالي، أصفر - أخضر) ؛ انخفاض نشاط التمثيل الضوئي.
3. 380-510 نانومتر (أرجواني وأزرق وأخضر): هو الأكثر نشاطاً. امتصاص قوي بواسطة الكلوروفيل.

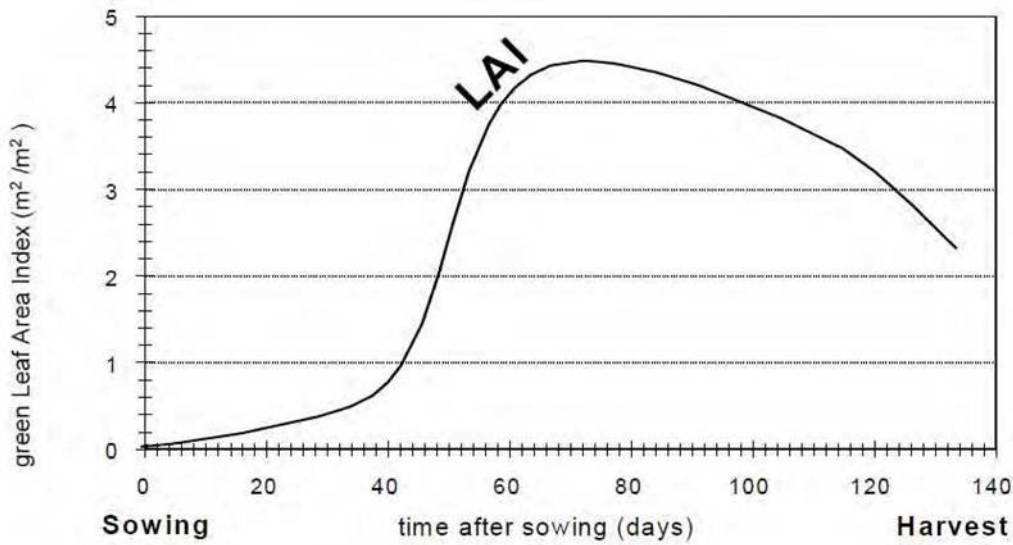
4. > 380 نانومتر (الأشعة فوق البنفسجية). آثار مبيدات الجراثيم، حتى قاتلة > 260 نانومتر.



الشكل رقم (2-3): طيف عمل PAR النموذجي، موضح بجانب أطوال الامتصاص للكلوروفيل A والكلوروفيل B [4].

4-3 مؤشر مساحة الورقة

من أجل الاستخدام الفعال للإشعاع الشمسي عن طريق المحاصيل، يجب امتصاص الجزء الأكبر من الإشعاع بواسطة أنسجة التمثيل الضوئي. الورقة هي الوحدة الوظيفية الرئيسية لعملية التمثيل الضوئي، وبالتالي فإن كفاءتها في التقاط واستخدام الطاقة الشمسية تحدد إنتاجية الخضروات. تحدد مساحة وترتيب أوراق الشجر (بنية المظلة) اعتراض الإشعاع الشمسي (LI) بواسطة محصول وتوزيع الإشعاع بين الأوراق الفردية [5]، تتغير مساحة الورقة وترتيبها خلال حياة المحصول، وحركة الأوراق، حتى خلال يوم واحد. يتطلب الحد الأقصى لإنتاج المحاصيل التقاط كامل للإشعاع الشمسي الساقط ولا يمكن تحقيقه إلا بمستويات داعمة من الماء والمغذيات.



الشكل رقم (3-3): عرض نموذجي للتباين في مؤشر مساحة الأوراق النشط (الأخضر) خلال موسم النمو لمحصول الذرة.

[6]

مؤشر مساحة الأوراق (LAI) هو طريقة لتقدير قدرة النبات على امتصاص الضوء. يعتبر LAI مهماً في الدراسات البيئية والنماذج العلمية. يُعرف LAI بأنه كمية مساحة الأوراق (بالمتر المربع) في مظلة النبات لكل وحدة مساحة أرض (بالمتر المربع) وفقاً لتعريف واتسون في عام 1947. يمكن قياس وتحليل LAI عبر مقاييس مختلفة، بدءاً من أوراق شجرة واحدة إلى مناطق بأكملها. لهذا السبب، يُعد LAI مهماً في أبحاث تغير المناخ العالمي. يُستخدم LAI لقياس التفاعلات بين الأوراق والمظلة مع بخار الماء وثنائي أكسيد الكربون، وأيضاً لتقدير هذه التفاعلات على مستوى العالم بين الأرض والغلاف الجوي. بما أن الضوء الشمسي يغطي الأرض كلها، فإن LAI هو مقياس جيد لمساحة الأوراق بالنسبة للضوء الشمسي المتاح.

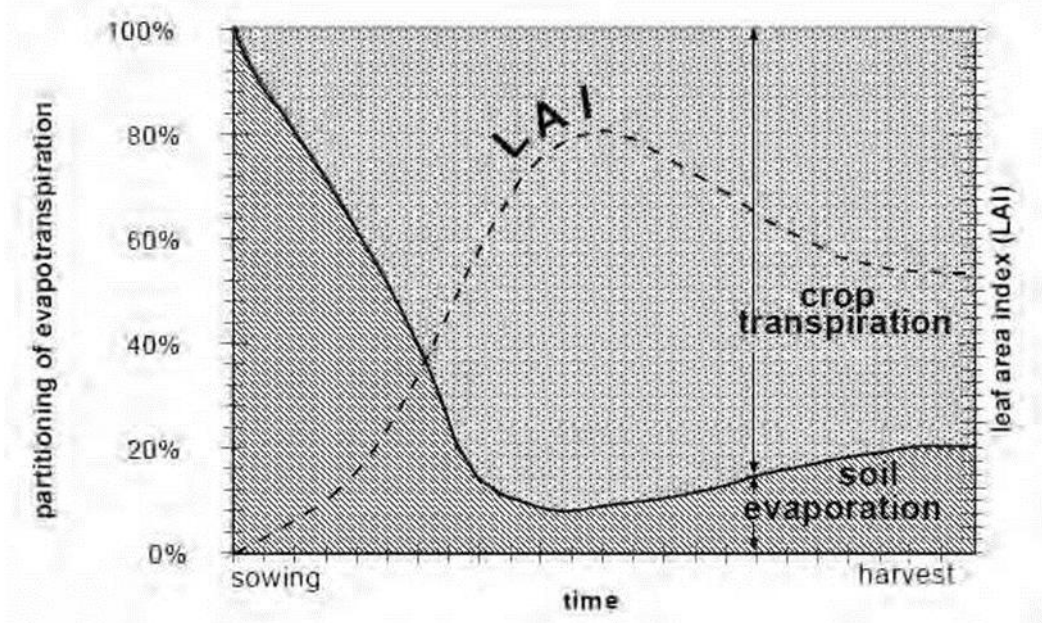
3-5 تأثير الإشعاع المعترض ومؤشر مساحة الأوراق على النمو وإنتاج المحاصيل

تعتمد إنتاجية المحصول على قدرة الغطاء النباتي على اعتراض الإشعاع الساقط، وهي دالة على مساحة الأوراق المتاحة، وبنية الغطاء النباتي وكفاءة تحويل الطاقة التي يلتقطها النبات إلى كتلة حيوية. يتم توجيه معظم استراتيجيات الإنتاج نحو تعظيم اعتراض الإشعاع الشمسي. في حالة المحاصيل، يعني هذا تكييف الممارسات الزراعية بطريقة تحصل على غطاء مظلة كامل في أسرع وقت ممكن. قد يؤدي نقص مدخلات المياه والمغذيات إلى تقليل معدل نمو الأوراق، مما يقلل من الغلة إلى ما دون المستويات المثلى بسبب عدم كفاية النقاط الطاقة.

تعتمد كفاءة اعتراض PAR على مساحة الأوراق وشكلها وميلها في المظلة [7]. لوحظ أن الفرق بين PAR المعترض والممتص في دورة محصول الذرة كان أقل من 3.5%، حيث تمتص أوراق الذرة 92% من الإشعاع المعترض. كفاءة اعتراض المظلة تؤثر على عملية التمثيل الضوئي والنتح. المحاصيل الفعالة توسع

مساحة أوراقها مبكرًا لاستغلال الإشعاع الشمسي بأفضل طريقة. تشمل الممارسات الزراعية التمهيد الإخصابي، كثافات التخزين العالية، والترتيب المكاني الأفضل للنباتات.

الإشعاع الشمسي مهم في عمليتي التبخر والنتح. التبخر يحدث من سطح التربة، والنتح من أعضاء النبات، وخاصة الأوراق. غالبًا ما يتم اعتبارهما معًا كالتبخر والنتح، وهو أساسي في تخطيط استراتيجيات الري. يعتمد تبخر التربة المزروعة على كمية الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطحها، الذي يقل خلال موسم النمو مع نمو غطاء مظلة المحاصيل (الشكل 4.3). يمكن تقسيم تطور المحصول إلى أربع مراحل [6].



الشكل رقم (4-3): تقسيم التبخر والنتح إلى تبخر ونتح خلال فترة النمو لمحصول حقل سنوي [6].

3-5-1 المرحلة الأولية:

• النمو المبكر للنباتات:

- يتميز بنمو سريع للنباتات مع قلة المنافسة بينها.
- مع تطور مؤشر مساحة الأوراق (LAI)، يبدأ الظل بتغطية الأوراق السفلية.
- تعتمد أوصاف نمو المحاصيل على مساحة الأوراق مقارنة بسطح التربة.
- فقدان المياه في هذه المرحلة يحدث بشكل رئيسي بسبب التبخر المباشر من التربة.

3-5-2 مرحلة تطور المحاصيل:

• نمو مؤشر مساحة الأوراق (LAI):

- يزداد بشكل كبير خلال هذه المرحلة.
- التبخر يكون المكون الرئيسي في البداية، لكنه يتغير ليصبح النتح المكون الرئيسي بنهاية المرحلة.
- مع زيادة مساحة الأوراق، يزداد الإشعاع الشمسي الذي تعترضه.

○ عند الإزهار، ينتهي نمو مساحة الأوراق، وتهدف الممارسات الزراعية لزيادة التمثيل الضوئي بأقصى قدر ممكن واعتراض أكبر كمية من الإشعاع الشمسي.

3-5-3 مرحلة منتصف الموسم:

• فترة النضج والحصاد:

○ تمتد من بداية النضج إلى الحصاد أو الشيخوخة الكاملة.

○ خلال الفترة الخضرية، لا يزداد اعتراض الإشعاع.

سطح الورقة هو الجزء الرئيسي في عملية التمثيل الضوئي للنبات، لذا يتم أحياناً قياس نمو النبات عبر مساحة الأوراق. يتم حساب معدل تراكم المادة الجافة لكل وحدة مساحة ورقة في اليوم، ويسمى هذا "معدل الاستيعاب الصافي (NAR)" ويعبر عنه بجرام لكل متر مربع يومياً. يعكس NAR كفاءة التمثيل الضوئي للأوراق في المجموعة النباتية. يكون NAR مرتفعاً عندما تكون النباتات صغيرة ومعظم الأوراق تتعرض لأشعة الشمس المباشرة. مع نمو النبات وزيادة مساحة الأوراق، تتظلل الأوراق السفلية، مما يقلل من NAR. في النباتات ذات الكثافة العالية للأوراق (LAI)، تأخذ الأوراق العلوية نسبة أكبر من الإشعاع وتمتص كميات كبيرة من CO₂، بينما الأوراق السفلية المظللة تستوعب كميات أقل.

تحت الظروف البيئية المثالية، تكون كمية المادة الجافة التي ينتجها المحصول مرتبطة مباشرة بكمية الإشعاع الشمسي المعترض، وخاصة الإشعاع النشط صناعياً (PAR). يُستخدم ميل الانحدار بين الكتلة الحيوية والإشعاع التراكمي لتحديد كفاءة استخدام الإشعاع (RUE)، التي تُحسب كنسبة العائد البيولوجي (كجم/هكتار) إلى PAR المعترض (MJ) بواسطة النباتات [8]. وجد أن اعتراض الضوء الموسمي للمحاصيل المزروعة بإمدادات كافية من مياه التربة يرتبط بإنتاج الكتلة الحيوية، ووضع الأسس النظرية للعلاقة بين المادة الجافة والإشعاع الشمسي.

تتأثر RUE بأداء التمثيل الضوئي وتختلف باختلاف العوامل مثل درجة الحرارة والماء والمغذيات. وُجدت فروق في RUE بين أنواع المحاصيل المختلفة والمواقع البيئية. سجلت الأدبيات [9] قيمًا متعددة لـ RUE لمختلف المحاصيل والمواقع. [1] [10] [11] كما أظهر Stockle and Kemanian (2009) [12] قيم RUE تتراوح بين 1.2-1.7 g/MJ للنباتات السنوية C₃، و 1.7-2.0 g/MJ للنباتات السنوية C₄، و 1.3-1.6 g/MJ للمحاصيل الزيتية C₃، و 1.0-1.2 g/MJ للبقوليات، و 1.6-1.9 g/MJ للدرنيات والجذور.

يُستخدم نهج RUE لتقدير تراكم الكتلة الحيوية في المحاصيل البستانية، أشجار الفاكهة، والغابات [16] [13] [14] [15].

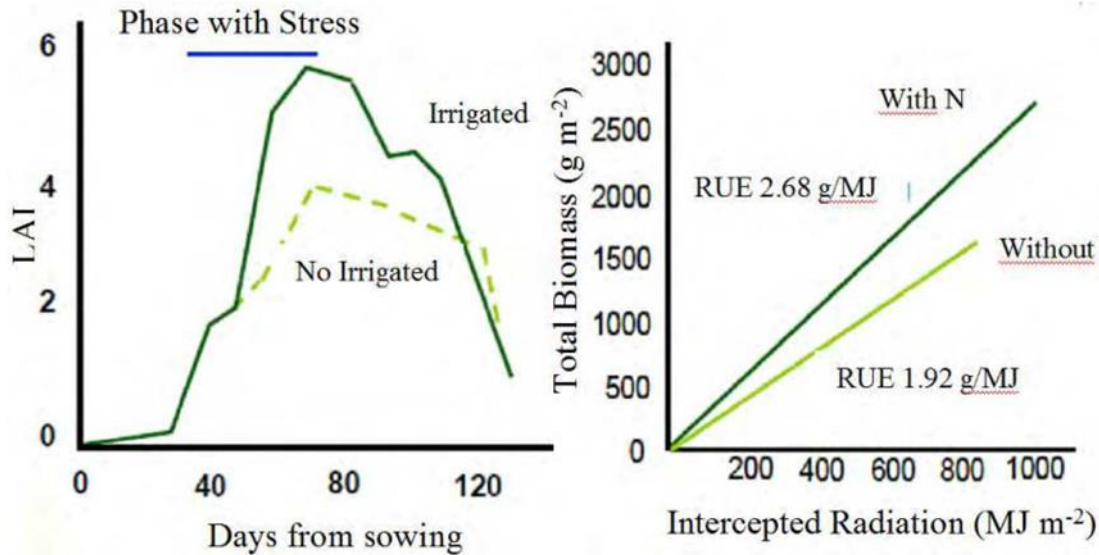
كفاءة اعتراض الإشعاع الشمسي تتأثر بمستويات المغذيات في النباتات، وخصوصاً النيتروجين. لزيادة كفاءة استخدام الإشعاع (RUE) في المحاصيل، من الضروري تحقيق أعلى معدلات التمثيل الضوئي

للأوراق. حوالي 70% من البروتينات القابلة للذوبان في الأوراق تتركز في إنزيمات الكربوكسيل مثل إنزيم روبيسكو. هناك علاقة إيجابية بين محتوى النيتروجين في الأوراق ومعدلات التمثيل الضوئي في عدة محاصيل مثل القمح والذرة والأرز وفول الصويا.

ينخفض معدل امتصاص ثاني أكسيد الكربون، وهو مؤشر رئيسي لكفاءة التمثيل الضوئي، عند نقص النيتروجين. ويزداد تأثير التثبيط الضوئي أيضًا في هذه الحالة. لذلك، يجب أن تكون مستويات النيتروجين في المحاصيل جيدة لتحقيق أقصى كفاءة لاستخدام الإشعاع. العديد من الدراسات أشارت إلى استجابة إيجابية لكفاءة استخدام الإشعاع عند إضافة النيتروجين في عدد من المحاصيل. نقص النيتروجين يقلل من فعالية استجابة المحاصيل للإشعاع الشمسي وبالتالي يقلل من كفاءة استخدام الإشعاع.

تؤدي قلة النيتروجين إلى انخفاض كبير في كفاءة استخدام الإشعاع في محاصيل مثل الذرة والقمح وعباد الشمس والفول السوداني. على سبيل المثال، أظهرت الدراسات أن كفاءة استخدام الإشعاع في الذرة تنخفض بنسبة 40% عند نقص النيتروجين.

يؤثر نقص المياه أيضًا على قدرة النباتات على اعتراض الإشعاع الشمسي بسبب التفاف الأوراق. ومع استمرار نقص المياه، يقل عدد الأوراق وحجمها مما يقلل من قدرة النباتات على اعتراض الإشعاع. تلعب مياه التربة وحالة مياه النبات دورًا كبيرًا في تحديد كفاءة التمثيل الضوئي، حيث يؤدي نقص المياه إلى إغلاق الثغور وتقليل التمثيل الضوئي، مما يقلل من كفاءة استخدام الإشعاع. لتقليل تأثير نقص المياه، طورت النباتات آليات تكيفية لتحسين إنتاجيتها في هذه الظروف.



الشكل رقم (3-5): تأثير الإجهاد المائي والتغذية في تجربتين على الذرة [17][18].

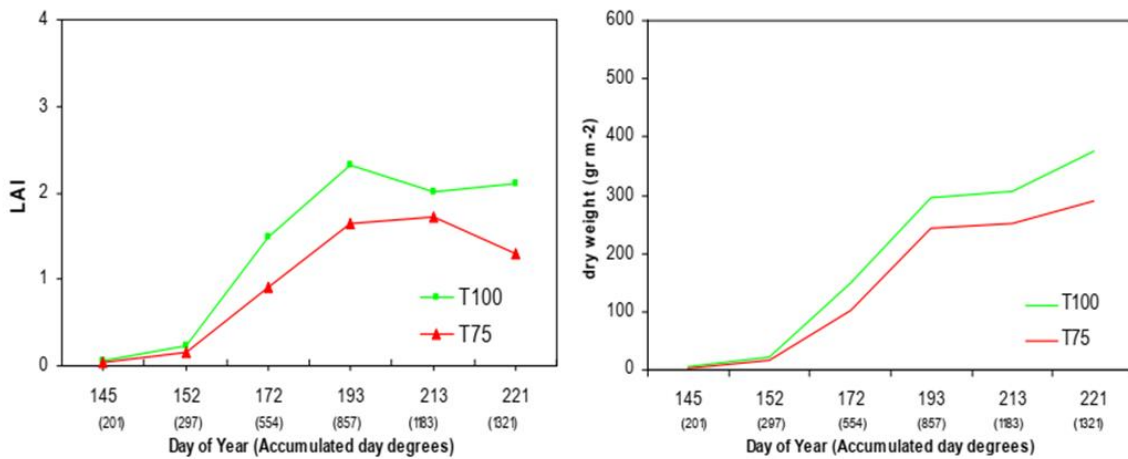
لوحظ أن إجهاد الجفاف يمكن أن يؤدي إلى انخفاض يصل إلى 70% في كفاءة استخدام الإشعاع (RUE) في العديد من البقوليات الحبوب. وعلى الرغم من أن المحاصيل من نوع C4 تكون عادة أكثر كفاءة في التمثيل الضوئي من تلك من نوع C3، إلا أن هذه الميزة تتلاشى مع زيادة الإجهاد المائي. على سبيل

المثال، عند تعرض نبات الحمم لإجهاد الجفاف من الإزهار حتى النضج، انخفضت كفاءة RUE بنسبة 25٪.

يمكن أن يتسبب الإجهاد المائي المعتدل في إبطاء أو حتى إيقاف نمو العديد من المحاصيل الحقلية، حيث يؤدي هذا الإجهاد إلى إغلاق الثغور، مما يقلل من التمثيل الضوئي. لوحظ هذا التأثير في محاصيل مثل الأرز والقمح والذرة الرفيعة والدخن اللؤلؤي، حيث يقلل إجهاد الجفاف من كفاءة RUE. تساهم مجموعة من الآليات، مثل حركات الأوراق التي تقلل من الحمل الإشعاعي والتكيف التناضحي وسمات الجذر التي تحافظ على إمدادات المياه، في الحفاظ على مستويات عالية من RUE أثناء الإجهاد المائي. في دراسة أجراها [17] Otegui، قارن بين محصولين من الذرة تحت الري وعدم الري، ووجد أن مؤشر المساحة الورقية (LAI) انخفض في الزراعة بدون ري.

أظهرت تجربة على محصول الطماطم المروي بجرعتين مختلفتين من المياه أن تقليل الري بنسبة 75٪ من متطلبات المحصول أدى إلى انخفاض تراكم الكتلة الحيوية و LAI طوال دورة المحصول، مما أثر على الإنتاج النهائي. وأبلغت دراسات أخرى عن تخفيضات في كفاءة RUE نتيجة لنقص المياه في البقوليات الحبوب.

أشار [19] إلى أن إنتاج المادة الجافة في البقوليات يرتبط ارتباطاً وثيقاً بكمية الإشعاع النشط صناعياً (PAR) المعترض، والذي بدوره يرتبط ارتباطاً وثيقاً ب LAI وأظهرت دراسة أجراها Li et al. [20] أن نمط زراعة الأخاديد مع الري بالعجز يمكن أن يزيد من كفاءة RUE وإنتاجية الحبوب في فصل الشتاء. كما أظهرت دراسات أن غلة المحاصيل كانت مرتبطة بشكل إيجابي بكفاءة RUE في القمح الشتوي.



الشكل رقم (3-6): تأثير الإجهاد المائي في تجهيز محصول الطماطم المروي بجرعتين. وفقاً لمتطلبات المحاصيل (T100) ومعالجة العجز 75٪ من احتياجات المحاصيل (T75)

6-3 الإشعاع المعترض وطرق قياس مؤشر مساحة الورقة

3-6-1 قياس الإشعاع المعترض

إن التحديد الكمي للإشعاع المعترض (LI) هو اعتبار هام عند دراسة العوامل الزراعية أو البيئية

المختلفة على الغلة؛ إنه المصدر الرئيسي للبيانات في أكثر الطرق استخداماً لتقدير احتياجات المحاصيل من المياه.

طرق قياس LI ليست بالضرورة مدمرة، لأن توفير النباتات على الأرض يلعب دوراً رئيسياً. ومع ذلك، هناك اختلافات بين الطرق المختلفة من حيث التغييرات التي أدخلت على الأغطية لإجراء القياسات والطرق المباشرة والطرق غير المباشرة.

3-6-2 قياس LI بالطرق المباشرة

تتمثل إحدى الطرق المباشرة لتحديد النسبة المئوية للإشعاع المعترض (LI) في قياس PAR فوق وتحت المظلة عند الظهر في الأيام الخالية تماماً من الغيوم [21][22][23]:

تُعتبر إحدى الطرق المباشرة لتحديد نسبة الإشعاع المعترض (LI) هي قياس الإشعاع النشط (PAR) فوق وتحت المظلة في الظهر خلال الأيام المشمسة تماماً. تُستخدم معادلة حسابية بسيطة لهذا الغرض:

$$LI = 1 - (\text{PAR below canopy}) / (\text{PAR above canopy})$$

تُستعمل مستشعرات PAR الخطية المتاحة تجارياً لأخذ هذه القياسات، ويمكن وضع المستشعرات عمودياً على صفوف المحاصيل أو موازياً لها. لكن هذه الطريقة قد تكون مكلفة إذا تطلب الأمر عدة قياسات خاصة في حالة المحاصيل القصيرة التي تحتاج إزالة الغطاء النباتي للوصول إلى المنطقة تحت المظلة، مما يضيف تعقيدات أثناء جمع البيانات.

طريقة أخرى أكثر بساطة واقتصادية هي استخدام نسبة التغطية الأرضية (PGC) لتقدير LI تعتمد هذه الطريقة على افتراض أن المنطقة المظلمة على مستوى التربة تعكس نسبة الإشعاع المعترض من قبل المحصول. هذه الطريقة تكون دقيقة طالما أن انتقال الضوء عبر الأوراق قليل مقارنة بامتصاصه.

لتحقيق دقة أفضل، يمكن أخذ قياسات تكميلية للإشعاع عند نقاط متعددة داخل المنطقة المظلمة. بعض الطرق المستخدمة لتحديد PGC تشمل التقديرات البصرية وتحليل تقاطع الظلال على الشرائط المترية والرسومات الورقية. تعتمد التقديرات البصرية على مهارة المشغل وقد تكون غير موثوقة إذا كان هناك عدة أشخاص مشاركين في القياس. كما تميل هذه التقديرات إلى المبالغة في القيم.

استخدام طريقة "خط الاعتراض" وتحليل تقاطع الظلال على الشرائط المترية يتطلب أيضاً أياماً صافية وعدد كافٍ من القياسات في اتجاهات مختلفة لتقديم تقدير موثوق للمنطقة المظلمة. ومع ذلك، هذه الطرق تعاني من صعوبة القياس في المحاصيل القصيرة ومشاكل في وضع المستشعرات أسفل المظلة. علاوة على ذلك، يعد عمل الرسومات الورقية مكلفاً عند تطبيقه في الظروف الميدانية وعلى مساحات كبيرة.

3-6-3 قياس نسبة الإشعاع المعترض (LI) بطرق غير مباشرة

تستخدم الطرق غير المباشرة أجهزة مختلفة لتقدير مكونات الإشعاع مثل الإشعاع المباشر، المنتشر، الأرضي، والغلاف الجوي. تعتمد هذه الطرق على التوازن الإشعاعي لمعرفة كمية الإشعاع المتاحة التي تصل إلى السطح.

3-6-4 الاستشعار عن بعد لقياس LI

تقدمت تقنيات الاستشعار عن بعد لتجاوز الصعوبات في قياس الإشعاع عبر المظلة. تعتمد هذه الطرق على الفروق في الانعكاس الطيفي للنباتات والتربة. المؤشرات النباتية القائمة على الانعكاس توفر تقديرات جيدة لالتقاط الإشعاع والعائد في المحاصيل مثل فول الصويا والخس والعشب. كما أن البيانات الساتلية متاحة لتقييم المساحات الشاسعة، وأصبحت أجهزة قياس الإشعاع المحمولة أقل تكلفة.

3-6-5 استخدام الصور الفوتوغرافية الرقمية

أثبتت القياسات باستخدام الصور الرقمية فعاليتها في تقدير LI. يمكن لهذه الصور تحديد غطاء المحاصيل واعتراض الإشعاع بكفاءة، وتوفر العديد من المزايا مثل تمييز التربة المغطاة بالأوراق بدقة. تعتبر زاوية الكاميرا بالنسبة للشمس مهمة للحصول على نتائج دقيقة، كما أن التربة ذات الألوان المختلفة قد تتطلب برمجيات متقدمة للتمييز بين المظلة والتربة.

وقد استخدمت الصور الرقمية فائدتها في هذا السياق لقياس غطاء المحاصيل واعتراض الإشعاع. على سبيل المثال، استخدمت الكاميرات الرقمية لتحديد غطاء المحاصيل في فول الصويا [22] والخس [23] ، وقياس غطاء العشب [24] توفر الصور الرقمية ميزات إضافية مقارنة بالطرق التقليدية، مثل القدرة على معالجة الصور مباشرة بواسطة الكمبيوتر وتسجيل تطور المحاصيل بشكل بياني.

أ-المعالجة الرقمية للصور

تتيح الصور الرقمية معالجة مباشرة باستخدام الحواسيب، مما يوفر سجلاً بيانياً للمحصول يمكن استخدامه في مراقبة نمو المظلة ودراسة الخصوبة والآفات.

ب-التطورات الحديثة

التطورات الحديثة في الكاميرات الرقمية عالية الدقة وبرامج معالجة الصور أدت إلى تحسين دقة التحليل البصري وتقليل التكلفة. تم إثبات فعالية هذه التقنيات في مراقبة نمو النباتات، مثل تقدير الكتلة الحيوية في الأراضي العشبية شبه القاحلة [25] وقياس غطاء المظلة واعتراض الضوء في حقول فول الصويا. [22]



الشكل رقم (7-3): الصور الرقمية لمعالجة قياس الطماطم بطريقة المساحة.

قام Campillo وزملاؤه [26] بمقارنة منهجية (PAR) LI مع طرق مختلفة لقياس PGC. استخدموا ثلاث طرق لقياس PGC في محصولين منخفضين، أحدهما محصول شتوي (القرنبيط) والآخر محصول صيفي (الطماطم) على مدار عامين متتاليين (2005 و2006).

طريقة المساحة (SA): تعتمد هذه الطريقة على تقدير عرض صف المحاصيل من خلال المحاكاة استناداً إلى القياسات المأخوذة في ثلاث نقاط داخل المنطقة المحددة باستخدام شريط متري. بعد ذلك، يتم استخدام هذه البيانات لتقدير متوسط عرض الصف و PGC [27] تم تحديد عرض الصف والإطار بالبيكسل باستخدام أداة القياس IMAGE J 1.33. مساحة أخذ العينات تحددت بناءً على العرض (X) والطول (Y) للإطار المرجعي. كانت القياسات الثلاثة لعرض الصف هي x_1 ، x_2 ، x_3 . باستخدام هذه الطريقة، تمكن الباحثون من تقدير عرض الصف بدقة ومن ثم حساب PGC، مما ساعد في مقارنة فعالية الطرق المختلفة لقياس PGC في المحاصيل المختلفة، تم حساب PGC باستخدام العبارة التالية:

$$PGC = 100 * \left(\frac{\left(\frac{(x_1 + x_2 + x_3)}{3} \right) * y}{(X * Y)} \right)$$

7-3 قياس مؤشر مساحة الورقة

غالبا ما يكون تحديد LAI هو الأكثر تكلفة في الدراسة الميدانية، لأن القياس المباشر (الطرق المدمرة) يستغرق وقتاً طويلاً. يمكننا التصنيف بنفس الطريقة كما هو الحال مع LI، بطرق مباشرة (والتي يمكن أن تكون مدمرة أو غير مدمرة) وغير مباشرة، بناءً على خصائص الغطاء النباتي، كونها غير مدمرة.

1-7-3 قياس LAI بالطرق المباشرة

اقتصرت الطرق المباشرة لتحديد مساحة الورقة حتى الآن على استخدام مقياس تكامل المنطقة التلقائي. التتبع، والرسوم البيانية الظل، واستخدام مقياس مستوي لقياس إجمالي مساحة الورقة المرتبطة بالبراعم كلها تستغرق وقتاً طويلاً وهي طرق مملّة؛ علاوة على ذلك، في بعض التجارب لا يوجد وقت كاف لإجراء مثل هذه القياسات. جميع الطرق المباشرة متشابهة من حيث أنها صعبة وكثيفة العمالة للغاية، وتتطلب العديد من النسخ المتماثلة لمراعاة التباين المكاني في المظلة، وبالتالي فهي مكلفة من حيث الوقت والمال ومدمرة أيضاً.

2-7-3 قياس LAI بطرق غير مباشرة

تم تطوير العديد من الطرق غير المباشرة لقياس LAI. تتوفر طرق تعتمد على العلاقات التجريبية بين مساحة الورقة والمعلومات التي يمكن الحصول عليها بسهولة مثل حجم الأوراق. على أي حال، يجب دائماً التحقق من العلاقة التجريبية مع العمل المباشر لأنها قد تختلف خلال دورة المحاصيل وبعض الأصناف الأخرى. بعضها المستخدم هو $S = A * L * I$ و $S = A * LB$ ، حيث S هي المساحة، L الطول و I الحد الأقصى لعرض عنصر النبات ، A و B هي عناصر تجريبية. كما يمكن تقدير مساحة الورقة من خلال العلاقات مع الوزن. تعتمد المجموعة الأولى من الطرق على $S = M / \sigma$ حيث M هو وزن الورقة بالجرام وهو الوزن النوعي (g/m^2) [28]. تفترض التقنيات القائمة على تحليل فجوة الكسر أنه يمكن حساب مساحة الورقة من نفاذية المظلة (جزء الإشعاع الشمسي المباشر الذي يخترق المظلة) (فورد، 1997). الطرق البصرية غير مباشرة وغير متصلة ويتم تنفيذها بشكل شائع. وهي تستند إلى قياس انتقال الضوء من خلال الأوراق. تطبق هذه الطرق قانون بير لامبرت، مع الأخذ في الاعتبار حقيقة أن إجمالي كمية الإشعاع التي تعترضها طبقة المظلة تعتمد على الإشعاع الساقط، وهيكل المظلة، وخصائصها البصرية. قام Monsi and Saeki [29] بتوسيع قانون انقراض Beer-Lambert لتطبيقه على الستائر النباتية. يعبر قانون بير لامبرت عن توهين الإشعاع في وسط عكر متجانس. في مثل هذه الوسيلة، يتم امتصاص التدفق بما يتناسب مع المسافة البصرية. يرتبط LAI بالإشعاع الشمسي الساقط الذي اعترضه المحصول (LI) ومعامل الانقراض (K)، والذي يصف زاوية الشفرات بالنسبة للشمس، من خلال الصيغة التي اقترحها Monsi and Saeki :

$$LI = 1 - e^{-(K*LI)}$$

يمكن أيضاً استخدام هذا النهج لتقدير LAI باستخدام المعادلة السابقة؛ ومع ذلك، سنحتاج إلى معرفة معامل الانقراض لكل محصول وصنف [30].

3-7-3 تقدير LAI باستخدام معامل الانقراض

(أ) تحديد معامل الانقراض (k):

إن معامل الانقراض يختلف حسب المحصول والصنف. تم مناقشة طرق تحديده في عدة دراسات. ويتأثر معامل الانقراض ببنية الحامل وبنية المظلة. وهو دالة للطول الموجي، نوع الإشعاع، والاتجاه [31].

(ب) التكامل المكاني:

يجب استخدام أجهزة استشعار كبيرة وخطية و/أو متنقلة لتحقيق تكامل مكاني مثالي. ويختلف معامل الانقراض باختلاف الأنواع، الموسم، والظروف البيئية [32].

(ت) تأثير توزيع زوايا الأوراق:

التوزيع الأفقي للأوراق يرفع k ويساعد النباتات الصغيرة على اعتراض الإشعاع، لكنه يسبب عدم تساوي في توزيع الضوء عندما يكون LAI مرتفعاً. بينما التوزيع العمودي للأوراق يكون مفيداً في ظروف زوايا الشمس الكبيرة ويوفر توزيعاً أكثر تساويًا للإشعاع.

3-7-4 أدوات قياس LAI:

أجهزة استشعار كمومية خطية، مقاييس إشعاعية، مربعات نفاذ الليزر، وأجهزة استشعار السعة [33]. أثبتت هذه الأدوات دقتها في تقديرات LAI للسنوبريات وعريضة الأوراق [34].

(أ) قياسات الضوء:

تتطلب قياسات الضوء سماء صافية. كما يتطلب حساب LAI دمج معامل انقراض الضوء الخاص بالموقع والأنواع.

(ب) طرق القياس:

تحديد موقع أجهزة الاستشعار بشكل عمودي على صفوف المحاصيل [35] أو أخذ قياسات متعددة موازية لها [22].

(ت) الأنظمة التجارية لقياس LAI:

محلل المظلة النباتية LiCor LAI-2000: يتضمن مستشعر بصري وصندوق تحكم يسهل التلاعب به. يعتمد تقدير LAI على نموذج طوره Miller (1967) [36].

CI-100: يتكون من كاميرا رقمية بعدسة "عين السمكة" مع مجال رؤية 180 درجة.

(ث) تقنيات التقدير عن بعد:

توفر معلومات زمنية ومكانية باستخدام تكنولوجيا الكاميرات الرقمية [37]، صور الفيديو [38]، وأجهزة الاستشعار الرقمية متعددة الأطياف [39] (Bellairs et al., 1996)، الصور الجوية [40] والصور الساتلية [41].

(ج) مؤشر الغطاء النباتي للفرق الطبيعي (NDVI):

مؤشر NDVI يعتمد على نسب الإشعاع المنعكس إلى الوارد في كل نطاق طيفي.

قيم NDVI تتراوح بين -1.0 و +1.0.

حساسية مؤشر NDVI للتربة الخلفية والظروف الجوية.

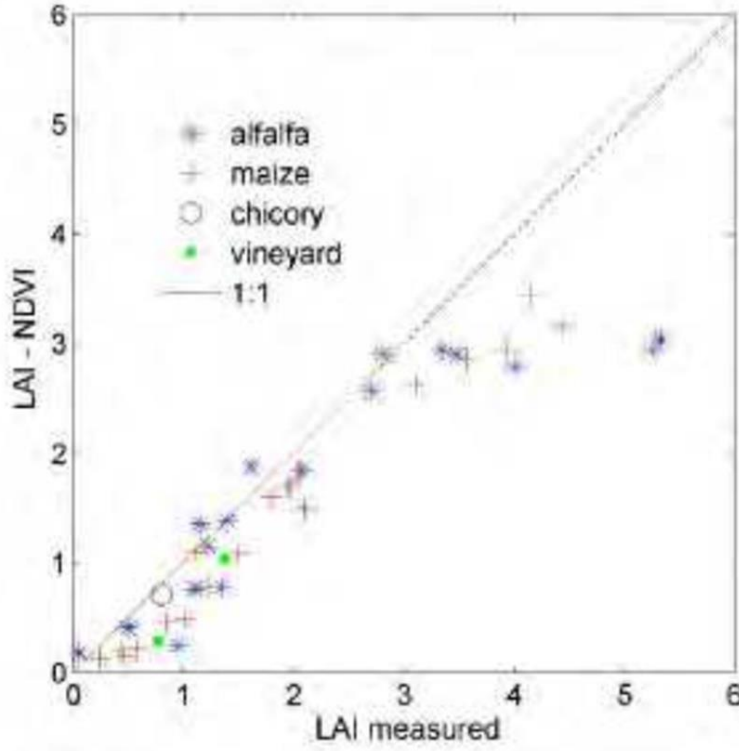
(ح) مصادر الأقمار الصناعية:

AVHRR، MODIS، SPOT تقدم بيانات NDVI بدقة مختلفة.

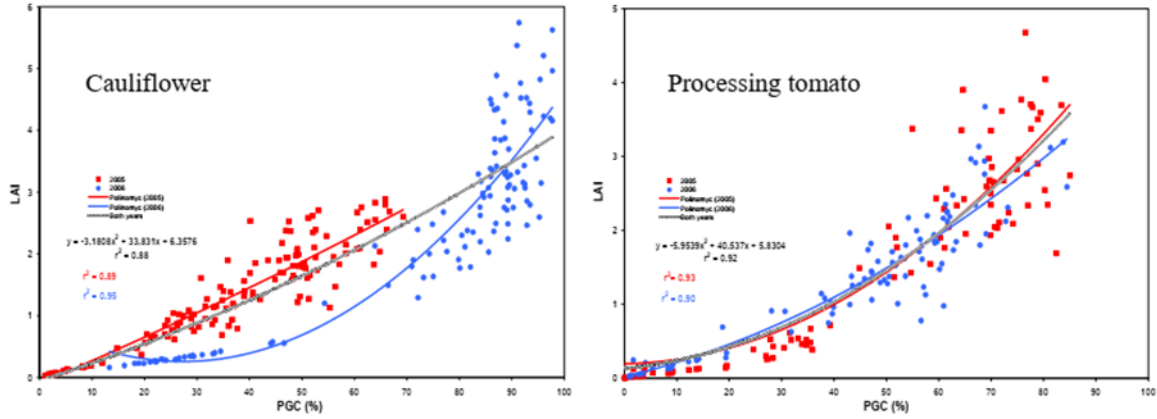
تستخدم مؤشرات الغطاء النباتي لحساب الكتلة الأحيائية و [44][43] LAI.

هذه الطرق والتقنيات المتقدمة تساعد في توفير تقديرات دقيقة لـ LAI، مما يساهم في تحسين إدارة

المحاصيل وزيادة كفاءة الزراعة. (الشكل 8.3)



الشكل رقم (8-3): العلاقة بين LAI المقاس باستخدام أداة LAI-2000 و LAI المقدر من NDVI، $RMSE = 0.71$ ، دراسة حالة إيطالية (13% من البيانات المقاسة الأرضية المستخدمة للمعايرة). [44]



الشكل رقم (3-9): العلاقة بين مؤشر مساحة الأوراق (LAI) المقدر من أخذ العينات المدمرة للمكتلة الحيوية والنسبة المئوية لأرض المظلة المقاسة (PGC) بطريقة إعادة التصنيف للقرنبيط وتجهيز محاصيل الطماطم في عامي 2005 و 2006.

الشكل 9.3 يمثل مقارنة في محصولين منخفضين [45]، محصول شتوي (قرنبيط) ومحصول صيفي (معالجة الطماطم) في عامين متتاليين (2005 و 2006) قياسات PGC (طريقة غير مدمرة) و LAI (طريقة مدمرة). كان الهدف هو العلاقات بين معلمتين وإمكانية استخدام منهجية PGC كقياس LAI في محاصيل الخضر، نستخلص ما يلي :

- علاقة كثيرة الحدود (r2 > 0.88) بين PGC وتطور مساحة الورقة في كلا المحصولين.
- زيادة PGC اتبعت نمطاً خطياً منحنياً، يبدأ بمرحلة خطية تليها مرحلة تشبع.
- اختلافات مورفولوجية (ارتفاع النبات ونوع الورقة) قد تؤثر على العلاقة بين LAI و PGC.
- PGC يعتمد على تطور مساحة الورقة وتوزيع الأوراق على المساحة (بنية النبات).

نتائج القرنبيط: اختلافات كبيرة بين المنحنيات لكل سنة (r2 = 0.89) للسنة الأولى و 0.95 للسنة الثانية)، والسبب هو تغير الظروف الجوية، حيث كانت درجات الحرارة في السنة الأولى أقل مع صقيع متكرر، مما أدى إلى تجعد هوامش الأوراق وانخفاض PGC لنفس LAI.

نتائج الطماطم: منحنيات السنوات تزامنت مع اختلافات طفيفة في التسوية (0.89 و 0.93 لعامي 2005 و 2006). منحنى واحد يمكن أن يقدر LAI بطرق غير مدمرة باستخدام الصور الرقمية.

أهمية المعادلات: المعادلات التي تم الحصول عليها لمحاصيل الطماطم والقرنبيط توفر طريقة لتقدير

LAI بناءً على قيم PGC المعروفة.

معاملات الانقراض:

الطماطم: 0.85-0.75

القرنبيط: 0.70-0.60

منه نستنتج أن التطور التكنولوجي في قياس PGC باستخدام الصور الرقمية يقدم تقديرات دقيقة

ومهمة لتطوير استراتيجيات زراعية فعالة.

8-3 الخاتمة

تعتمد إنتاجية المحصول على قدرة الغطاء النباتي على اعتراض الإشعاع الساقط، وهو دالة على مساحة الأوراق المتاحة، وبنية الغطاء النباتي وكفاءة تحويل الطاقة التي يلتقطها النبات في الكتلة الحيوية. يقلل الإجهاد المائي والتغذية من LAI إلى حجم أصغر وشيخوخة أكبر للأوراق. يتفق الحجم الأصغر لـ LAI مع النقاط الضوء وبالتالي نمو المحاصيل، مما يقلل من كفاءة الإشعاع.

يعد قياس الإشعاع الذي يعترضه المحصول لتشكيل مساحة الأوراق عاملاً مهماً في مراقبة المحاصيل ودراسات العلاقات المائية والتغذية وفي نماذج محاكاة المحاصيل

تظهر القياسات المأخوذة من الصور الرقمية مزايا عملية فيما يتعلق بشريط PAR، والذي يجب استخدامه عند الظهيرة الشمسية. في المقابل، يمكن إجراء القياسات التي تم الحصول عليها باستخدام كاميرا رقمية في أي وقت من اليوم وأشعة الشمس الكاملة ليست ضرورية.

تسمح البيانات التي تم الحصول عليها عن طريق التصوير الرقمي PGC بالتقدير السريع لمساحة الورقة باستخدام كاميرا وبرامج مجانية للحصول على قيم LAI بأبسط طريقة مما كانت عليه عند قياسها باستخدام مقياس مسطح يتم إجراؤه باستخدام القياس المدمر وتحليل الأوراق الفردية.

قائمة المراجع:

- 1 Gosse, G ; Varlet-Grancher, C ; Bonhomme, R ; Chartier, M ; Allirand, JM & Lemaire G (1986). Maximum dry matter production and solar radiation intercepted by a canopy. *Agronomie*, 6: 47-56.
- 2 Villalobos, C., Nuñez, L., Montero, M., García, A. G., Alonso, M. T., Chamero, P., ... & García-Sancho, J. (2002). Redistribution of Ca²⁺ among cytosol and organella during stimulation of bovine chromaffin cells. *The FASEB journal*, 16(3), 343-353.
- 3 Varlet-Grancher, C; Bonhomme, R. & Sinoquet, H. (1993). Crop structure and light microclimate. 518 p.
- 4 Whitmarsh, J., & Govindjee. (1999). The photosynthetic process. In *Concepts in photobiology: photosynthesis and photomorphogenesis* (pp. 11-51). Dordrecht: Springer Netherlands.
- 5 Loomis, RS & Connor DJ. (2002). *Crop Ecology: Productivity and management in agricultural system*. Cambridge University press.
- 6 Allen, RG; Pereira, LS; Raes, D & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 56.
- 7 Varlet-Grancher, C., Gosse, G., Chartier, M., Sinoquet, H., Bonhomme, R., & Allirand, J. M. (1989). Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. *Agronomie*, 9(5), 419-439.
- 8 Monteith, JL. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B* 281:277–294.
- 9 Subbarao, G.V.; Ito, O. & Berry, W. (2005). *Crop Radiation Use Efficiency and Photosynthate Formation-Avenues for Genetic Improvement*, M. Pessaraki, Editor, *Handbook of photosynthesis*, (2nd ed.), Taylor and Francis, New York.
- 10 Gallagher, JN & Biscoe, PV. (1978). Radiation absorption, growth and yield of cereals. *J. Agric. Sci. Camb.* 91:47–60.

- 11 Kiniry, J.R.; Landivar, J.A.; Witt, M.; Gerik, T.J.; Cavero, J. & Wade, L.J. (1998). Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. *Field Crops Research* 56:265-270.
- 11 Kiniry, J.R.; Landivar, J.A.; Witt, M.; Gerik, T.J.; Cavero, J. & Wade, L.J. (1998). Radiation-use efficiency response to vapor pressure deficit for maize and sorghum. *Field Crops Research* 56:265-270.
- 12 Stöckle, C. O., & Kemanian, A. R. (2009). Crop radiation capture and use efficiency: a framework for crop growth analysis. In *Crop physiology: Applications for genetic improvement and agronomy* (pp. 145-170). Elsevier.
- 13 Monteith, J.L. (1994). Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agricultural and Forest Meteorology* 68:213-220.
- 14 Kiniry, J.R. (1999). Response to questions raised by Sinclair and Muchow. *Field Crops Research* 62:245-247.
- 15 Landsberg, J.J. & F.J. Hingston. (1996). Evaluating a simple radiation/dry matter conversion model using data from Eucalyptus globulus plantations in Western Australia. *Tree Physiology* 16:801-808.
- 16 Mariscal, M.J.; Orgaz, F. & Villalobos, F.J. (2000). Radiation-use efficiency and dry matter partitioning of a young olive (*Olea europaea*) orchard. *Tree Physiology* 20:65-72.
- 17 Otegui, ME (1992). Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento. Tesis de Magister Scientiae Thesis, UNMdP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina, 93 pp.
- 17 Otegui, ME (1992). Incidencia de una sequía alrededor de antesis en el cultivo de maíz. Consumo de agua, producción de materia seca y determinación del rendimiento. Tesis de Magister Scientiae Thesis, UNMdP, Balcarce, Buenos Aires, Argentina, 93 pp.
- 18 Uhart, S.A. & Andrade, F.H. (1995). Nitrogen deficiency in maize. I. Effects on crop growth, development, dry matter partitioning and kernel set. *Crop*

- Sci., 35: 1376–1383.
- 19 Tesfaye, K., Walker, S., & Tsubo, M. (2006). Radiation interception and radiation use efficiency of three grain legumes under water deficit conditions in a semi-arid environment. *European journal of Agronomy*, 25(1), 60-70.
 - 20 Li, Q.Q.; Chen, Y.H.; Liu, M.Y.; Zhou, X.B; Yu S.L. & Dong B.D. (2008): Effects of irrigation and planting patterns on radiation use efficiency and yield of winter wheat in North China. *Agric. Water Manage.*, 95: 469–476.
 - 21 Boissard, P; Pointel, J & Tranchefort J. (1992). Estimation of the ground cover ratio of a wheat canopy using radiometry. *International Journal Remote Sensing* 13(9):1681- 1692.
 - 21 Boissard, P; Pointel, J & Tranchefort J. (1992). Estimation of the ground cover ratio of a wheat canopy using radiometry. *International Journal Remote Sensing* 13(9):1681- 1692.
 - 22 Purcell, LC. (2000). Soybean canopy coverage and light interception measurements using digital imagery. *Crop Science* 40:834-837.
 - 22 Purcell, LC. (2000). Soybean canopy coverage and light interception measurements using digital imagery. *Crop Science* 40:834-837.
 - 22 Purcell, LC. (2000). Soybean canopy coverage and light interception measurements using digital imagery. *Crop Science* 40:834-837.
 - 23 Klassen, SP; Ritchie, G; Frantz, JM; Pinnock, D & Bugbee B. (2001). Real-time imaging of ground cover: Relationships with radiation capture; canopy photosynthesis; and daily growth rate. *Crop Science Society of America Special Publication on Digital Technologies*;19.
 - 24 Richardson, MD; Karcher DE & Purcell LC. (2001). Quantifying Turfgrass Cover Using Digital Image Analysis. *Crop Science* 41:1884-1888.
 - 25 Paruelo, JM; Lauenroth, WK & Roset PA. (2000). Estimating aboveground plant biomass using a photographic technique. *Journal Rangeland Management* 53(2):190-193.
 - 26 Campillo, C. ; Prieto M.H. ; Daza, C. ; Moñino, M.J. & García, M.I. (2008).

- Using digital images to characterizing the canopy coverage and light interception in a processing tomato crop. *Hortscience* 43 (6): 1780-1786.
- 27 Adams, J.E. & G.F.Arkin. (1977). A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41:789–792.
- 28 Patón, D; Núñez-Trujillo, J; Muñoz, A & Tovar J. (1998). Determinación de la fitomasa forrajera de cinco especies del género *Cistus* procedentes del parque natural de Monfragüe mediante regresiones múltiples. *Archivos de Zootecnia* 47(177):95-105.
- 29 Monsi, M., & Saeki, T. (1953). About the light factor in plant canopies and its significance for dry matter production. *German. Jpn. J. Bot*, 14, 605-614.
- 29 Monsi, M., & Saeki, T. (1953). About the light factor in plant canopies and its significance for dry matter production. *German. Jpn. J. Bot*, 14, 605-614.
- 30 Campbell, G.S. (1986). Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agriculture Forest meteorology* 36:317- 321
- 31 Berbigier, P., & Bonnefond, J. M. (1995). Measurement and modelling of radiation transmission within a stand of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait). In *Annales des sciences forestières* (Vol. 52, No. 1, pp. 23-42). EDP Sciences.
- 32 Hay, R; Walker, A. (1989). An introduction to the Physiology of Crop Yield. 292 p.
- 39 Pierce, L. L., & Running, S. W. (1988). Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. *Ecology*, 69(6), 1762-1767.
- 34 Chason, J. W., Baldocchi, D. D., & Huston, M. A. (1991). A comparison of direct and indirect methods for estimating forest canopy leaf area. *Agricultural and Forest Meteorology*, 57(1-3), 107-128.
- 35 Egli, D.B. (1994). Mechanisms responsible for soybean yield response to equidistant planting patterns. *Agron. J.* 86:1046–1049. Evans LT. (1975). *Crop Physiology*. 1-22 p.

- 36 Miller, P. C. (1967). Leaf temperatures, leaf orientation and energy exchange in Quaking Aspen (*Populus tremuloides*) and Gambell's Oak (*Quercus gambellii* [gambelii]) in central Colorado.
- 37 Adamsen, FJ; Pinter, PJJ; Barnes, EM; LaMorte, RL; Wall, GW; Leavitt, SW & Kimball, BA. (1999). Measuring wheat senescence with a digital camera. *Crop Science* 39:719-724.
- 38 Beverly, RB. (1996). Video image analysis as nondestructive measure of plant vigor for precision agriculture. *Soil Science and Plant analysis* 27:607-614.
- 39 Bellairs, SM; Turner, NC; Hick, PT & Smith, RCG. (1996). Plant and soil influences on estimating biomass of wheat in plant breeding plots using field spectral radiometers. *Australian Journal Agriculture Research* 47:1017-1034.
- 40 Flowers, M; Heiniger, R & Weisz R. (2001). Remote sensing of winter wheat tiller density for early nitrogen application decisions. *Agronomy Journal* 93:783-789.
- 41 Wiegand, CL; Richardson, AJ & Kanemasu ET. (1979). Leaf area index estimates for wheat from LANDSAT and their implications for evapotranspiration and crop modeling. *Agronomy Journal* 71:336-342.
- 42 Blazquez, CH; Elliot, RA & Edwards GJ. (1981). Vegetable crop management with remote sensing. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 47:543-547.
- 43 Wanjura, DF & Hatfield JL. (1986). Sensitivity of spectral vegetative indices to crop biomass. *transactions of the ASAE* 30:810-816.
- 44 D'urso, G.; Richter, K.; Calera A.; Osann M.A.; Escadafal R.; Garatuzapajan J.; Hanich I.; Perdigão A.; Tapia J.B. & Vuolo F. (2010). Earth observation products for operational irrigation management in the context of the pleiades project, *Agricultural water management*, 98, 271-282
- 45 Campillo, C. ; Prieto M.H. ; Daza, C. ; Moñino, M.J. & García, M.I. (2008). Using digital images to characterizing the canopy coverage and light

interception in a processing tomato crop. Hortscience 43 (6): 1780-1786.

الخاتمة

الخاتمة العامة:

تشكلت هذه المذكرة من خلال نهج بحث بيولوجرافي لتسلط الضوء على الأهمية البالغة للإشعاع الشمسي في الزراعة وتحديداً في نمو وإنتاجية المحاصيل الزراعية. من خلال استعراض شامل للموضوع عبر فصول المذكرة الثلاثة، تمكنا من بناء صورة واضحة عن الدور المركزي للإشعاع الشمسي في العمليات الزراعية.

في الفصل الأول، تناولنا الإشعاع الشمسي بصفة عامة، حيث تم تعريفه وشرح أنواعه المختلفة، واستعرضنا القوانين التي تحكمه وكيفية حسابه والأدوات المستخدمة في قياسه. كانت هذه المعرفة الأساسية ضرورية لفهم العوامل الفيزيائية التي تؤثر على توفر الإشعاع الشمسي واستغلاله في الزراعة. انتقلنا في الفصل الثاني إلى تحليل العلاقة النظرية بين الإشعاع الشمسي والمحاصيل الزراعية. تم بحث كيفية استفادة النباتات من الإشعاع الشمسي في عمليات التمثيل الضوئي والنمو، وكذلك تأثير التغيرات في كمية ونوعية الإشعاع على العمليات الفسيولوجية للنباتات. أظهرت الدراسات المختلفة أهمية توفير ظروف إشعاعية مثلى لتحقيق أفضل نمو وإنتاجية للمحاصيل.

أما في الفصل الثالث، فقد تم جرد أهم الأبحاث والنتائج المتعلقة بتأثير الإشعاع الشمسي على نمو وإنتاجية المحاصيل الزراعية. دعمنا هذا الفصل برسوم بيانية توضيحية لتسليط الضوء على النتائج الرئيسية وتبيين تأثير الإشعاع الشمسي على أنواع مختلفة من المحاصيل في مناطق مناخية متنوعة. أظهرت الدراسات التي تم استعراضها أن الإشعاع الشمسي يلعب دوراً حاسماً في تحسين الإنتاجية الزراعية وتحقيق الأمان الغذائي.

ومن أهم النتائج التي تم التوصل إليها في هذا الفصل هو أن إنتاجية المحصول تعتمد على القدرة اللازمة للغطاء النباتي في اعتراض الإشعاع الساقط، وهو يتأثر بمساحة الأوراق المتاحة، وبنية الغطاء النباتي، وكفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى كتلة حيوية. التغذية المائية والتقليل من LAI يقلل من مساحة الأوراق ويزيد من شيخوختها، مما يؤثر سلباً على كفاءة الإشعاع. قياس الإشعاع الذي يتعرض له المحصول يعد عاملاً حاسماً في مراقبة المحاصيل، وفي دراسات العلاقات المائية والتغذية، وفي نماذج محاكاة المحاصيل. الصور الرقمية توفر ميزات عملية في قياس الشريط الفيزيائي للضوء (PAR) عند الظهيرة، بينما يمكن للكاميرات الرقمية إجراء القياسات في أي وقت من اليوم دون الحاجة إلى شروط إضاءة محددة. البيانات من التصوير الرقمي (PGC) تسمح بتقدير سريع لمساحة الورقة باستخدام كاميرا وبرامج مجانية، مما يبسط عملية القياس مقارنة بالأساليب التقليدية المدمرة وتحليل الأوراق الفردية.

ختاماً، تبرز هذه المذكرة أهمية الاستمرار في دراسة تأثير الإشعاع الشمسي على الزراعة وتطوير استراتيجيات زراعية مبتكرة تعتمد على تحسين استخدام الإشعاع الشمسي. فيما يتعلق بمنطقة وادي سوف في الجزائر، توصي هذه المذكرة بضرورة إجراء بحوث ميدانية مستفيضة لفهم الخصائص المناخية

الخاتمة العامة

الفريدة للمنطقة وكيفية تحسين استغلال الإشعاع الشمسي لدعم الزراعة المحلية. كما نوصي بتطوير مشاريع مستقبلية تركز على استخدام تقنيات متقدمة لقياس وتحليل الإشعاع الشمسي، بالإضافة إلى تبني ممارسات زراعية مستدامة تعزز الإنتاجية وتحافظ على الموارد البيئية.

إن استثمارنا في فهم أفضل للإشعاع الشمسي وعلاقته بالمحاصيل الزراعية سيمكننا من تحقيق زراعة أكثر كفاءة واستدامة، مما يسهم في تعزيز الأمن الغذائي والاقتصاد الزراعي على المدى الطويل.

الله أكبر

المخلص

يستعرض العمل تأثير الإشعاع الشمسي على نمو المحاصيل الزراعية وإنتاجيتها. يشمل ذلك تحليل أنماط البناء الضوئي في نباتات C3 وC4، حيث يُظهر أن نباتات C4 أكثر كفاءة في إنتاجية الكتلة الحيوية. يعد اعتراض الإشعاع الشمسي من العوامل الحاسمة في نمو المحاصيل، إذ يؤثر في العمليات الفسيولوجية مثل التمثيل الضوئي والنتج. تتناول الدراسة تأثير زاوية الأوراق، وخصائص سطحها، وترتيبها على اعتراض الضوء، وأهمية الإشعاع النشط ضوئياً (PAR) في هذه العملية. يُقدر مؤشر مساحة الورقة (LAI) كمعيار لقدرة النبات على امتصاص الضوء، مما يؤثر على إنتاجية المحاصيل. تركز الاستراتيجيات الزراعية على تعظيم اعتراض الإشعاع الشمسي من خلال ممارسات مثل التسميد والري. كما تطرق العمل لتأثير نقص الماء والنيتروجين على كفاءة التمثيل الضوئي، وتقييم طرق قياس الإشعاع المعترض، بما في ذلك استخدام التقنيات الحديثة مثل الاستشعار عن بعد والصور الفوتوغرافية الرقمية.

الكلمات المفتاحية: تأثير الإشعاع الشمسي - المحاصيل الزراعية - التمثيل الضوئي.

ABSTRACT

The work reviews the effect of solar radiation on the growth and productivity of agricultural crops. This includes analyzing photosynthesis patterns in C3 and C4 plants, showing that C4 plants are more efficient at biomass productivity. Interception of solar radiation is a critical factor in crop growth, affecting physiological processes such as photosynthesis and transpiration. The study examines the effect of leaf angle, surface characteristics, and arrangement on light interception, and the importance of photoactive radiation (PAR). In the process. The leaf area index (LAI) is estimated as a benchmark for a plant's ability to absorb light, affecting crop productivity. Agricultural strategies focus on maximizing solar radiation interception through practices such as fertilization and irrigation. The work also addressed the impact of water and nitrogen shortages on photosynthesis efficiency, and evaluated methods for measuring intercepted radiation, including the use of modern technologies such as remote sensing and digital photographs.

Keywords: influence of solar radiation - agricultural crops – photosynthesis.