العوامل المناخيّة facteurs climatiques

(الضوء، الحرارة، المياه الجوية، الهواء والرياح، الصاعقة، النار)
(المياه الجوية: أمطار وندى، ثلج وبَرَد، غيوم وضباب وسحاب، بخار ماء)

الطقس: هو الحالة المؤقتة والمتوقعة للغلاف الجوي في مكان معين خلال زمن محدد، وهي شديدة التبدل وناتجة عن سيطرة إحدى الخصائص الفيزيائية للغلاف الجوي كالحرارة أو الضغط أو الغيوم أو الرياح أو المطر أو الثلج، مثال طقس غائم، مثلج، ماطر، بارد، حار، عاصف، ...

المناخ Climat هو محصلة لسلسة من التبدلات المستمرة والمترابطة والمتعاقبة لحالات الطقس في منطقة معينة، وهي حالة عامة ومستقرة نسبياً وهي من صفات المنطقة الجغرافية مثال: مناخ سوريا بارد وماطر شتاءً، حار وجاف صيفاً...

الضوء أو الإشعاع الشمسي Rayonnement solaire

الشمس هي النجم المتقد والمصدر الطبيعي للضوء وللجزء الأكبر من الحرارة والطاقة اللازمة لتسيير جميع النظم البيولوجية في الطبيعة سواء بشكل مباشر أو غير مباشر، تصل هذه الطاقة إلى الغلاف الحيوي على شكل أشعة إلكترومغناطيسية **مباشرة** أو **غير مباشرة** إضافة إلى الأشعة **المنعكسة** وهي أشعة شمسية من النمطين السابقين، تنعكس على السطوح المختلفة ولاسيما سطح الأرض؛ تختلف النسب المئوية للأشعة المباشرة وغير المباشرة وفقاً لعدة عوامل من أهمها حالة الجو كما يوضحه الجدول 1، أما شدة الأشعة المنعكسة فتتوقف على طبيعة السطح وزاوية الورود.

جدول 1: النسب المئوية للأشعة المباشرة وغير المباشرة وفق حالة الجو حسب Kimbal

حالة السماء	الأشعة المباشرة %	الأشعة غير المباشرة %
سماء صافية	74	26
سماء غائمة جزئياً	52	48
سماء مغطاة كلياً بالغيوم	0	10

طاقة الأشعّة وشدّتها مفهوم الثابت الشمسي والميزان الإشعاعي:

تقدّر طاقة الأشعة الشمسيّة لحظة دخولها الغلاف الجوي بنحو 2 حريرة/ سم^2/ دقيقة أي ما يعادل 1400 واط /م^2/ثا، تدعى هذه القيمة **بالثابت الشمسي**constant solaire، وتمثل القيمة العظمى للشدة الضوئية التي يمكن أن تسجل على سطح الأرض شريطة أن يكون الغلاف الجوي كامل الصفاء والنقاء وتصل الأشعة بشكل عمودي.

تقاس شدة الأشعة الواردة إلى سطح الأرض **بالميزان الإشعاعي** وهو: محصلة أشكال الأشعة التي تتلقاها نقطة معينة على سطح الأرض خلال زمن محدد.

تقدر مساحة القطاع المضاء من الكرة الأرضية بنحو 127 مليون كم^2، (احسب كمية الطاقة التي يتلقاها هذا الجزء في الثانية أو في الدقيقة).

عوامل تبدل شدة وطاقة الأشعة االواردة إلى سطح الأرض:

1) زاوية ورود الأشعة: تحدد النسب المئوية للأشعة الممتصة والمنعكسة، حيث تكون الأشعة الممتصة في حدودها القصوى عندما ترد بشكل عمودي على السطح المستقبل، في حين تكون الأشعة المنعكسة في حدودها الدنيا (الجدول 2)، وتختلف زاوية الورود وفقاً لدرجة العرض ووضع الشمس ودرجة استواء السطح.

جدول 2: العلاقة بين نسبة الأشعة المنعكسة وزاوية الورود

الزاوية "˚"	الأشعة المنعكسة %
90	6.4
47	20
10	34
2	78

2) الغلاف الجوي: تتعرض الأشعة الشمسية عند اختراقها للغلاف الجوي لتغير كبير في الشدة والنوعية، ويعود ذلك إلى **الامتصاص** الذي تقوم به مكوّنات الغلاف الجوي ولاسيما الجزء المحيط بالأرض، مثل: الغازات وفي المقام الأول بخار الماء والغبار والدخان وجميع الجسيمات الجوية التي تمتص حتى 15% تقريباً، كما تقوم مكونات محددة من الغلاف الجوي بامتصاص انتقائي لبعض الأشعة فقط، إذ يمتص النتروجين والأكسجين جزءاً كبيراً من الأشعة الحمراء، ويمتص الأوزون الجزء الأكبر من الأشعة فوق البنفسجية، ويمتص بخار الماء بشدة الأشعة تحت الحمراء.
تقوم أيضاً مكونات الغلاف الجوي **بعكس** جزءاً آخراً من الأشعة باتجاه الفضاء الخارجي، أما الجزء الباقي **فيُنشر** في جميع الاتجاهات، وكلما ازدادت ثخانة الغلاف الجوي ازداد احتمال الامتصاص والانعكاس مما يقلل شدة وطاقة الأشعة غير المباشرة الواردة إلى نقطة ما على سطح الأرض.
3) الارتفاع: مع ازدياد ارتفاع النقطة الجغرافية عن سطح البحر تقل ثخانة الغلاف الجوي الذي تسلكه الأشعة، وبالتالي تنخفض شدة الامتصاص والانعكاس وتزداد نسبة الأشعة المباشرة، ويطرأ تبديل على تركيب الطيف الضوئي، حيث تزداد نسب بعض الأشعة ولاسيما الأشعة البنفسجية و فوق البنفسجية مقارنة بالأشعة الأخرى، وهذا ما يظهر جلياً في الجبال العالية.
4) درجة العرض: تعمل على تبديل شدة وطاقة الأشعة الشمسية من خلال تأثيرها في:
أ. طول النهار: إذا تساوى طولا النهار والليل في مستوى خط الاستواء فالأمر يختلف مع الانتقال شمالاً أو جنوباً، ويصبح التباين واضحاً، ويزداد طرداً مع درجة العرض (الجدول 3).

جدول 3: المتوسط الشهري لطول النهار بحسب درجات العرض عن Peguy 1970

درجة العرض	كانون الثاني	آذار	حزيران	أيلول
50	8.1	11.8	16.3	12.7
40	9.4	12.0	15.0	12.5
30	10.2	12.0	14.5	12.4
15	11.3	12.0	13.0	12.2
0	12.1	12.1	12.1	12.1

وهكذا يسود نهار دائم في الدائرة القطبية خلال فصل الصيف، وليل دائم في فصل الشتاء، أما في المناطق المعتدلة فيكون النهار طويلاً في الصيف وقصيراً في الشتاء في النصف الشمالي على عكس ما هو عليه في النصف الجنوبي, وهذا يؤثر بدوره في نصيب الفصل من الطاقة.
ب. زاوية الورود: يزداد ميل الأشعة الشمسية مع الابتعاد عن خط الاستواء مما يزيد نسبة الأشعة المنعكسة ولاسيما في النصف الشمالي من الكرة الأرضية.

ج. ثخانة الغلاف الجوي: مع ازدياد ميلان الأشعة الشمسية يزداد طول مسار هذه الأشعة في الغلاف الجوي، مما يزيد نسب الأشعة الممتصة والمنعكسة.

5) درجة الإغامة: يعترض الضباب والغيوم والسحب جزءاً مهماً من الأشعة الشمسية حيث يتم عكس وامتصاص ونشر الأشعة، وهذا يتعلق بصورة رئيسة بطبيعة الغيوم والضباب ولونها وكثافتها وارتفاعها عن السطح، ففي السحب الطبقية المرتفعة يبقى اختراق الأشعة ممكناً بنسبة كبيرة تصل إلى 85% من الأشعة الكلية، تنخفض هذه النسبة إلى 40% في حالة الغيوم المتوضعة على ارتفاعات متوسطة، ويكون انتقال الأشعة ضعيفاً جداً خلال الغيوم الماطرة والمنخفضة ولا يتجاوز 15% وأقل من ذلك في حالات الضباب الكثيف.

6) طبوغرافية المنطقة: تساهم السمات السطحية للموقع البيئي في تكوين المناخ الضوئي الدقيق Microclimat lumineux الذي يمتاز به الموقع، تسبب تضاريس الموقع تظليل المناطق الواقعة خلفها وبالتالي حجب الأشعة الضوئية المباشرة عنها، كما يسبب الارتفاع زيادة في في شدة الأشعة الشمسية وتغيراً في تركيبها، ويؤثر اتجاه السفوح بالنسبة للشمس في شدة ومدة الإضاءة حيث تكون السفوح الجنوبية الغربية في الجزء الشمالي من الأرض أكثر تعرضاً للأشعاع من السفوح الشمالية بالمدة والشدة، أما الانحدار فيحدد كمية الأشعة الممتصة والمنعكسة من خلال تحكمه بزاوية ورود الأشعة بسبب تتام زاويتي الورد والانحدار.

7) الغطاء النباتي: يؤثر الغطاء النباتي تأثيراً كبيراً في الإشعاع الشمسي الوارد إلى داخل الغطاء، لأن الأشعة الواردة تتوزع وفق الآتي:

أ. الجزء **المنعكس** على سطوح الأعضاء النباتية الذي يعود إلى الجو، وهو انعكاس انتقائي، ولذلك يبدو الغطاء النباتي بلون أخضر نتيجة لعكس الأشعة الخضراء، ويؤثر في شدة الأشعة المنعكسة على الغطاء النباتي: التركيب النوعي للغطاء النباتي وكثافته حيث تعكس غابة من المخروطيات 10 إلى 18% من الأشعة الواردة، وتعكس غابة من عريضات الأوراق نحو 36% منها، بينما تعكس السهوب نحو 25% من هذه الأشعة؛ كذلك تؤثر طبيعة الأوراق ولونها: فالأوراق العريضة الداكنة اللون أقل عكساً للأشعة من الأوراق الرفيعة والشاحبة، وكذلك تكون الأوراق ذات الأوبار أشد عكساً للأشعة من الأوراق عديمة الأوبار؛ أم طول الموجة: فتعد أكثر الأشعة انعكاساً هي الأشعة تحت الحمراء القريبة والخضراء فالأرجوانية ثم الحمراء.

ب. الجزء الذي **تمتصه** الأعضاء النباتية الخضراء ولاسيما الأوراق ويستعمل في العمليات الحيوية الكيميائية كالتركيب الضوئي Photosynthese. ويكون هذا الامتصاص متبايناً حيث تمتص البشرة معظم الأشعة فوق البنفسجية وتمتص الأوراق معظم الأشعة المرئية ولاسيما الحمراء والأرجوانية والزرقاء والبنفسجية، أما الأشعة الخضراء والصفراء فهي الأقل امتصاصاً وكذلك الأشعة تحت الحمراء.

ج. الجزء **النافذ** من الأشعة عبر الفراغات العشوائية التي تتركها الأعضاء النباتية الهوائية فيما بينها، وتختلف شدتها ونوعيتها بحسب: طبيعة الغطاء النباتي حيث تتناقص شدة الإضاءة في الغابات من قمم الأشجار باتجاه الأرض، ويتباين ذلك بحسب ما تكون الغابات متساقطة الأوراق أو دائمة الأوراق وكذلك بحسب الفصل ؛ كما تتناقص شدة الأشعة النافذة كلما ازدادت كثافة الغطاء النباتي وعدد طوابقة؛ إضافة لذلك تتغير الشدة الضوئية داخل غطاء نباتي باختلاف فصول السنة، وبتغير ساعات النهار، ولهذا علاقة وثيقة جداً بكون النباتات دائمة الأوراق أو لا.

تعدّ **الإضاءة النسبية** (النسبة المئوية لشدة الإضاءة المسجلة عند مستوٍ معين داخل غطاء نباتي قياساً بالشدة الضوئية المقاسة على سطح هذا الغطاء)، وتوزعها الشاقولي، وتبدلاتها اليومية،

والفصلية، وتوزع البقع الضوئية الشمسية، والتركيب الطيفي للضوء من أهم صفات المناخ الضوئي الدقيق Microclimat lumineux.

8) التربة: تتّصف بدور كبير في تبديل محصلة طاقة الأشعة الشمسية الواردة لأن هذه الأشعة تتوزع في عدة أجزاء هي: الجزء المنعكس الذي تحدده زاوية الورود ولون التربة ودرجة استوائها، الجزء المستعمل في الإشعاع، الجزء اللازم لتبخير الماء الموجود في التربة، الجزء الذي تمتصه التربة ويؤدي إلى رفع درجة حرارتها.

9) الماء: يكتسب النظام الضوئي في الأوساط المائية أهمية كبيرة بالنسبة للأحياء المائية ولاسيما النباتية، إذ تنخفض شدة الإشعاع الشمسي تدريجياً مع العمق ويتبدل تركيبه الطيفي، تتوزع الأشعة الواردة إلى سطح مائي في ثلاثة أجزاء:

+ جزء منعكس تحدد كميته زاوية الورود ودرجة استواء السطح أو تموجه.

+ جزء ممتص: تساهم الأحياء المائية والمواد العالقة والمنحلة في امتصاص جزء من الإشعاع الوارد إلى الأوساط المائية، وتزداد كمية هذا الجزء طرداً مع تزايد المواد العالقة والمنحلة، أي تزداد طرداً مع انخفاض الشفافية.

+ جزء منتشر أو نافذ وهو يخترق الطبقات المائية حتى أعماق مختلفة وفق الوسط, وتختلف شدة اختراق الأشعة الشمسية لطبقات الأوساط المائية بحسب : شدة الإشعاعات الواردة إلى سطح الوسط المائي وزاوية ورودها، وشفافية الوسط المائي وطبيعته، العمق. تنخفض شدة الإضاءة طرداً مع زيادة العمق، ويترافق ذلك مع تغير في تركيب الطيف الضوئي لأن الأوساط المائية تمتص الضوء بشكل كيفي وكمي.

تعتمد الحياة النباتية على عملية التركيب الضوئي التي تكون محصورة بالطبقات السطحية من الأوساط المائية، أي إنّ التركيب الضوئي يصبح معدوماً عندما تكون الشدة الضوئية على عمق معين أقل من 1%, يتعلق هذا العمق بشفافية الماء ويقع بين 2 و 50 م وسطياً. تدعى الطبقة المائية التي يتم فيها التركيب الضوئي الطبقة جيدة الإضاءة Euphotique تليها طبقة قليلة الإضاءة Oligophotique تكون الشدة الضوئية فيها ضعيفة جداً، ولا يتمكن التركيب الضوئي من معادلة التنفس فتصبح حياة الكائنات ذاتيات التغذية فيها شبه مستحيلة، ثم الطبقة المظلمة A-photique التي تكون صحراوية من وجهة نظر نباتية، فالضوء الذي تتلقاه الأحياء المائية يختلف بشدته ومدته وتركيبه الطيفي عما تتلقاه الأحياء الأرضية، وهذا ما ينعكس على تنوع الأحياء المائية وتناميها وتطورها وإنتاجيتها وتوزعها ولاسيما النباتية منها.

لا يخترق الثلج الضوء والجليد لأكثر من بضعة سنتيمترات، وإن نسبة الأشعة المنعكسة عليهما تصل إلى 85%، وتنخفض هذه النسبة مع قِدَم طبقات الثلج والجليد واتساخها.

الطيف الشمسي

الطيف الضوئي مجموع الأشعة ذات الألوان والأطوال المختلفة التي ترسلها الشمس إلى الأرض وهي على شكل أمواج كهرومغناطيسية تتراوح في طولها بين القصيرة جداً والطويلة كما في الجدول 4.

وتتكوَّن الإشعاعات الشمسية من: أشعة غير مرئية تضم الإشعاعات ذات الأمواج القصيرة (أقل من 390 ميلي ميكرون) وبعض الأشعة ذات الأمواج الطويلة نسبياً والطويلة (أكبر من 760 ميلي ميكرون)، وأشعة مرئية ترافق ظاهرة الضوء، وتتراوح أطوال أمواجها بين 390 و 760 ميلي ميكرون، والإشعاعات ذات الأمواج القصيرة جداً (<10 ميلي ميكرون) لا تصل إلى سطح الأرض بسبب الامتصاص الهائل الذي تقوم به جزيئات الآزوت والهيدروجين.

جدول 4: أشعة الشمس المختلفة مرتبة بحسب أطوال موجاتها

نوع الأشعة	طول الموجة، ميلي ميكرون
أشعة ألفا وβ	أقل من 0.001
أشعة غاما	0.01 - 0.001
أشعة اكس	10 - 0.01
الأشعة فوق البنفسجية	390 - 10
الأشعة البنفسجية	440 - 390
الأشعة الزرقاء	490 - 440
الأشعة الخضراء	565 - 490
الأشعة الصفراء	595 - 565
الأشعة الارجوانية	620 - 595
الأشعة الحمراء	760 - 620
الأشعة تحت الحمراء	5000 - 760
أشعة الراديو	عشرات الأمتار

الأهميّة البيئيّة والحيويّة لبعض الأشعة

• الأشعّة فوق البنفسجيّة: تمتاز بطاقتها العالية غير أن وجود الأوزون في الجو يقلل كثيراً من شدتها على سطح الأرض (7-10%) وإن كانت تساهم في نقل نحو 7% من الطاقة، وهي ضارة للإنسان والبيئة عندما تزيد على نسبة معينة، وبالمقابل تعمل هذه الأشعة بشدتها الضعيفة على قتل الجراثيم والفيروسات المؤذية للأحياء، وهي تزيد من تشكل المواد الأنتوسيانية والعفصية في النباتات، وتحدُّ من عمل هرمونات النمو فتسبب القصر والتقزم أحياناً، وتساهم كذلك ولو جزئياً بظاهرة الانتحاء الضوئي، وتساعد في الكثير من التفاعلات الكيميائية الضوئية في مستوى الغلاف الجوي، مثل: تكون الأوزون والضبخان والأمطار الحمضية؛ وهي المسؤلة عن ما يُعرف بضربات الشمس لأنها تعمل على تشرد مكونات الخلية وتوقف عملها.

*. الأشعة تحت الحمراء: مسؤولة عن العامل الحراري, فهي تنقل نحو 47% من الطاقة التي تزداد بازدياد أطوال موجاتها، وهي تحت حمراء قريبة (760-3000 ميلي ميكرون) وتحت حمراء بعيدة (3000-5000 ميلي ميكرون)، وهذه الأخيرة بمعظمها أشعة منعكسة.

*. الأشعة المرئية: ترافق ظاهرة الضوء وتتألف من عدة أنواع هي: البنفسجية والزرقاء والخضراء والصفراء والأرجوانية والحمراء، وتنقل نحو 46% من الطاقة وهي الطاقة اللازمة لإنجاز كثير من العمليات الحيوية الكيميائية، مثل:

أ. التركيب الضوئي: يكون التركيب الضوئي مستحيلاً بغياب الأشعة التي يمتصها اليخضور، ولاسيما الأشعة الحمراء ثم الأشعة الزرقاء، أما الأشعة الخضراء فهي غير فعالة إلا عندما يكون اليخضور مشتركاً مع أصبغة إضافية كاليحمور Phycoerythrine، يزروق Phycocyanine، يصفور Phycoxanthine القادرة على اقتناص طاقة الأشعة الخضراء ونقلها إلى اليخضور ليقوم بعملية التركيب الضوئي، كما في بعض الطحالب الحمراء Rhodophycees.

ب. الانجذاب الضوئي: Phototropisme أي انجذاب النباتات للضوء حيث تتم هذه الظاهرة بتأثير الأشعة الزرقاء والبنفسجية بالدرجة الأولى ثم الأشعة الزرقاء والخضراء، وتبين أيضاً أن لذلك علاقة مع طيف الامتصاص للكاروتين β.

ج. التضاد الإشعاعي Antagonisme: من الظواهر الرئيسة الناتجة عن تداخل تأثير أكثر من نوع من الأشعة، كالذي بين الأشعة الحمراء الفاتحة (640–670 ميلي ميكرون) والأشعة الحمراء القاتمة (730 ميلي ميكرون) في مسار العديد من العمليات الحيوية كالإنتاش والنمو وتركيب

الأصبغة والإزهار, إذ تسلك الأشعة الحمراء الفاتحة سلوك المحرض، وتؤدي الأشعة الحمراء القاتمة دور المثبط ولهذا علاقة وثيقة بصبغة الفيتو كروم Phytochrome.

تأثير الضوء في الكائنات الحية

من المعروف جيداً أهمية وضرورة تعريض الأطفال للضوء الشمسي في بداية نموهم من أجل تشكل فيتامين D. كما أن الضوء هو المسؤول عن تشكل صبغ الميلانين في خلايا البشرة، وهو المسؤل عن ما يُعرف عند الإنسان بضربات الشمس وتحديداً الـ UV والضوء هو المحفز الرئيس للسبات الليلي.

كذلك ترتبط فترات تكاثر العديد من النباتات والحيوانات بتغيرات طول النهار أو ما يُعرف بالنوبة الضوئية Photoperiod، فعند العديد من الحيوانات يحفز الضوء تشكل هرمون النشاط الجنسي (ميلاتونين)، أما عند النباتات فالضوء يحفز تشكل الأزهار، هو المسؤول عن ظاهرة الإنتحاء الضوئي، وعن ظهور البراعم في الربيع وسقوط الأوراق في الخريف واستطالات الأغصان وتوزعها على الساق واستعادة النشاط والدخول في مرحلة السبات الليلي والفصلي عند الكائنات عبر التحكم بمنظومة الهرمونات.

تمتلك بعض الحيوانات أعضاء حسية ضوئية تساعدها في الانتقال كهجرة الطيور نحو الشمال (متى ؟) ونحو الجنوب (متى ؟). كما تتأثر أعضاء الرؤية سلباً عند غياب الضوء فالحيوانات التي تعيش في الظلام تكون عمياء أو ضعيفة البصر.

تأثير الضوء في النبات

يؤثر الضوء في النباتات من خلال الشدة الضوئية ومدة الإضاءة اليومية وتركيب الطيف الضوئي، وذلك من خلال التأثير المباشر وغير المباشر في جميع العمليات التي يقوم بها النبات.

1) تأثير الضوء في الإنتاش Germination

يؤثر الضوء في إنتاش بذور العديد من الأنواع النباتية ولاسيما غير المستعملة في الزراعة، وتبين بالتجربة أن الضوء ينشّط إنتاش بذور 67% من الأنواع، بينما ينشط الظلام إنتاش بذور 28% من الأنواع ولا يتأثر إنتاش بذور 5% من الأنواع بوجود الضوء أو غيابه، الأمر الذي يسمح بتوزيع النباتات في ثلاث مجموعات:

- نباتات بذورها ذات سبات ضوئي الكسر Dormance Photolabile: لا تنتش بذور النباتات إلا إذا تعرضت للضوء، فهو عامل منشط للإنتاش مثل: التبغ *Nicotiana tabacum*، البيتولا *Betula*، الدبق الأبيض *Viscum album*.

- نباتات بذورها ذات سبات ظلامي الكسر Dormance scotolabile: يتنشط إنتاش بذور النباتات بالظلام أو لا يتم إلا بالظلام، ويكون الضوء عاملاً مثبطاً مثل: داتورة *Datura stramonius*، حنظل *Citrallus colocyanthis* بصل *Allium cepa*

- نباتات بذورها ذات سبات حيادي اتجاه الضوء أي لا يتأثر إنتاش بذور النباتات بالضوء أو بالظلام، مثل بعض أنواع الفصيلة الفولية Fabaceae والكلئية Poaceae .

2) تأثير الضوء في التشكّل النسيجي والمورفولوجي والكيميائي:

يؤثر الضوء في تشكل جميع البنى والنسـج والأعضـاء، وتعد الأوراق أكثر الأعضاء النباتية استجابة لتبدلات الشدة الضوئية، ويؤدي نمو أفراد النوع نفسه، في شروط ضوئية مختلفة، إلى حدوث تبدلات تشريحية ومورفولوجية واضحة جداً، كما يختلف تركيز الكثير من المركبات الكيميائية الضوئية التشكل؛ نتائج النمو في الظل:

+ تكون الأوراق خضراء قاتمة، عريضة ورقيقة وتتوضع على الساق بشكل متناوب.
+ البشرة طبقة واحدة من الخلايا الكبيرة الحجم المسطحة الشكل الرقيقة الجدر.
+ المسام قليلة العدد كبيرة الحجم غير محمية، وتوجد على وجهي الورقة.
+ القشيرة رقيقة أو رقيقة جداً ونادراً ما تتشكل الأوبار.
+ البرنشيم غير متمايز بوضوح إلى يخضوري وفراغي وإنما يجمع بين الاثنين.
+ الصانعات الخضراء كبيرة الحجم قليلة العدد داكنة اللون (اليخضور a>b) وتتوضع في أنحاء الخلية في مستوٍ أفقي واحد تقريباً.
+ الأوعية الناقلة (ولاسيما اللحائية والخشبية) قليلة العدد والعناصر، والأوعية الخشبية ضعيفة التخشب، وشبكة أضلاع الورقة قصيرة نسبياً وقليلة التفرع والكثافة، والنسج الاستنادية قليلة الكثافة والعناصر.
+ الساق رفيعة، طويلة السلاميات، غضة، منحنية قليلاً أو زاحفة، ويكون التفرع الجانبي قليلاً ولا يبدأ من سطح الأرض، وتشكل الأسطوانة المركزية حجماً صغيراً قياساً بالقشرة، مما يدل على سيطرة النمو الطولي.
+ الجملة الجذرية محدودة النمو طولاً وتفرعاً وقليلة الأوبار الماصة.

أما التنامي في الضوء الشديد:

- الأوراق خضراء شاحبة، ضيقة وثخينة، تتوضع على الساق مظللة بعضها البعض.
- البشرة طبقة واحدة أو عدة طبقات، خلاياها صغيرة الحجم وثخينة الجدر الخارجية، كثيرة الترسبات السليلوزية وخالية من الصانعات الخضراء.
- المسام كثيرة العدد، صغيرة الحجم، وفي معظم الأحيان تكون محمية بالأوبار أو موجودة في نقرات سمية أو على الوجه السفلي فقط.
- القُشيرة ثخينة قليلاً أو كثيراً ومن طبيعة شمعية لامعة.
- تكثر الأوبار التي تغطي سطح الأعضاء النباتية وقد يزيد طولها على ثخانة الورقة.
- البرنشيم متمايز بوضوح إلى يخضوري وفراغي، ويتحول اليخضوري بتأثير الضوء الشديد إلى نسيج حباكي على الوجه العلوي ويتشكل على الوجه السفلي عند تعرض الأخير للضوء الشديد، كما في *Eucalyptus*.
- البرنشيم البيني واضح بخلاياه المتراصة التي تحصر بينها فراغات صغيرة ويكون خالياً من الصانعات الخضراء التي تكون في البرنشيم اليخضوري, كثيرة العدد وصغيرة الحجم، فاتحة اللون تتوضع بشكل مواز للأشعة الضوئية الوارد
- الأوعية الناقلة كثيرة العدد وكبيرة الحجم والعناصر.
- النسج الداعمة (كولنشيم وسكليرنشيم) كثيفة.
- شبكة أضلاع الورقة طويلة وشديدة التفرع والكثافة.
- الساق ثخينة وقصيرة السلاميات، قاسية ومستقيمة، كثيرة التفرعات.
- يزداد النمو العرضي وتكون الأسطوانة المركزية كبيرة الحجم مقارنة بالقشرة.
- الجملة الجذرية نامية بشكل جيد من حيث الطول والتفرع وعدد الأوبار الماصة.

وهكذا، عندما تتعرّض النباتات الأليفة الضوء لظل شديد فإن نموها يكون واهناً وضعيفاً وتقل فيهاالنسج الدعامية كما يقل تفرعها ويظهر النبات بلون أصفر أو أبيض لعدم تشكل اليخضور, ويطلق على هذه الحالة اسم الشحوب الظلامي Etiolement، ويزيد التعرض للضوء دوماً من تشكل المركبات ذات التركيب الكيميائي الضوئي كالخشب والسليلوز وأشباه السليلوز والمواد الراتنجية والزيوت الأساسية ومعظم المواد السكرية، وكذلك تزداد كمية العفص والأنتوسيانات

(الجدول 5)، ويتّصف الضوء بدور كبير في تشكل الأزهار والثمار والبذور، لذلك فالنباتات عالية التيجان وعريضتها تحصل على أكبر كمية من الضوء وتكون أكثر إنتاجاً.

الجدول 5 اختلاف تركيز العفص والأنتوسيانات بحسب شدة الاضاءة، عن نادر (1990)

النبات	العفص ملغ/غ		الأنتوسيانات ملغ/غ	
	في الظل	في الضوء	في الظل	في الضوء
Quercus suber	50	70	2.37	2.72
Smilax aspera	9	15	3.23	5.08
Cistus albidus	47	70	7.60	9.98
Pistacia lentiscus	22	32	9.04	10.29
Osyris alba	30	60	3.30	4.73

3) تأثير الضوء في التركيب الضوئي والنمو

يتطلب تنامي النباتات توافر مواد ومركبات معظمها (باستثناء النسغ الناقص) من نتائج عملية التركيب الضوئي، لذلك من المفترض أن يزداد معدل النمو في الشروط المناسبة بازدياد عملية التركيب الضوئي.

إن جوهر عملية التركيب الضوئي هو تثبيت غاز ثنائي أكسيد الكربون بفعل النباتات الخضراء مستفيدة من طاقة الإشعاعات الضوئية التي تمتصها الصانعات الخضراء، وتتحول الطاقة الضوئية بذلك إلى طاقة كيميائية تساعد على تشرد الماء واتحاده بغاز الكربون، ويعتمد نجاح هذه العملية وسرعتها واستمراريتها ومردودها على العوامل الآتية:

- الشدة الضوئية: العامل الأول للتأثير في سرعة تثبيت CO_2، لذلك فحدَّاها الأدنى والأعلى اللذان يقابلهما تركيب ضوئي، يختلفان من نبات لآخر حتى ضمن النوع الواحد، ويمكن القول عامّة: إنّ التركيب الضوئي يزداد بازدياد الشدة الضوئية إلى حد معين لا تترافق بعده أية زيادة في الشدة الضوئية مع زيادة في شدة التركيب الضوئي بل إذا استمرت زيادة الشدة الضوئية تتراجع شدة التركيب الضوئي لماذا ؟؟

- نوع النبات وطبيعته: يحددان سرعة استجابة الأوراق للضوء وبالتالي قدرتها على القيام بالتركيب الضوئي، وتبيّن أنَّ معدل امتصاص CO_2 من أجل شدة ضوئية واحدة قدرها 400 واط/م^2 يكون مختلفاً وفقاً لنوع النبات وطبيعته (الجدول 6).

- نمط تثبيت CO_2 ونتائجه: يؤثر في شدة التركيب الضوئي واستمراريته وحصيلته فهناك ثلاثة أنماط رئيسة من النباتات مقسمة بحسب آلية تثبيت CO_2 وبالتالي تركيب المواد السكرية:

* مجموعة النباتات ذات التركيب الضوئي المسمّى C3 وينتج عن عملية ضمّ ثنائي أكسيد الكربون CO_2, ومركبات ثلاثية الذرات من الكربون، وهو النمط الذي تلخصه حلقة كالفن Calvin، ويمثل الآلية السائدة عند أغلب النباتات.

جدول 6: تغير معدل امتصاص CO_2 من قبل لأوراق حسب نوع وطبيعة النبات, مقدراً بـ غ/ ثا/ كغ مادة ورقية جافة.

النوع النباتي	معدل امتصاص CO_2
أوراق *Quercus ilex* واقعة في الظل	0.5
أوراق *Quercus ilex* واقعة في الضوء	1.5
أوراق *Salicornia*	2
أوراق *Tripholium*	8
أوراق *Avena*	11
أوراق *Helianthus*	15

* مجموعة النباتات ذات التركيب الضوئي المسمى C4: ينتج عن عملية ضمّ CO_2 حموض عضوية ثنائية الكربوكسيل (أوكسالواسيتيك وحمض الماليك) التي تحوي أربع ذرات من الكربون، ويوجد هذا النمط من التركيب الضوئي في بعض أحاديات الفلقة كالذرة الصفراء *Zea mays* وقصب السكر *Saccharum officinarum*، ومن ثنائيات الفلقة بعض أنواع فصيلة *Chenopodiacees* ولا سيما الجنسان *Amaranthus* و *Portulacae*.

* مجموعة النباتات ذات التركيب الضوئي المسمى GAM أو Grassulaceen Acide Metabolisme: يختلف هذا النمط من التركيب الضوئي عن غيره بأن تثبيت CO_2 يتم ليلاً على شكل حموض عضوية ذات أربع ذرات من الكربون، يليه في النهار نزع زمر الكربوكسيل – COOH من هذه الحموض وتثبيت CO_2 الناتج وفق النمط C3. تمتاز المسام في هذه النباتات بكونها مغلقة نهاراً (عدم دخول CO_2) ومفتوحة ليلاً وهذه صفة تكيفيّة عند هذا النمط من النباتات للحد من فقدان الماء عن طريق النتح، لذلك فأغلبها من أليفات الجفاف Xerophiles ولاسيما العصاريّة Succulente التي تنتمي إلى فصائل مختلفة مثل: *Cactacees*، *Crassulacees*، *Bromeliacees*، *Liliacees*.

وهكذا فالأنواع النباتية التي تستعمل النمط C4 لا تبدي أي مجال للإشباع من أجل الشدّات الضوئية القوية، وهذا مختلف عن بقية النباتات حيث يظهر التباين واضحاً جداً بين أليفات الضوء وأليفات الظل.

- موقع الورقة: يختلف تأثير الضوء في التركيب الضوئي في النبات الواحد بين ورقة وأخرى، فالأوراق النامية في الظل تملك قدرة أكبر لاستعمال الضوء بشدّات ضعيفة أكثر من تلك النامية في الضوء، لذلك فنقطة التعويض الضوئي Point de recompensation (هي الشدة الضوئية التي يتساوى عندها التنفس والتركيب الضوئي من حيث استعمال CO_2) عند أوراق الظل تحصل عند شدات ضوئية أقل بكثير مما هي عليه في أوراق الضوء.

تعود قدرة الأوراق الواقعة في الظل والنباتات أليفة الظل، على استعمال الضوء بشداته الضعيفة في التركيب الضوئي، لوجود كميات أكبر من اليخضور في أوراق هذه النباتات مقارنة بأوراق النباتات أليفة الضوء، ويعتقد أن هذه الظاهرة تمثل نوعاً من التكيف لزيادة كمية الضوء الممتص أكثر منه لزيادة معدل التركيب الضوئي (Lubimenko 1963).

- التغيرات الفصلية: يؤثر الفصل في شدة الإضاءة ومدتها، وهذا بدوره يؤثر على التركيب الضوئي وبشكل مختلف من فصل إلى آخر.

بينت الدراسات أن الحصيلة الفصلية لعملية التركيب الضوئي لغابة من السنديان الأخضر *Quercus ilex* مقدرة بكمية CO_2 المثبتة مقدرة بـ كغ/م^2، تكون 0.4+ في فصل الخريف، و 0.3+ في الشتاء، و 1+ في الربيع، و- 0.2 في الصيف (القيمة السالبة بسبب زيادة شدّة التنفّس لمقاومة الحرارة).

في الأوساط المائية: إضافة إلى جميع العوامل التي تبدل شدة الضوء وتركيبه في الأوساط المائية، فإن شدة التركيب الضوئي عند الطحالب Algues والعوالق Plancton، مقارنة بالشدة الضوئية، تبلغ حداً أقصى على عمق معين، يليه انخفاض في شدة التركيب الضوئي حتى بالنسبة للشدات الضوئية المرتفعة، أي أن ذروة التركيب الضوئي عند الطحالب لا تقع عند مستوى سطح الماء حيث تكون الشدة الضوئية على أشدها وإنما تقع على عمق معين ومتبدل بحسب النبات وكثافة الأشعة وشفافية الماء.

4) تأثيرالضوء في الإزهار ومـفهوم النوبة الضوئية

يؤثر الضوء على الإزهار من خلال الشدة الضوئية ومدة الإضاءة اليومية:

أ- تأثير الشدة الضوئية: تبين عند تغطية بعض *نباتات Lamium galeobdolon* بشباك ذات فتحات ضيقة نسبياً تحد من الشدة الضوئية، أن عملية الإزهار تتطلب حداً أدنى من الشدة الضوئية كما في *Prenanthes purpurea* الذي ينمو جيداً تحت أشجار غابة الزان *Fagus* والتنوب *Abies*، حيث تتراوح الشدة الضوئية القصوى بين 5-10%، وأثبت الباحث Walter أن هذا النبات يستطيع النمو والعيش بشدة ضوئية أقل من ذلك تصل إلى 3% فقط ولكن دون أن يتمكن من الإزهار, مما يدل على أن هناك حداً أدنى من الشدة الضوئية يجب تحقيقه حتى يتم الإزهار وهذا الحد يختلف من نبات لآخر.

ب- تأثير مدة الإضاءة اليومية: يجب التمييز بين تأثير الشدة الضوئية على الإزهار (كمية الطاقة) وتأثير مدة الإضاءة اليومية أو النوبة الضوئية أي مدة تواتر الضوء بغض النظر عن الطاقة التي تحملها أشعته؛ وهكذا يبدو تأثير النوبة الضوئية على عملية الإزهار عند النباتات مستقلاً تماماً عن كمية الطاقة، وهذا التأثير يختلف من نبات إلى آخر لذلك تقسم النباتات إلى:

* النباتات ذات النهار الطويل Plante Hemero Periodiques (أو ذات النوبة الضوئية الطويلة): تزهر هذه النباتات حتماً أو بشكل أفضل بعد تعرضها لعدد معين من الأيام وتكون فيها مدة الإضاءة اليومية أكثر من 12 ساعة وتضم المجموعتين:

- النباتات إجبارية النهار الطويل: لا تستطيع الإزهار إطلاقاً إلا إذا تعرضت لعدد من الأيام تكون فيها النوبة الضوئية طويلة ومن أمثلتها: النباتات الحولية والثنائية الحول مثل السبانخ والشوندر والكرفس والفجل والجزر والكستناء.

- النباتات مفضلة النهار الطويل التي تستطيع الإزهار في النوبات الضوئية القصيرة ولكن إزهارها الأعظمي يتحقق عند تعرضها لنوبات ضوئية طويلة مثل الأصناف الربيعية للقمح *Triticum* والشيلم *Secale*.

* النباتات ذات النهار القصير Plantes Nyctiperiodiques أو النباتات ذات النوبة الضوئية القصيرة, وهي لا تملك القدرة على الإزهار أو تكون عملية الإزهار ضعيفة إلا إذا تعرضت لعدد من الأيام تكون فيها النوبة الضوئية أقل من 12 ساعة وهنا أيضاً يمكن تمييز:

- النباتات إجبارية النهار القصير التي لا تستطيع الإزهار إطلاقاً إلا إذا تعرضت لعدد من الأيام تكون فيها النوبة الضوئية أقل من 12 ساعة/اليوم مثل قصب السكر *Saccharum officinarum*، والقنب *Cannabis sativa* وحشيشة الدينار *Humulu lupulus*، والقلقاس *Helianthus tuberosus*.

- النباتات مفضلة النهار القصير التي تزهر في نوبات ضوئية طويلة لكن إزهارها يكون أعظمياً في النوبات الضوئية القصيرة مثل: الصويا*Soja hispida*، والأضاليا *Dahlia*, والأقحوان *Chrysanthemum*.

* النباتات المحايدة Plantes Photo aperiodiques التي لا يتأثر إزهارها بالنوبة الضوئية, لأن تشكل الأزهار عندها غير متأثر بطول أو قصر النهار فيمكنها الإزهار في جميع النوبات الضوئية وفي جميع الفصول شرط توفر العوامل الأخرى المناسبة. تضم هذه النباتات أنواعاً تزهر في أوقات مختلفة من السنة وقد يتكرر الإزهار عدة مرات في العام مثل: *Stellaria media* و*Euphorbia peplus*، وتضم أنواعاً تزهر في الظلام كالفول السوداني *Arachis hipogea*، والنرجس والبطاطا *Solanum tuberisum*.

تؤثر النوبة الضوئية، إضافة إلى تأثيرها في الإزهار عند النباتات في ظهور البراعم في فصل الربيع، وسقوط الأوراق في فصل الخريف، واستطالات الأغصان وتوزعها على الساق، واستعادة النشاط والدخول في مرحلة السبات.

5) تأثير الضوء في التوزع الجغرافي للنباتات

يرتبط التوزع الجغرافي الأفقي والشاقولي للنباتات بمتطلباتها من الضوء، ووفقاً للشدة الضوئية الضرورية لنمو النباتات يمكن تقسيم هذه الأخيرة إلى ثلاثة أنماط:

أ- نباتات أليفة الضوء Heliophles (نباتات الضوء Heliophyte): تنتشر في الأوساط المفتوحة قليلة الكثافة حيث تكون الشدة الضوئية مرتفعة وتضم النباتات الضوئية المجبرة التي لاتعيش إلا في الضوء الشديد، والنباتات الضوئية المخيرة التي تبدي نشاطاً فيزيولوجياً أقصى عند الشدة الضوئية القصوى ولكنها تستطيع العيش في شدات ضوئية أقل من ذلك تصل إلى 40%، مثل: نباتات الصخور، ونباتات البراري، ونباتات الأنقاض، والكثير من النباتات التي تستوطن الأماكن المتكشفة حديثاً (بعد الحريق أو القطع) مثل الحماض *Epilobium angutifolium*, *Rumex* الذي ينمو بشدة بعد قطع الغابات، والعديد من أنواع الصنوبر *Pinus*، والبتولا *Betula* وأنواع *Eucalyptus*، والسنط *Acacia*، و*Rosmarinus* و*Helianthus*، وأغلب النباتات الزراعية.

ب- نباتات أليفة الظل Sciaphiles (نباتات الظل Sciaphytes): تصادف في الأماكن التي تكون فيها الشدة الضوئية منخفضة نسبياً 10–30% ودون ذلك أحياناً، لا يمثّل الضوء الشديد عاملاً ضرورياً أو مناسباً للتنامي ويعيش معظمها تحت غطاء نباتي كثيف نسبياً أو في الطوابق السفلية للغابات مثل: *Oxalis acetosella*، *Anemone nemorose*، *Asperula odorata*، وتضم أليفات الظل المجبرة التي لا يمكنها العيش دون غطاء نباتي كثيف مثل *Prenanthes purpure*، والكثير من الحزازيات والسراخس.

ج- نباتات معتدلة من حيث علاقتها بالضوء: تنتشر في الأماكن التي تمتاز بشدات ضوئية متوسطة (30 - 50%) وهي تحتل المكان الأوسط بين المجموعتين السابقتين، وتضم الأنواع النباتية المفضلة للظل الخفيف أو غير المعرضة للضوء المباشر كنبات أطراف الغابات وتلك النامية على أسفل الصخور وعلى السفوح الشمالية في سورية. يعدّ المناخ الضوئي الدقيق مسؤولاً عن ظاهرة التطبق الشاقولي Stratification verticale للنباتات على سطح الأرض وفي الأوساط المائية.

يؤثر الضوء في التطبق الشاقولي للنباتات والذي يتجلى بأوضح صوره في الغابات الكثيفة، حيث يمكن تحديد الطبقات التالية: طبقة الأشجار العالية ارتفاعها أكثر من 20 م، وطبقة الأشجار المنخفضة ارتفاعها بين 10-20م، وطبقة الشجيرات Arbustes من 2-10م، وطبقة الجُنيبات بين 50 سم و 2م، وطبقة الأعشاب، وطبقة خفيات الإلقاح كالحزازيات والأشن Lichens والفطريات.

** في الأوساط المائية: يؤدي انخفاض الشدة الضوئية وتبدل تركيب الطيف الضوئي للأشعة الشمسية، عند اختراقها لطبقات الوسط المائي، إلى انخفاض معدل التركيب الضوئي، ويتناسب ذلك طرداً مع العمق، وتصبح حصيلة التركيب الضوئي معدومة. يحدد العمق الذي تصل إليه النباتات الخضراء، الحد السفلي للمنطقة المضاءة ويتغير هذا الحد وفقاً لطبيعة الوسط المائي وشفافيته.

5-. علاقة النباتات بالضوء

إن علاقة النباتات بالضوء معقدة وعديدة الأوجه، فهي تبدأ منذ مرحلة الإنتاش لا بل قبلها عند بعض النباتات، ولا تنتهي إلا بموت النبات، غير أن هذه العلاقة ليست متماثلة في الزمان والمكان والكم سواء عند الأنواع أو عند أفراد النوع الواحد، وإنما تتغير حساسية النباتات للضوء وتتبدل وفقاً لعوامل عديدة أهمها:

أ- المكان: تختلف حساسية النبات للضوء من مكان لآخر وفقاً للعوامل البيئية، وتعد الأنواع: *Lathyrus tuberosus*، *Vaccinum myrtillus*، *Hypnum triquetrum*، *Luzula silvatica* من النباتات العشبية أليفة الظل في المناطق السهلية وعلى ارتفاعات منخفضة, لكنها تسلك سلوك أليفة الضوء عندما توجد على ارتفاعات عالية حيث تصادف في الأماكن المفتوحة.

ب- الفصل: تتباين الغابات دائمة الخضرة والغابات متساقطة الأوراق، إذ تعدّ النباتات الواقعة في الطوابق السفلية من الغابات دائمة الخضرة أليفة للظل مجبرة ولو بدرجات مختلفة، في حين تكون النباتات التي تكوّن الطابق العلوي أليفة للضوء مجبرة. وتوصف النباتات التي تتزامن فترة نموّها وتطوّرها مع مرحلة تشكل وأوراق الأشجار في الغابات متساقطة الأوراق بالنباتات أليفة الظل، أما الأنواع التي تكمل دورات نموّها وتطوّرها ونشاطها ولاسيما التركيب الضوئي قبل ظهور أوراق الأشجار أو في فترة غيابها فهي أليفة للضوء مثل *Vironica verna* و *Allium ursinum*.

ج- العمر: يبدو أن تأثير العمر في العلاقة بين النباتات والضوء أكثر وضوحاً عند الأشجار، إذ تزداد الحاجة للضوء مع تقدم العمر، إذ يحدث نمو البلوط ذي الأوراق اللاطئة *Quercus sessiliflora* تحت غطاء ضوئي أقل من 4% في العام الأول، ولكنه يتطلب 5% على الأقل في العام الثاني، أما الأشجار الفتية دون 10 سنوات فلا تتمكن من متابعة النمو والتطور إلا بشدات ضوئية تزيد على 10%.

د- العوامل المرافقة: تنخفض حاجة البتولا للضوء عند الإنتاش مع ارتفاع درجة الحرارة (مبدأ التعويض)، كما أن وفرة النترات في التربة تعوض عن الضوء عند إنتاش بذور *Hypericum perforatum*، *Polypogon monospliense*.

هـ- النوع: تختلف حاجة النباتات للضوء وفقاً للمرحلة الإعاشية وضمن المرحلة الواحدة، فتكون بعد بضعة أسابيع من إنتاش بذور *Salvia pratensis* و*Epilobium angustifolium*، وتصبح واضحة بعد مرور عام من الإنتاش في *Epilobium Parviflorus* و *Salvia verticillata* من الجنسين نفسهما.