

## انتاجية الهائمات Plankton Productivity

تعرف الانتاجية بصورة عامة بانها مقدار ما ينتج من مادة عضوية من قبل الاحياء المنتجة ( النباتات والطحالب) خلال وحدة زمنية معينه او وحدة مساحة او وحدة حجم.

وكما اشرنا الى ذلك سابقاً، فإن الهائمات بصورة عامة هي المصدر الاولي والرئيسي لغالبية الاحياء المائية في مراحلها اليرقية والصغيرة، كما ان بعض الاحياء المائية تستمر في تغذيتها على الهائمات طيلة فترة حياتها.

ولكون كل نظام بيئي يجب ان يتكون من ثلاث مكونات رئيسية وهي المنتج والمستهلك والمحلل، لذا فإن الهائمات عموماً هي المنتج الرئيسي والمهم لاغلب المسطحات المائية فضلاً عن الطحالب والنباتات المائية.

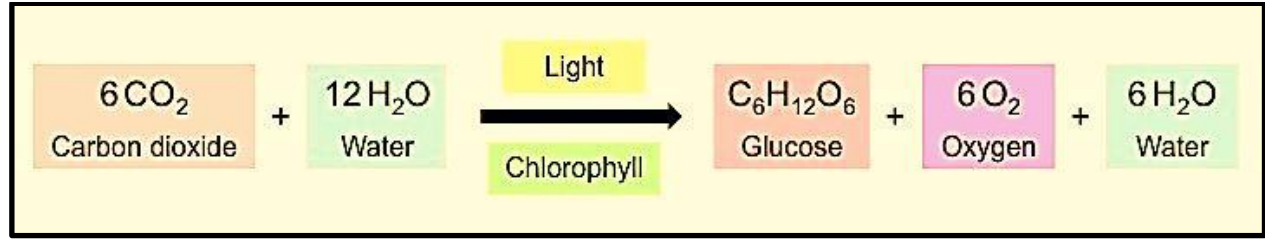
وحسب نوع التغذية في الهائمات، فإنها تقسم الى هائمات نباتية ذاتية التغذية وهائمات حيوانية معتمدة التغذية، اذ تكون الهائمات النباتية هي المنتجات الاولية بسبب قدرتها على صنع غذائها بنفسها عبر عملية البناء الضوئي، اما الهائمات الحيوانية فهي مستهلكات اولية (اكلات اعشاب) وتسمى ايضاً بالمنتجات الثانوية بسبب قدرتها على تحويل المواد الكيميائية البسيطة المنتجة من قبل الهائمات النباتية الى مواد كيميائية اكثر تعقيداً لاستخدامها في نمو وتكاثر الاحياء المائية الاخرى في المستويات الغذائية العليا.

ويتبين من هذه الحقائق ان كتلة المنتج يجب ان تزيد دائماً عن كتلة المستهلك الاولي والتي تزيد كتلتها عن المستهلك الثانوي اخذين بنظر الاعتبار ان الكتلة هي احدى الوسائل للتعبير عن الطاقة التي ينطبق عليها قانون نيوتن الثاني .

وفقاً لما سبق فإن انتاجية الهائمات تقسم الى قسمين:

### 1- الانتاجية الاولية للهائمات النباتية Primary productivity of phytoplankton

تعد الهائمات النباتية من الاحياء النتجة المهمه في البيئة المائية، بل انها تكون المنتج الاولي الرئيسي و الوحيد في بعض البيئات المائية خصوصاً في المياه البحرية المفتوحة. وتأتي اهمية الهائمات النباتية كمنتجات اولية من خلال قدرتها على صنع المواد العضوية المهمه لنموها ونمو اللاحياء من مواد اولية غير عضوية وباستخدام ضوء الشمس ضمن عملية البناء الضوئي التي تجري بواسطة صبغة البناء الضوئي الرئيسية وهي الكلوروفيل، وبذلك فإن الهائمات النباتية ستوفر الطاقة المهمه لانجاز فعاليتها الحيوية المختلفة فضلاً عن توفيرها الطاقة للاحياء الاخرى المتغذية عليها، ولذلك فإن الهائمات النباتية هي الحلقة الاولى في السلاسل الغذائية المائية وقاعدة الهرم الغذائي ولولاها لما بدأت السلسلة الغذائية واستمرت لبقية مستويات التغذية بين الاحياء المختلفة.



وهذه هي معادلة البناء الضوئي والتي هي المنبع الرئيسي المهم للحياة أذ انها تمثل العملية والقدرة الانتاجية الاساسية لجميع النظم البيئية المحتوية على النباتات الخضر والطحالب والهائمات النباتية كما هي الوسيلة التي بواسطتها تتحول الطاقة الضوئية الى الطاقة الكيماوية للمركبات المختلفة، وبعبارة اخرى تتحول فيها العناصر الكيمايائية غير العضوية مثل الكربون والاكسجين والهيدروجين بمساعدة الطاقة الضوئية الى مركبات عضوية بسيطة ومعقدة تساهم في نمو كل الاحياء في النظام البيئي.

وتعرف الانتاجية الاولية للهائمات النباتية بانها مقدار تمثيل طاقة ضوء الشمس بواسطة الهائمات النباتية خلال عملية البناء الضوئي في وحدة زمنية معينة (او وحدة مساحة او وحدة حجم).

وبجملة اخرى (( المعدل الذي يتم فيه خزن الطاقة في الهائمات النباتية على شكل مواد عضوية بواسطة عملية البناء الضوئي)).

وبصورة عامة، فإن الانتاجية الاولية الانتاجية الاولية (P.P.) Primary Productivity تكون على شكلين:

أ- **الانتاجية الاولية الاجمالية او الكلية (G.P.P.) Gross Primary Productivity** ويقصد بها كل المادة العضوية المنتجة بواسطة عملية البناء الضوئي (او انها الطاقة المخزونة مضافا اليها المستهلك خلال عملية التنفس).

ب- **الانتاجية الاولية الصافية (N.P.P.) Net Primary Productivity** ويقصد بها كل المادة العضوية المنتجة مطروحاً منها المستهلك خلال عملية التنفس (او انها الطاقة المخزونة فقط).

ولكي يتحقق النمو للهائمات النباتية بصورة صحيحة يجب ان تكون الطاقة المنتجة خلال عملية البناء الضوئي (الانتاجية الاولية) اعلى او اكبر من الطاقة المستهلكة خلال عملية التنفس (العمليات الفسلجية والحركة والتكاثر) ، وهذا يتطلب ملاحظة العوامل المؤثرة على عملية الانتاج وكيفية التعامل معها من قبل الهائمات النباتية، ويجب عليها في كل الاحوال ان تبذل جهداً للبقاء بمستوى اعلى من النقطة الحرجة **Compensation point** او **Critical point** والتي يتساوى كلا الإنتاجيتين الإجمالية والصافية ولا يوجد مخزون للطاقة بل كلها تستهلك، وفي هذه النقطة لا تحصل عمليات نمو او تكاثر للهائمات النباتية بل إنتاجية من اجل البقاء على قيد الحياة فقط.

## العوامل المؤثرة على الانتاجية الاولى للهائمات النباتية

### أولاً:العوامل البيئية:

#### 1-الضوء:

يعد الضوء من اهم العوامل البيئية المرتبطة بالانتاجية الاولى بسبب ارتباطه الوثيق مع عملية البناء الضوئي. إذ ان وجود الهائمات النباتية في الموقع الملائم والجيد لأستلام اكبر كمية مفيدة من الضوء سيساهم في افضل انتاجية لها – مع فرض ثبوت العوامل الاخرى – ولكن هذا يحتاج لان تحافظ الهائمات النباتية على موقعها الجيد وتكافح ضد الامواج والتيارات المائية، فصعودها الى الاعلى سيجعلها عرضة لاشعاع شديد من الاضاءة يؤدي الى التأثير السلبي على الكلوروفيل وقد يسبب تحطمة بفعل الاكسده الضوئية، ومن جهه اخرى، فإن غرق الهائمات او غطسها الى اعماق اكبر سيؤدي لاسلامها كميات ضئيلة من الاضاءة ربما تكون كافية للبقاء على قيد الحياة فقط عند عمق التعويض، وهو النقطة الحرجة لحياة الهائمات النباتية والتي ستموت ان نزلت الى عمق اكثر منه.

كما لشدة الإضاءة في البيئة ومدة التعرض للضوء تأثير على عملية البناء الضوئي ومعدل حدوثها فعندما تكون شدة الإضاءة منخفضة فإن سرعة عملية البناء الضوئي تتناسب طردياً معها حيث يزداد معدل البناء الضوئي مع ارتفاع شدة الضوء .و لكن إذا زادت شدة الإضاءة بدرجة كبيرة ، واستمر التعرض للضوء العادي مدة طويلة ، فإن ذلك يؤدي إلى انخفاض نشاط البناء الضوئي .

#### 2- تركيز ثنائي أوكسيد الكربون:

زيادة تركيز ثنائي أوكسيد الكربون يؤدي إلى زيادة سرعة عملية البناء الضوئي وإذا زاد تركيز هذا الغاز في البيئة المائية بدرجة عالية انخفضت سرعة عملية البناء الضوئي ويعزى ذلك لأثرها السام على الهائمات النباتية وكذلك لتأثيره على الاس الهيدروجيني للماء مما يسبب بتغيره وتأثيره على معيشة الهائمات وصور المواد المغذية التي تعتمد عليها الهائمات في نموها.

#### 3-درجة الحرارة:

كما تطرقنا لذلك سابقاً، فإن الحرارة ذات تأثيرات بيئية كبيرة على البيئة المائية، خصوصاً فعاليتها في احداث التنضيد الحراري للمياه في المناطق الاستوائية وما يتبعه من تنضيد ملحي وعلاقة عكسية مع الكثافة ولزوجة الماء مما يسبب بزيادة في غطس الهائمات النباتية بمعدل يصل الى 6 امتار في اليوم الواحد للمياه الدافئة بينما تقل هذا المعدل ليصل الى 3 امتار في اليوم الواحد للمياه الباردة. وكذلك فإن الطبقة السطحية ستعاني من عدم او قلة عملية الخلط وهذا يؤدي الى نقص كبير في مغذياتها وبالتالي تأثير ذلك على عملية الانتاج. ولذلك فان وفرة المغذيات تلعب دورا مهما في الانتاجية في المياه الدافئة، فيما لو لم تحدث ظاهرة الانبثاق التي تحمل معها المغذيات الى السطح في المناطق الساحلية، ولذلك تكون المياه القطبية الباردة اكثر انتاجية من المياه الدافئة لعدم حدوث التنضيد الحراري وتركيز مغذياتها العالية وقلة معدل الغطس للهائمات النباتية.

من جهة اخرى تتأثر الأنزيمات الخاصة بعملية البناء الضوئي بدرجات الحرارة زيادةً ونقصاناً، اذ ان ارتفاع درجة الحرارة يسرّع من حدوث عملية البناء الضوئي ولكن مع الزيادة المفرطة في درجة الحرارة سيؤدي ذلك إلى الانخفاض في معدل البناء الضوئي وبذلك تتأثر العملية .

#### 4-المغذيات:

نقص بعض العناصر يؤدي لقلّة معدل عملية البناء الضوئي لكونها عوامل مساعدة لبعض الأنزيمات الخاصة بتفاعلات الظلام أو لضرورة وجودها لإتمام عملية تفاعل الضوء مثل الكلورين والذي يؤدي نقصه إلى عدم إمكان نقل الالكترونات من الماء إلى الكلوروفيل وقد يكون نقص عنصر مؤثراً على بناء الكلوروفيل نفسه كما في حالة نقص الحديد أو النترجين أو المغنيسيوم وغيرها كما انه يدخل كمادة تفاعل أثناء تفاعلات الظلام .

وكما لاحظنا سابقاً فان للحرارة دوراً في التأثير على تركيز المغذيات ضمن طبقة المياه السطحية او العمية بسبب التضييد الحراري في المناطق الاستوائية، بينما لا يحدث ذلك في المناطق المعتدلة والباردة القطبية.

\*وبذلك تكون الاضاءة هي العامل المؤثر في المناطق القطبية، بينما تكون وفرة وتركيز المغذيات هو العامل المحدد للانتاجية للمناطق الاستوائية والمعتدلة.

#### ثانياً: العوامل الفسلجية:

##### 1- الأنزيمات:

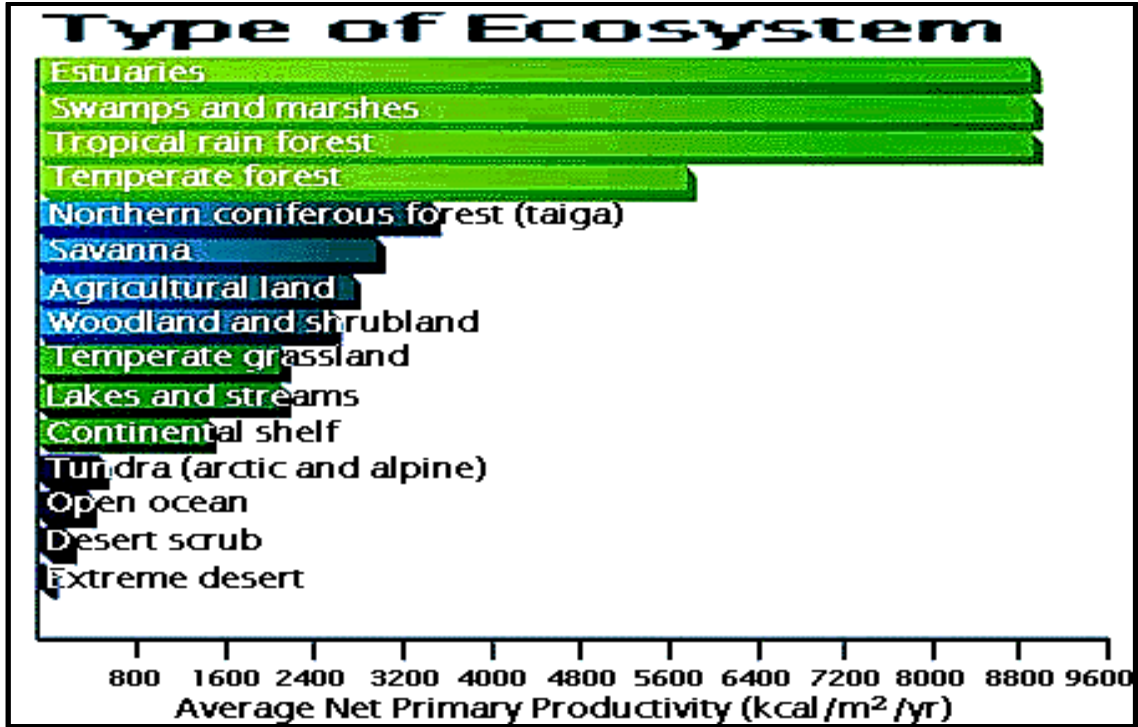
حيث تتوقف عملية البناء الضوئي على توفر الأنزيمات الخاصة بهاء وكفاءتها وحدوث أي خلل بها يؤدي إلى التأثير على معدل العملية.

##### 2-تراكم نواتج عملية البناء الضوئي:

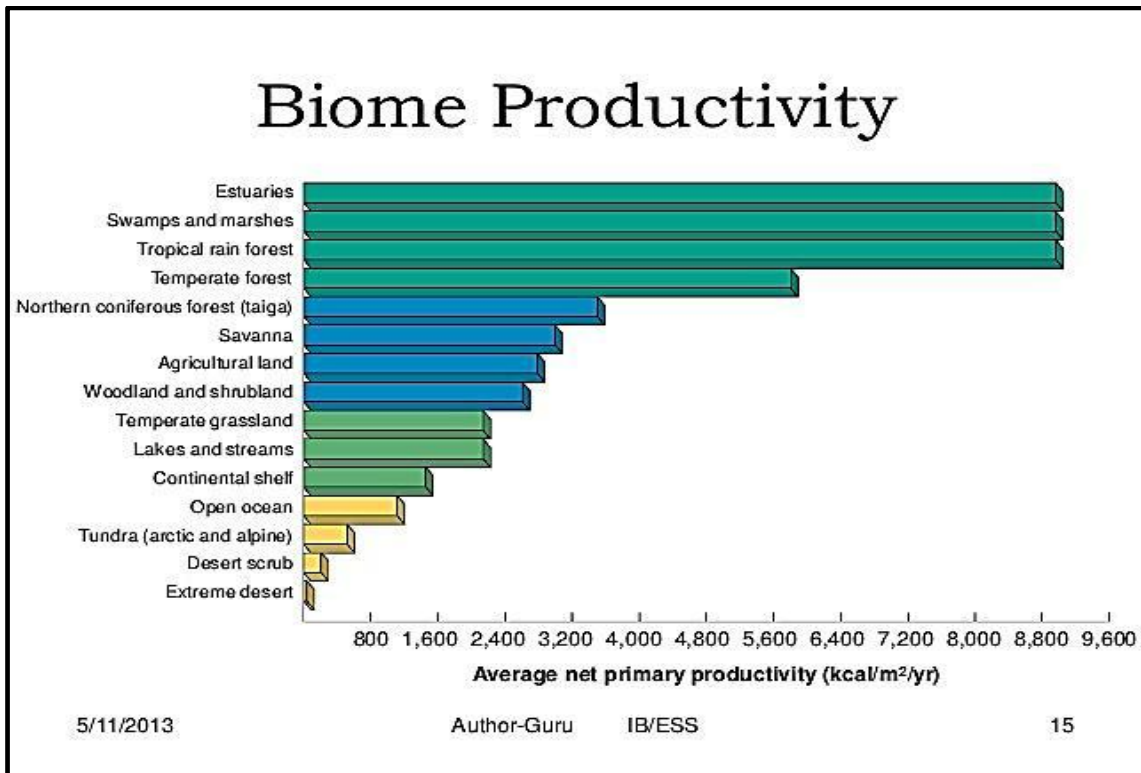
إن تراكم المنتجات الكربوهيدريتيّة الناتجة من عملية البناء الضوئي في اجسام الهائمات النباتية يؤدي إلى بطء العملية.

##### 3-اعداد وانواع ومواقع البلاستيدات:

تعد البلاستيدات مكان ومركز عملية البناء الضوئي، وبذلك في اهم عضوية بعد النواة في الهائمات النباتية، ومن البديهي بان زيادة اعدادها وكبير مساحتها السطحية سيوفر انتاجية اكبر، كما ان قربها من جدار الجسم يكون افضل لاستلام اكبر كمية ممكنة من الاضاءة لاستخدامها في عملية البناء الضوئي.



شكل 19: معدل الانتاجية الاولية الصافي لعدد من الانظمة البيئية المائية



5/11/2013

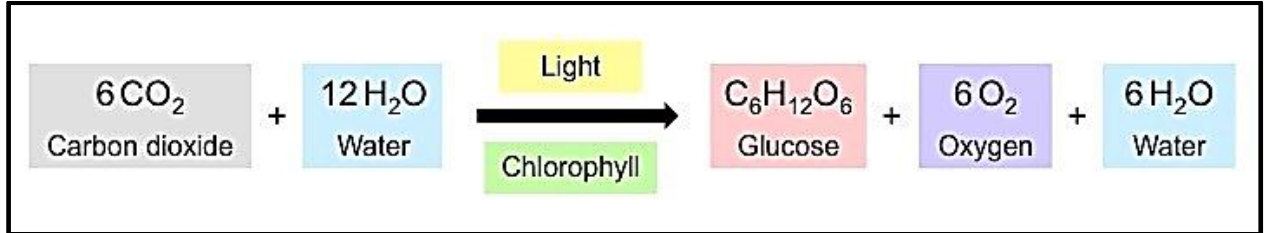
Author-Guru

IB/ESS

15

### طرق قياس الإنتاجية الأولية للهائمات النباتية

هنالك عدة طرق مختلفة لقياس الإنتاجية الأولية للهائمات النباتية تعتمد على التفاعل البايوكيميائي للتركيب الضوئي وذلك من خلال قياس التغير في تركيز الاوكسجين المتحرر او ثنائي اوكسيد الكربون المثبت او كمية الكربوهيدرات وغيرها.

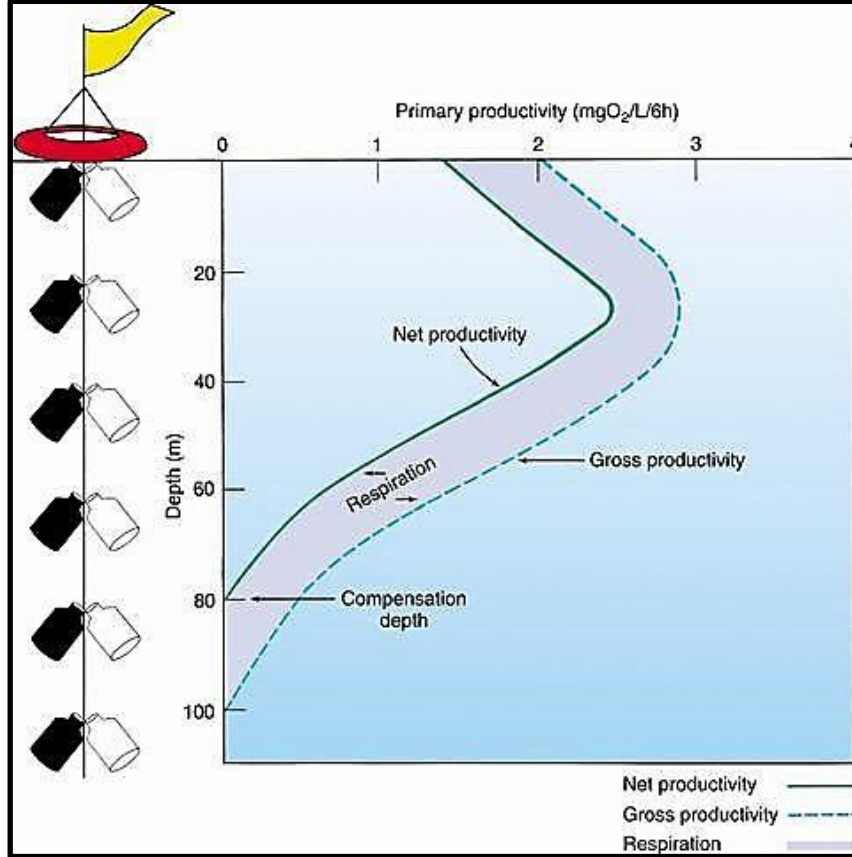


#### أ - قياس التغير في تركيز الأوكسجين المذاب

وتدعى هذه الطريقة ايضاً بطريقة القناني الشفافة والمعتمة، وتكون هذه الطريقة اكثر ملائمة للبيئات المائية الغنية بالمغذيات Eutrophic، فحسب معادلة البناء الضوئي هناك علاقة مباشرة بين كمية غاز ثنائي اوكسيد الكربون المستعمل في بناء الكربوهيدرات وبين غاز الاوكسجين المتكون كنتاج عرضي من هذه العملية، ولذلك تعتمد هذه الطريقة على قياس معدل التغير في كمية الاوكسجين خلال فترة اجراء القياس.

ويستند هذا القياس على افتراض أن كمية الأوكسجين المنتج خلال عملية البناء الضوئي تتناسب مع الإنتاج الإجمالي، لأن جزيء واحد من الأوكسجين ينتج لكل ذرة من الكربون المثبت.

وتتضمن الطريقة جزئين، العمل الحقلي والعمل المختبري وفي كلا الجزئين يتم قياس كمية الاوكسجين الذائب في مياه المسطح المائي بطريقة ونكسر، ففي العمل الحقلي- اي موقع القياس في البيئة- نقوم في البداية بقياس كمية الاوكسجين الذائب في مياه المسطح المائي ثم بعد ذلك نقوم باخذ عينات من الماء ووضعها في عدد متساوي من القناني الشفافة والمعتمة ونعلقها في داخل المسطح المائي قيد الدراسة ولفترة زمنية محددة، وبعد نهاية الفترة نقوم بقياس كمية الاوكسجين الذائب في مياه القناني الشفافة والمعتمة في الموقع او في المختبر.



القناني الشفافة سوف تسمح بمرور الضوء للداخل وبذلك سيجري فيها عملية البناء الضوئي وتنفس للهائمات النباتية، بينما ستمنع القناني المعتمة مرور الضوء فتتوقف عملية البناء الضوئي ويبقى فقط التنفس. ويتم حساب التغير في كمية كمية الاوكسجين الذائب كالتالي:

C1: تركيز الاوكسجين الابتدائي في البيئة قبل حضن القناني.

C2: تركيز الاوكسجين في القناني المعتمة Dark bottle DO بعد حضن القناني.

C3: تركيز الاوكسجين في القناني الشفافة Light bottle DO بعد حضن القناني.

الانتاج الصافي Net photosynthesis (NP) = C3 – C1

التنفس Respiratory activity (RA) = C1 – C2

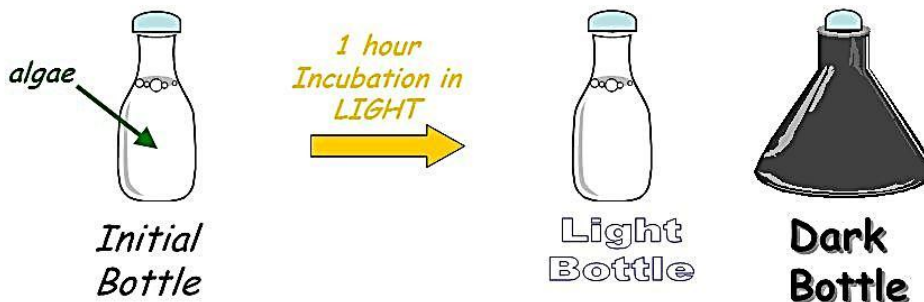
الانتاج الكلي Gross photosynthesis (GP) = NP + RA = C3 + C2

### Light-Dark Bottle Method

1. Fill all bottles with sample water.



2. Measure initial  $O_2$  , incubate samples in the light.



3. Measure final  $O_2$  in light and dark bottles.

	Initial Bottle	= 8 mg $O_2$ /L
	Light Bottle	= <b>GPP &amp; Resp</b> = 10 mg $O_2$ /L
	<b>Dark Bottle</b>	= <b>Resp</b> = 5 mg $O_2$ /L

$$(\text{Light} - \text{Initial}) = (10 - 8) = 2 \text{ mg/L/hr} = \text{GPP} - \text{R} = \text{NPP}$$

$$(\text{Initial} - \text{Dark}) = (8 - 5) = 3 \text{ mg/L/hr} = \text{Respiration, R}$$

$$(\text{Light} - \text{Dark}) = (10 - 5) = 5 \text{ mg/L/hr} = \text{NPP} + \text{Resp} = \text{GPP}$$



ولكن لهذه الطريقة عدد من المساوئ، فهي غير دقيقة في البيئات ذات التراكيز الواطئة من الاوكسجين، كما ان فترات الحضان الطويلة قد تؤدي خلايا الهائمات النباتية، كما ان احتمالية النمو البكتيري خلال فترة الحضان تؤدي الى التداخل بين تنفس الهائمات النباتية والبكتيرية ، واخيرا احتمالية الاخطاء المختبرية وخاصة خلال عملية التسحيح وتحديد نقطة النهاية.

### ب- قياس التغير في الكربون المشع $C^{14}$

وهذه الطريقة جيدة للبيئات المائية الفقيرة بالمغذيات *Oligotrophic*، ويتم فيها استخدام القناني الشفافة والمعتمة ايضا، ولكن الحضان يكون في المختبر في ظروف مشابهه للظروف البيئية في الحقل. وهي واحدة من أكثر الطرق فائدة وحساسية مفيدة لتقدير الإنتاجية الأولية في النظام البيئي المائي وخاصة في البحيرات والمحيطات. وهي تقوم على قياس امتصاص  $C^{14}O_2$ . وتشتمل الطريقة على إضافة الكربون المشع ككربونات إلى عينة الماء، اذ سوف اخذ الكربونات من قبل الهائمات النباتية خلال عملية البناء الضوئي واستيعابها في الكربوهيدرات المنتجة في الخلايا وتصبح جزءا من بروتوبلازم الهائمات النباتية. وبعد فترة الحضان يتم فصل الهائمات النباتية عن الماء وغسلها ثم يتم قياس النشاط الإشعاعي.

هذه التقنية لديها عدد من أوجه القصور. فإنها لا تميز بين تنفس العوالق النباتية والبكتيريا وكذلك امتصاص وإطلاق  $C^{14}$  من البكتيريا والعوالق الحيوانية. كما ان استخدام الاضاءة الصناعية بدلا من الاضاءة الطبيعية خلال الحضان في المختبر قد يكون غير مثالي. ومن جهة اخرى ان استخدام  $C^{14}O_2$  بدلا من  $C^{12}O_2$  يتطلب معدل تصحيح بسبب الاختلاف في معدل تمثيل كلا منهما. واخيرا ربما يتم تحرير بعض الكربون المثبت على هيئة نواتج عرضية الى خارج الخلايا، قد يكون مصدرا للخطأ، كما هي الحال عند حدوث اعاقه ضوئية للخلايا في العينة.

### ج- قياس تركيز صبغة الكلوروفيل

من المعروف بانه احد اساسيات عملية البناء الضوئي هي وجود صبغات البناء الضوئي والتي اهمها صبغة الكلوروفيل، وبذلك فكل الهائمات النباتية يجب ان تمتلك هذه الصبغة، والتي يمكن من خلالها قياس كمية الكتلة الحية للهائمات النباتية. وتستند هذه الطريقة على قياس تركيز صبغة الكلوروفيل وشدة الضوء ضمن عمود الماء. تطورت هذه التقنية من اكتشاف علم النبات الفسيولوجي أن هناك علاقة وثيقة بين تركيز الكلوروفيل والبناء الضوئي اعتماداً على شدة الضوء .

هذه الطريقة تعتمد على تحديد تركيز الكلوروفيل في العوالق النباتية في حجم معين من الماء. يتم استخراج وعزل صبغة الكلوروفيل كيميائيا من الهائمات النباتية من خلال اذابة الصبغة باستخدام مذيب الأستون ثم تقاس كمية الكلوروفيل المستخرجة بواسطة المطياف الضوئي. وكلما زادت حدة اللون كلما كان تركيز

الكلوروفيل اعلی او اكبر وبالتالي زادت او كبرت الكتلة الحيوية للعوالق النباتية.  
وبتطبيق المعادلة التالية يتم الحصول على الكتلة الحيوية للهائمات:

$$\text{Phytoplankton biomass (mg/m}^3\text{)} = \text{Chlorophyll } a * 67$$

وبذلك يمكن الربط بين أن تركيز الكلوروفيل وعملية البناء الضوئي والكتلة الحيوية للهائمات النباتية.

هذه التقنية لديها مشكلة في أن تركيز الكلوروفيل يختلف مع اختلاف أنواع الهائمات النباتية ، بل وحتى داخل خلايا نفس النوع، اعتماداً على نشاطها وموقعها ضمن عمود الماء. وكذلك فإن لوقت جمع العينات تأثير على القياس، وقد تؤدي تقنية الاستخلاص المختبرية إلى التأثير على كمية الكلوروفيل او تعمل الطرق غير المناسبة للاستخلاص التي تحطم الكلوروفيل بفعل المواد الكيماوية، وسرعة تحطم الكلوروفيل المستخلص عند تعرضه للضوء.