علم الهائمات Planktology

أ.م.د. نعيم شند حمادي

المحاضرة الثالثة

الإنتاجية Productivity

تستمد الكائنات الحية بإختلاف صورها طاقتها بصورة مباشرة أو غير مباشرة من الشمس، إذْ تستغل هذه الطاقة عن طريق صبغات الكلوروفيل الموجودة في المستوى الأول من الإنتاجية وهي النباتات والهائمات النباتية بعملية البناء الضوئي، إذْ تتحول هذه الطاقة من صورة إلى أخرى من طاقة ضوئية إلى طاقة كيميائية عن طريق تثبيت غاز ثاني أوكسيد الكاربون وبوجود الماء.

والناتج مركب عضوي على شكل سكر سداسي، ويعد هذا المركب مخزن للطاقة، مجمل هذهالعملية يطلق عليها الإنتاج الحيوي Biological productivity وبصيغة أخرى يمكن توضيح معنى الإنتاجية الحيوية بمفهومها العام على إنها الطاقة الشمسية المختزنة بوساطة عملية البناء الضوئي أو الكيميائي للكائنات الحية المنتجة على شكل مركبات عضوية يمكن إستخدامها على إنها مواد غذائية وهذا يشمل نطام بيئي أو مجتمع أحيائي معين أو جزء منهما، أما الإنتاجية الأحيائية فيمكن تعريفها بأنها كمية المادة الحية التي تنتجها الكائنات الحية وتتميز عن الإنتاجية الصناعية التي تعرف على إنها قياس ناتج القطاع الصناعي في الإقتصاد، كما يشير معدل الإنتاجية للكائنات الحية إلى دالة أخذ الطاقة من قبلها، كذلك تعرف على أنها مقدار تمثيل طاقة ضوء الشمس خلال عملية البناء الضوئي في وحدة زمنية معينة وهي الأساس لجميع المستويات الغذائية

ويمكن تقسيم الإنتاجية الحيوية الى نوعين: الإنتاجية الأولية Primary productivity

والإنتاجية الثانوية (Secondary productivity، وللإنتاجية الاولية ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى/ إجمالي صافي الإنتاجية الأولية: Gross Primary Productivity (GPP)

إن مصطلح الإنتاجية الإجمالية يشير إلى المجموع الكلي للضوء المثبت خلال عملية البناء

الضوئي ولفترة محدودة.

الإنتاجية الإجمالية= الإنتاجية الصافية + التنفس

المرحلة الثانية/ صافي الإنتاجية الأولية: Net Primary Productivity (NPP)

لمتابعة إنتقال الطاقة في أي نظام بيئي يكون من الضروري معرفة ذلك الجزء من الإنتاجية الصافية الذي أستهلك في تكوين الأنسجة الجديدة ومن ثم زيادة الكتلة الحية Biomass

الإنتاجية الصافية= الكتلة الحية + الطاقة المستهلكة بواسطة آكلات الأعشاب + الطاقة

المستهلكة خلال الموت (بعض الأجزاء أو الأفراد).

المرحلة الثالثة/ صافي إنتاجية المجتمع: Net community Productivity (NCP)

تتأثر الإنتاجية الأولية في البيئة المائية بعدة عوامل من أهمها الضوء ودرجة الحرارة، أما الإنتاجية الثانوية Secondary Productivity فتعرف بأنها معدلات خزن الطاقة على المستويات الغذائية للمستهلك. وتشير بعض التقديرات إلى إن الإنتاجية الأولية في مياه المصبات Estuaries قد تصل الى 4000 غم في المتر المربع الواحد في السنة.

كما يمكن الإستدلال وتقدير الإنتاجية للوسط المائي من خلال قياس الكلوروفيل على أساس المساحة لكامل المجتمع (الاحياء المنتجة) فمن خلال قياس صبغة الكلوروفيل-أ الموجودة في الهائمات النباتية على إختلاف أنواعها أو ما يسمى بالصبغة العامة (Universal pigment نستطيع أن نستدل على الإنتاجية الأولية وبذلك تعطي دليلاً للكتلة الحية Biomass لتلك البيئة أو الوسط المائي. إن تقدير كمية العوالق الحيوانية في جسم مائي معين له أهمية بالغة في الإستدلال على إنتاجية ذلك الوسط، ومن ثم يمكن إستخدام معدل إنتاج العوالق الحيوانية كأداة لتقدير المخزون السمكي القابل للإستغلال في منطقة ما، فزيادة فهم إنتاجية الهائمات الحيوانية ونموها يمكن أن يطبق لزيادة إنتاجية الأسماك في مزارع الأسماك والطبيعة.

عند متابعة سريان الطاقة داخل النظام البيئي يلاحظ إنها تستخدم في تحويل العناصر إلى مركبات وجزيئات معقدة وحالما تتشتت الطاقة تتحرر العناصر مرة أخرى. ونتيجة لهذه العملية تتكون مركبات عضوية مختلفة تعمل كمخزن للطاقة والعناصر داخل النظام البيئي ويسمى هذا الإنتاج بالإنتاج الحيوي Biological productivity، يتميز الإنتاج الحيوي عن الإنتاج الكيميائي أو الصناعي بكون الأول عملية مستمرة بينما الآخر هي دالة نهاية التفاعل.

ينقسم الإنتاج الحيوي إلى:-

1. الإنتاجية النباتية أو الإنتاجية الأولية Primary productivity: وفيها تتحول الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية فضلاً عن الطاقة الحرارية.
2. الأنتاجية الثانوية Secondary productivity: وفيها تتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كيميائية أخرى كطاقة متمثلة أو كفضلات عند إكتفاء الجسم منها. في الحالة الأولى تتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كيميائية أخرى (النمو Growth) أو طاقة حرارية (التنفس).

ويتبين من هذه الحقائق إن كتلة المنتج يجب أن تزيد دائماً عن كتلة المستهلك الأولي والتي تزيد كتلتها عن المستهلك الثانوي آخذين بنظر الإعتبار إن الكتلة هي إحدى الوسائل للتعبير عن الطاقة التي ينطبق عليها قانون نيوتن الثاني .

(قانون نيوتن الثاني: إذا أثرت قوة على جسم ما فإنها تكسبه تسارعاً، يتناسب طردياً مع قوته وعكسياً مع كتلته. والكتلة Mass في قانون نيوتن الثاني تعني مقدار الأجسام التكويني أو الكمية التي يتكون منها الجسم من حيث العدد أو الكمية العددية)

إن من أهم عمليات البناء الكيميائي في البيئة هي مايتبين أدناه بصورة مبسطة:

$$6CO_2 + 6H_2O \text{ + طاقة ضوئية + الكلوروفيل} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

وهذه هي معادلة البناء الضوئي والتي هي النبع الرئيس للحياة إذْ إنها تمثل عملية القدرة على الإنتاجية الأساسية لجميع النظم البيئية المحتوية على النباتات والهائمات النباتية كما إنها الوسيلة التي بواسطتها تتحول الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية للمركبات المختلفة.

تتطلب عملية البناء الضوئي وجود النباتات أو الهائمات النباتية Phytoplankton الحاوية على صبغة الكلوروفيل، والطاقة الضوئية المرئية في حدود طول موجي (400- 700) نانومتر أو تحت الحمراء في طول الموجة (800- 850) نانومتر فضلاً عن الماء وثنائي أوكسيد الكاربون CO2 والآيونات المؤكسدة مثل الحديد أو المغنيسيوم والفسفور في صورة أملاح فوسفات، وحيث إن للنباتات والهائمات النباتية القدرة على بناء مركبات عضوية أخرى تشمل السكريات الثنائية ومركبات نشوية ودهون و بروتينات وفيتامينات والتي بدورها تتطلب وجود عناصر أخرى مثل النتروجين والكبريت.

وقد تقوم البكتيريا بخلق مواد عضوية من مواد غير عضوية بفعل البناء الكيميائي على الرغم من إن فعل البكتريا هذا في معظم النظم البيئية يكون ضئيل في الإنتاجية، فهي بالدرجة الأولى كائنات محللة علماً بإن بكتيريا البناء الكيميائي Chemosynthetic bacteria لاتتطلب الطاقة من ضوء الشمس بل تتمكن الحصول على الطاقة من الأكسدة الكيميائية للمركبات غير العضوية وعلى سبيل المثال أكسدة الكبريتيدات إلى الكبريت وآيونات الحديدوز إلى حديديك والأمونيا إلى نترات والنتريت إلى نترات، كلها عمليات تأكسدية تحرر الطاقة الممكن إستخدامها في البناء الضوئي.

أما البكتيريا التي تقوم بعملية التركيب الضوئي وهي قليلة جداً فإنها أساساً تختلف عن عملية البناء الضوئي في النباتات والهائمات النباتية حيث إن الناتج الثانوي ليس الأوكسجين في حالة البكتيريا حيث إن هذه الأنواع من البكتيريا مثل البكتيريا الأرجوانية *Rhodospirillum* spp. تنمو لاهوائياً.

إن من السهل تقدير الإنتاج في أية لحظة بصيغة الوزن بدلاً من محتوى الطاقة لأن محتوى الطاقة في وحدة الزمن يختلف بإختلاف الكائنات الحية أو أجزاء الجسم المختلفة فمحتوى الطاقة على أساس سعرة في الغرام الواحد من الوزن الجاف في الديدان تقدر بحوالي 4617 سعرة بينما في الفئران تصل الى 5163 سعرة، وفي الطحالب تقدر بحوالي 4100 سعرة. هذا من جهة ومن جهة أخرى يلاحظ إن محتوى الطاقة في البذور تصل إلى 5065 سعرة بينما لا يزداد المحتوى عن 4267 سعرة في السيقان في حين تصل إلى 4720 سعرة/غم من الوزن الجاف في الجذور.

ان المحصول الثابت (القائم) Standing crop هو مجموع الكتلة الحية Biomass في أية لحظة معينة. وإن الإهتمام بالإنتاجية يعود إلى فترات طويلة سابقة ولكن الإهتمام ظل مقتصراً على بعض الأجزاء المستخدمة فقط، ففي الحيوانات يكون الإهتمام بالبيوض أو اللحوم أما في النباتات فيدرس إنتاج الحبوب لبعض المحاصيل والدرنات لمحاصيل أخرى وفي البعض الآخر تؤخذ الأجزاء الخضرية فقط أو الثمار بنظر الإعتبار ويسمى الإنتاجية هنا بالمحصول Yield.

إن معدل الإنتاجية للكائنات الحية هي دالة أخذ الطاقة من قبلها ففي النباتات الخضر يكون المجموع الكلي للضوء المثبت خلال عملية البناء الضوئي ولفترة محددة يسمى بالانتاجية الاجمالية Gross Productivity ومن هذه الكمية يستفيد النبات من جزء منها للإبقاء على ديمومته خلال عملية التنفس Respiration والباقي يكون نظرياً جاهزاً لإستخدامات أخرى كأغراض النمو المتمثل بالإنتاجية الصافية Net Productivity، وعليه تكون الإنتاجية الإجمالية = الإنتاجية الصافية + التنفس .

ولمتابعة إنتقال الطاقة في أي نظام بيئي يكون من الضروري معرفة ذلك الجزء من الإنتاجية الصافية التي أدت إلى تكوين الأنسجة الجديدة وبالتالي زيادة الكتلة الحية وكذلك معرفة كمية الطاقة المستهلكة بوساطة آكلات الأعشاب أو من خلال موت الأجزاء أو الأفراد.

وعليه تكون الإنتاجية الصافية = زيادة الكتلة الحية + الطاقة المستهلكة بواسطة آكلات الاعشاب + الطاقة المستهلكة من خلال موت بعض الأجزاء أو الأفراد .

إن صافي الإنتاجية الأولية يعتبر مقياس نسبة الطاقة التي تخزن أو التي تندمج في الأنسجة الحية ويمكن قياس صافي الإنتاجية كمتغير الكتلة الحية تبعاً لعامل الزمن. إن جزء من صافي الإنتاجية عبارة عن غذاء للكائنات الحية الأخرى والذي يتبقى هو عبارة عن الكتلة الأحيائية للمحصول القائم Standing Crop.

وعند دراسة توزيع الإنتاجية والمحصول القائم في العالم فإن المعلومات المتوفرة تشير إلى إن الغطاء النباتي على اليابسة من الكرة الأرضية يكون مايقارب 30% من تلك المساحة ويجهز هذا الغطاء 62% من الكمية الكلية للانتاجية الاولية والتي تقدر مجموعها بحوالي 100 مليون طن في

السنة . إن تقديرات الإنتاجية لمختلف الأنظمة البيئية توضح بأن النظام البيئي الصحراوي لاينتج أكثر من 250 غم وزن جاف للمواد العضوية في المتر المربع في السنة بينما تصل الإنتاجية في أراضي الحشائش إلى 1500 غم في المتر المربع في السنة في حين إن المناطق الإستوائية الرطبة تصل الإنتاجية في غاباتها إلى حوالي 5000 غم في المتر المربع في السنة بينما الإنتاجية في مياه المصبات تصل إلى 4000 غم في المتر المربع في السنة. إن العلاقة بين الكتلة الأحيائية والإنتاجية غالباً ماتلفت النظر ويعبر عنها بنسبة تجمع الكتلة الأحيائية.

وبصورة عامة يمكن تقسيم الإنتاجية إلى مايلي:-

1- الإنتاجية الأولية Primary Productivity (P.P.)

أ- الإنتاجية الأجمالية الأولية Gross Primary Productivity (G.P.P.)

ب- الإنتاجية الصافية الأولية Net Primary Productivity (N.P.P.)

2- الإنتاجية الثانوية Secondary Productivity (S.P.)

أ- الإنتاجية الإجمالية الثانوية Gross Secondary Productivity (G.S.P.)

ب- الإنتاجية الصافية الثانوية Net Secondary Productivity (N.S.P.)

العوامل التي تؤثر على الإنتاجية:

من أهم العوامل التي تؤثر في عملية البناء الضوئي هي قابلية الهائم النباتي على تمثيل ثنائي أوكسيد الكاربون وطريقة إختزاله حسب نوع الهائم النباتي.

ومن بين العوامل الأخرى التي تؤثر على الإنتاجية الإولية هي نوعية الضوء الساقط وشدته ودرجة الحرارة والماء والكلوروفيل وتركيز ثنائي أوكسيد الكاربون والأوكسجين بالإضافة إلى العناصر الغذائية الأخرى هذا بالإضافة إلى مستويات المجتمع والمساحة الكلية للهائم النباتي وكثافته.

إن التمنطق في المسطحات المائية وتواجد الهائمات النباتية في المستويات المختلفة يؤثر أيضاً على نظام الضوء في المستويات المختلفة وبذلك فإنها تؤثر في الإنتاجية.

تعتبر نفاذية الضوء عامل مهم في تقدير الإنتاجية الأولية في الأنظمة البيئية المائية حيث إن الضوء ينفذ إلى أعماق محددة في المياه الصافية، ويؤثر حتى في توزيع الطحالب وإنتشارها في الأعماق المختلفة للبحار والمحيطات.

إن درجة الحرارة والمغذيات من العوامل المهمة الأخرى التي تحدد الإنتاجية من حيث حجمها ونسبتها إذْ تعتبر درجة الحرارة من المكونات الأساسية للمناخ. فيلاحظ إن نسبة الإنتاجية في المناطق الإستوائية تكون أكبر بالمقارنة مع المناطق المعتدلة.

طرق قياس الإنتاجية الأولية والثانوية

يمكن قياس الإنتاجية الأولية بصورة عامة من خلال عملية البناء الضوئي أي تقدير كميات ثنائي أوكسيد الكربون المثبت أو كميات الأوكسجين المتحرر، أو الزيادة في كمية الكاربوهيدرات. وهناك طرق مختلفة لقياس الإنتاجية وفيما يلي بعض من هذه الطرق:

1- طريقة العدد الكلي للهائمات

تتلخص الطريقة في عد الهائمات سواء كانت نباتية أو حيوانية في وحدة حجم أو مساحة في فترات زمنية قصيرة ويعبر عن الناتج خلية/ لتر/ ساعة أو خلية/ لتر/ يوم للهائمات النباتية ويعبر عنها ب فرد/ لتر/ ساعة أو فرد/ لتر/ يوم للهائمات الحيوانية.

2- طريقة قياس الكلوروفيل حيث تتبع هذه الطريقة لقياس الإنتاجية الأولية للهائمات النباتية فقط بعد ادخال قيم الكلوروفيل في معادلة حسابية.

3- الطريقة الحجمية (حجم الإزاحة) وتستخدم هذه الطريقة لحساب الإنتاجية الأولية للهائمات النباتية وحساب الإنتاجية الثانوية للهائمات الحيوانية.

4- الطريقة الوزنية وتستخدم هذه الطريقة لحساب الإنتاجية الأولية للهائمات النباتية وحساب الإنتاجية الثانوية للهائمات الحيوانية وتقسم إلى:-

أ. الوزن الجاف.
ب. الوزن الرطب.

2- طرق تحليل الغاز

تعتمد هذه الطرق على تحليل كميات ثنائي أوكسيد الكاربون أو الأوكسجين وهي بسيطة نسبياً لتقدير الإنتاج الكلي بالمقارنة مع الطريقة السابقة (العدد الكلي). وتستخدم طريقة القناني الشفافة والمعتمة وذلك بأخذ عينتين من المياه الأولى توضع في قنينة معتمة (مغطاة بقماش داكن اللون أو ورق) أما العينة الثانية فتوضع في قنينة شفافة (غير مغطاة) ثم تحفظ القناني تحت سطح الماء عند العمق المطلوب لعدة ساعات ويقاس تركيز الأوكسجين في الماء قبل التجربة وبعدها بطريقة ونكلر Winkler method أو جهاز قياس الأوكسجين، وتعطي الزيادة في تركيز الأوكسجين في القنينة الشفافة معلومات عن التركيب الضوئي الصافي والذي يمكن أن تضاف إليه كمية الأوكسجين المفقود عن طريق القنينة المعتمة لايجاد الانتاجية الكلية. بالرغم من إعتماد هذه الطريقة في كثير من الأحيان لكن نتائجها غير مضبوطة وذلك لأنه لايمكن حساب تنفس المستهلكات بضمنها البكتيريا.

ومن بين الطرق الأخرى لتقدير الإنتاجية الأولية هي طريقة الأس الهيدروجيني وإستخدام النظائر المشعة وغيرها.