المحاضرة السابعة

الإنتاجية: Productivity

من المعروف ان الكائنات الحية على الكرة الأرضية تعتمد طاقتها بصورة مباشرة أو غير مباشرة من الشمس التي تنبعث منها الطاقة بصورة مستمرة. ويتم استغلال هذه الطاقة الضوئية اساساً في عملية البناء الضوئي Photosynthesis التي تقوم بها النباتات الخضراء أي التي تحتوي على صبغات الكلوروفيل أو اليخضور . حيث تقوم هذه الصبغات بامتصاص الطاقة الضوئية الصادرة من الشمس وتحويلها إلى طاقة كيمياوية تساهم في عملية تثبيت ثاني اوكسيد الكاربون على هيئة مركب عضوي وهو سكر الكلوكوز Glucose والتي تتمث ل بصورة مبسطة بالمعادلة الآتية:

$$CO_2 + H_2O + \text{طاقة ضوئية} \xrightarrow{\text{بوجود الكلوروفيل}} C_6H_{12}O_6 + O_2$$

وان هذا المركب يمكن ان يتحول إلى مركبات عضوية أخرى . ويسمى هذا الانتاج بالانتاج الحيوي Biological productivity. يتميز الانتاج الحيوي عن الإنتاج الكيمياوي اوالصناعي بكون الإنتاج الحيوي عبارة عن عملية مستمرة في حين ان الإنتاج الكيمياوي أو الصناعي هو عبارة عن دالة نهاية التفاعل.

يقسم الإنتاج الحيوي إلى نوعين أساسيين هما:

١. الإنتاجية الأولية Primary productivity

وهي المعدل الذي تخزن فيه الطاقة الإشعاعية بفعالية البناء الضوئي والتركيب الكيمياوي للكائنات المنتجة وهي النباتات الخضراء على شكل مواد عضوية يمكن ان تستعمل بوصفها مواد غذائية للكائنات الحيوانية الأخرى.

٢. الإنتاجية الثانوية Secondary productivity

وفيها تتحول الطاقة الكيمياوية إلى طاقة كيمياوية أخرى كطاقة متمثلة أو كفضلات . ويشار إلى الإنتاجية الثانوية بأنها معدلات خزن الطاقة على المستويات الغذائية للمستهلك.

خطوات الإنتاجية الحيوية ومراحلها:

تبدأ الإنتاجية الحيوية عندما تبدأ النباتات الخضراء استقطاب الطاقة الض وئية من قبل صبغات الكلوروفيل وتحويلها إلى طاقة كيمياوية تستغل في تثبيت ثاني اوكسيد الكاربون على هيئة مادة عضوية والتي تم تعريفها بالإنتاجية الأولية.

ومن المهم التمييز بين المراحل الأربعة الآتية للإنتاجية الحيوية وهي:

١. المرحلة الأولى: GPP الإنتاجية الأولية الاجمالية:

ان مجموع الطاقة (المادة العضوية) التي تشبتها النباتات الخضراء في عملية البناء الضوئي والتي من ضمنها كمية الطاقة المستخدمة في عملية التنفس، تسمى الإنتاجية الأولية الاجمالية Gross primary productivity (GPP) والتي تعرف كذلك بالبناء الضوئي الكلي Total photosynthesis أو التمثيل الكلي Total assimilation .

٢. المرحلة الثانية NPP الإنتاجية الأولية الصافية:

ان الإنتاجية الأولية الاجمالية عندما يطرح منها ما يستهلك في عملية التنفس تصبح بما يعرف بالإنتاجية الأولية الصافية Net primary productivity

ويرمز لها بـــ (NPP) وتمثل مجموع كمية المادة العضوية المخزونة في الانسجة النباتية.

$GPP-R = NPP$.

R يعني Respiration التنفس

وتعرف كذلك بالبناء الضوئي الظاهر Apparent photo synthesis أو التمثيل الصافي Net assimilation.

٣. المرحلة الثالثة: NCP الإنتاجية الصافية للمجتمع:

تمثل الإنتاجية الصافية للمجتمع Net community productivity مجموع كمية المادة العضوية المختزنة لدى النباتات في المجتمع النباتي والتي لم يتم استخدامها أو استهلاكها من قبل الكائنات معتمدة التغذية (Heterotrophic) أي الكائنات المستهلكة والكائنات المحللة، خلال المدة التي تمت الدراسة وعادة تكون فصلاً للنمو أو سنة . ان الإنتاجية الأولية الصافية تخزن كمادة عضوية في الانسجة النباتية يشكل كتلة حية Bio mass وتقاس بوحدة الوزن في وحدة المساحة (غم/م^2) أو (كغم/دونم)

$NCP = NPP - Heterotrophic\ consumption$

٤. المرحلة الرابعة: SP الإنتاجية الثانوية:

يشار إلى معدلات خزن الطاقة في المستويات الغذائية للمستهلك بالإنتاجية الثانوية Secondary productivity وهي مجموع كمية الطاقة العضوية المختزنة في اجسام الكائنات المستهلكة. وبما ان الكائنات المستهلكة Consumers تحصل على الطاقة نتيجة تناولها مواد غذائية جاهزة. لذا فإن مجموع الطاقة المختزنة لدى الكائنات المستهلكة تسمى التمثيل Assimilation وليس الانتاج Production.

وبصورة عامة تمثل الإنتاجية productivity نسبة التغير بالكتلة الحية الـــ Bio mass بالنسبة لموسم نمو معين أو بالنسبة لسنة واحدة. وتقاس الإنتاجية بـــ (غم/م^2/سنة).

العوامل المحددة للإنتاجية:

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على الإنتاجية وهي:

١. **قابلية النبات على تمثيل أو تثبيت ثاني اوكسيد الكربون في عملية البناء الضوئي .**

هناك طريقتان رئيسيتان لاختزل ثاني اوكسيد الكربون واللتان تمثلان الخطوة الأولى في عملية البناء الضوئي وتعتمدان على نوع النبات وهما:

a. **طريقة كالفن – بنسن** Calvin – Bensen pathway تتبعها نباتات C_3 plants إذ ان غاز CO_2 يثبت على هيئة مركب ثلاثي الكربون هو ٣-Phospho Glyceric Acid ومن امثلتها نبات الحنطة والشوفان والبنجر السكري وفول الصويا.

b. **طريقة هاتش – سلاك** Hatch – Slack Pathway تتبعها نباتات C_4 plants على هيئة مركب رباعي الكربون هو Oxalic Acetic Acid ومن امثلتها نبات قصب السكر والذرة الصفراء هناك فروقات كبيرة بين هاتين المجموعتين من النباتات منها تشريحية وفسلجية وبيئية .

٢. درجة الحرارة.

٣. نوع الضوء الساقط وشدته.

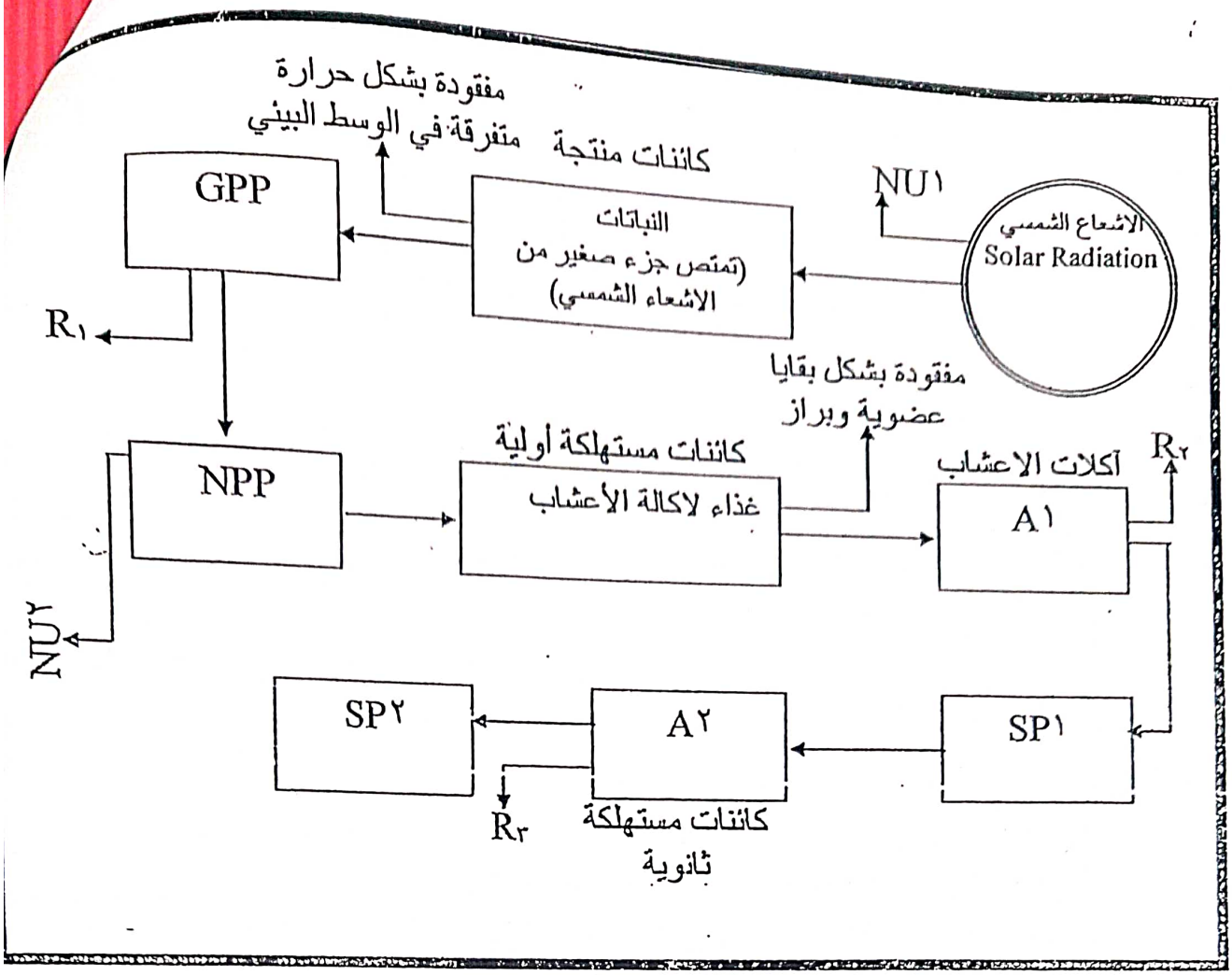
٤. توفر الماء.

٥. تركيز CO_2 و O_2 والعناصر الغذائية المختلفة.

٦. هناك عوامل تخص النبات مثل صبغة الكلوروفيل، والمساحة الكلية للورقة، وكثافة النباتات، ومستويات المجتمع النباتي.

سريان الطاقة Energy Flow في النظام البيئي:

المقصود بسريان الطاقة هو سلوك الطاقة في الأنظمة البيئية، أو كيفية انتقال الطاقة من المصدر إلى المستويات الإغتذائية المختلفة في السلسلة الغذائية . يحتوي مخطط سريان الطاقة عادة على الكميات المفقودة من الطاقة (غير مستفاد منها). ان مصدر الطاقة في الكون (الطبيعة) هو الإشعاع الشمسي Solar Radiation فالشمس تطلق أشعتها باتجاه الكون، والكائنات الحية تأخذ الطاقة من هذه الأشعة وتبدأ بصنع غذائها والقيام بالفعاليات الحيوية . وفيما يلي مخطط مبسط لسريان الطاقة من مصدرها ولغاية مستويات الكائنات الميت هلكة موضحاً فيه كميات الطاقة المنتقلة فعلياً والكميات من الطاقة التي تفقد خلال عملية السريان.



مخطط سريان الطاقة في النظام البيئي

NU_1= Not used طاقة شمسية لم تدخل المحيط الحيوي

Gpp = Gross primary productivity الإنتاجية الأولية الإجمالية

R_1 = طاقة مفقودة خلال عملية تنفس النبات

NPP = plant Respiration الإنتاجية الأولية الصافية

NU_2 = Not used طاقة بشكل مواد عضوية لم تستخدم أو تستهلك وتبقى في الأوراق والأجزاء النباتية، أي لم تأكلها الكائنات المستهلكة.

A١ =Assimilated الطاقة المتمثلة بالهضم لدى الكائنات الحية المستهلكة (آكلات الأعشاب)

R_2=consumers Respiration الطاقة المفقودة بالتنفس لاكلات الأعشاب

SP_1=secondary productivity طاقة في المستوى الاغتذائي الثاني من الانتاج الثانوي (آكلات الأعشاب).

A_2=Assimilated الطاقة المتمثلة بالهضم لدى الكائنات المستهلكة

(آكلات الحيوانات).

R_2 = Assimilated الطاقة المفقودة بالتنفس لأكلات الحيوانات

Sp_2 = secondary productivity الطاقة المفقودة بالتنفس الاغتذائي الثالث من الانتاج الثانوي (آكلات الحيوانات).

الشيء المهم في المخطط ان نحسب كمية الطاقة المتوفرة في أي مستوى اغتذائي من المستويات الاحيائية.

سريان الطاقة في المستوى الاغتذائي الأول (النباتات الذاتية التغذية)

$$GPP=NPP + R_1$$

سريان الطاقة في المستوى الاغتذائي الثاني (آكلات الأعشاب)

$$A_1=SP_1 + R_2$$

سريان الطاقة في المستوى الاغتذائي الثالث (آكلات اللحوم)

$$A_2 = SP_2 + R_3$$

الإنتاجية الصافية = زيادة الكتلة الحية+ الطاقة المستهلكة بواسطة آكلات الأعشاب+ للنظام البيئي الطاقة المستهلكة خلال موت بعض الاجزاء أو الافراد.

طرائق قياس الإنتاجية:

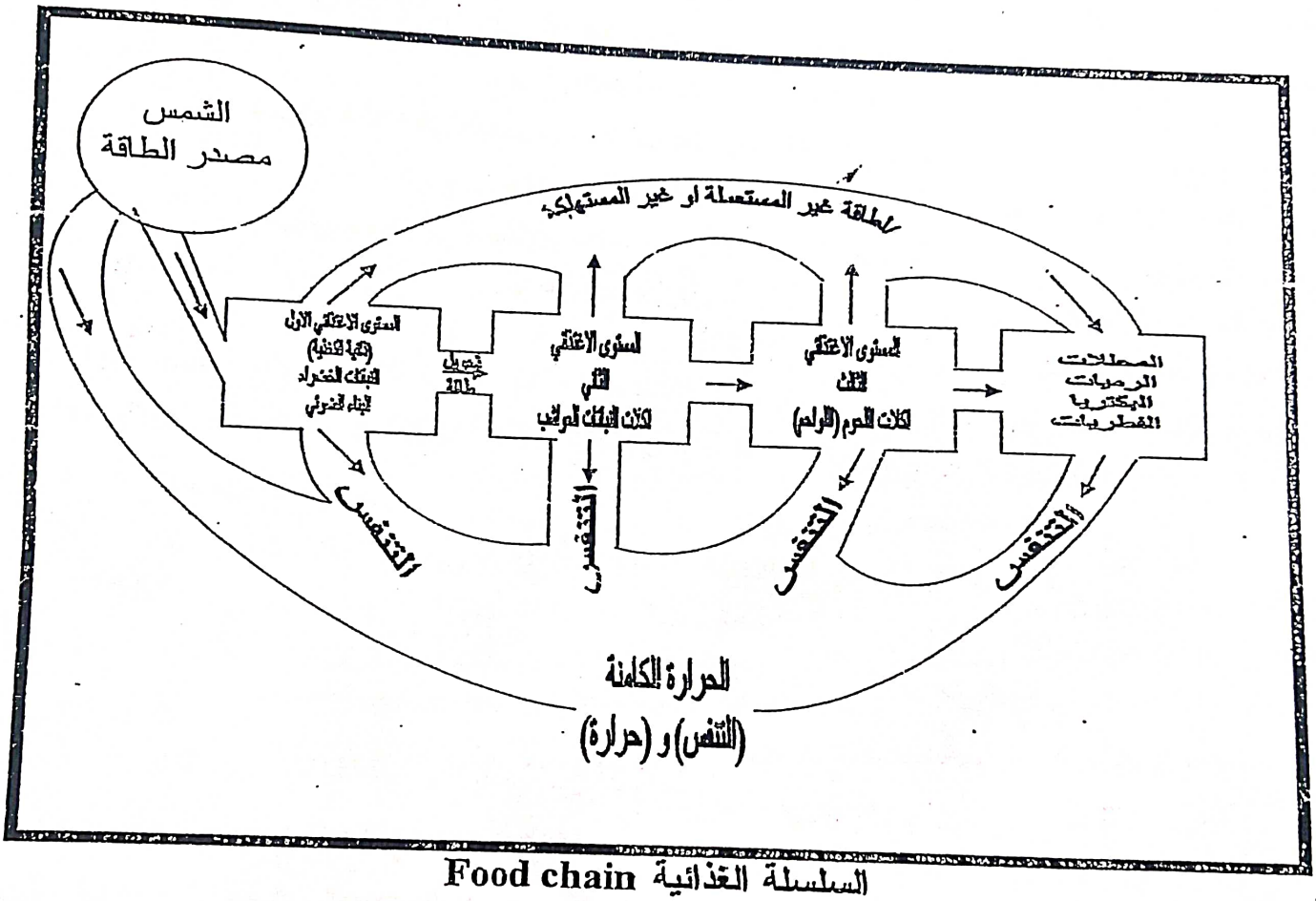
بالإمكان قياس الإنتاجية الأولية Primary productivity من خلال قياس كميات ثاني اوكسيد الكاربون المثبتة في النبات خلال عملية البناء الضوئي أو كميات الأوكسجين المتحررة منها أو من خلال الزيادة في كميات المادة العضوية المنتجة كالكاربوهيدرات في الجسم النباتي.

وهناك طرق مختلفة لقياس الإنتاجية من أهمها ما يأتي:

١. طريقة الحصاد: Harvest method
٢. قياس الاوكسيجن Oxygem measurement
٣. قياس ثاني اوكسيد الكاربون Carbon dioxide measurement
٤. قياس الاس الهيدروجيني: pH measurement
٥. قياس المواد الأولية Raw materials measurement
٦. طريقة النظائر المشعة Radio – isotope Mehtod
٧. قياس الكلوروفيل Chlorophyll measuremen

السلاسل الغذائية Food chains

ان انتقال الطاقة الغذائية من المصدر النباتي (النباتات) إلى الكائنات الحية المختلفة يتم عبر سلسلة من المستويات المختلفة بحيث يتغذى الكائن الحي من جهة ويُستهلك أو يؤكل من جهة أخرى بصورة مستمرة داخل أو خارج النظام البيئي . وتسمى هذه السلسة بالسلسلة الغذائية Food chain وكما في الشكل الأتي :



السلسلة الغذائية Food chain

أي ان الوصف الخطي للعلاقة الغذائية بين الكائنات الحية المختلفة تسمى بالسلسة الغذائية بحيث يكون العنصر المنتج أو الكائنات الحية ذاتية التغذية القاعدة الأساس لهذه السلسلة ..وفي كل مرحلة من مراحل انتقال الطاقة تتبعثر كمية هائلة منها كحرارة وذلك عن طريق التنفس بصورة رئيسية. وبما ان مراحل انتقال الطاقة وخطواتها بين الكائنات الحية محدودة كما هو معروف حيث لا يزيد عادة عن أربع أو خمس خطوات عليه يمكن الجزم انه كلما تقصر

السلسة الغذائية كلما تزيد الطاقة الكامنة المتوافرة للكائنات الحية عدا النباتات، وتعتمد على بعدها أو قربها من مصدر الطاقة (النباتات) بوصفها مصدر للطاقة الغذائية في السلسلة الغذائية. حيث تكون الأغنام والأبقار والدواجن تحتوي على كميات طاقة كامنة عالية لأنها تعتمد في غذائها على الأعشاب (النباتات) بالدرجة الأساسية، مقارنة بالجوارح والكلاب والغراب والتي تحتوي على كميات أقل من الطاقة لان موقعها بعيد عن مصدر الطاقة الغذائية مثال على سلسلة غذائية :

نسر ← ثعبان ← ضفدع ← حشرة ← حشائش

المستوى الاغتذائي:

وهو احد مراحل أو اجزاء السلسة الغذائية يتكون من نوع أو عدة أنواع من كائنات حية تتشابه مع بعضها في طرق تغذيتها.

عند دراستنا للنظم البيئية المتواجدة على الكرة الأرضية، يلاحظ ان الكائنات الحية غير ذاتية التغذية Heterotrophic تكون

- اما آكلات أعشاب Herbivorous التي تتغذى مباشرة على النباتات وتكون معتمدة على الطاقة الغذائية لها (الطاقة الكامنة) في الكائنات ذاتية التغذية Autotrophic.
- أو تكون آكلات اللحوم Carnivorous التي يقتصر غذاؤها على منتجات حيوانية وهكذا فإنها تعتمد بصورة غير مباشرة على العنصر المنتج ويكون موقعها بعيداً عن مصدر الطاقة الغذائية.
- أو تكون آكلات اللحوم التي تقتل حيواناً آخر فتعد من المفترسات Predators.
- كما ان هناك بعض الكائنات الحية التي تعتم دفي غذائها على النباتات والحيوانات أي تكون آكلات الأعشاب واللحوم في آن واحد وتسمى **بالكائنات القارتة** Omnivorous مثل الإنسان إذ يستخدم الغذاء والأسهل توفراً والأكثر تواجداً.
- يكون عديم التخصص حيث يتمكن من العيش على مجموعة كبيرة من العوائل Hosts.
- بالإضافة إلى ان هناك حيوانات ونباتات رمية Saprophytic التي تعتمد في مصدر طاقتها على بقايا النباتات والحيوانات الميتة.

يتبين مما ذكر ان السلسلة الغذائية متباينة ومعقدة داخل النظم البيئية المختلفة وبالإمكان تلخيص وتقسيم هذه الأنواع المتباينة من السلاسل الغذائية إلى ثلاثة اقسام رئيسية التي تعتمد على مصدر الطاقة الغذائية، أي اعتماداً على كيفية انتقال الطاقة الغذائية في المراحل المتعاقبة، وهذه الأقسام هي :

١. السلسلة الغذائية الافتراسية Predator chain

هذا النوع من السلاسل الغذائية يتم فيه انتقال الطاقة من النباتات إلى الحيوانات الصغيرة ثم إلى الحيوانات الكبيرة والمفترسة. وتعتمد هذه السلسلة الغذائية على الطاقة الغذائية المتواجدة في النباتات الخضراء.

٢. السلسلة الغذائية التطفلية Parasitic chain

وفيها تنتقل الطاقة الغذائية من النباتات أو الحيوانات الكبيرة إلى الكائنات الصغيرة. وهذا لا يعتمد على المصدر الأساسي في السلسلة الغذائية على الغذاء المخزون في النباتات فقط.

٣. السلسلة الغذائية الرمية Saprophytic chain

وفيها تنتقل الطاقة من الكائنات الميتة بغض النظر عن كونها حيوانية أو نباتية إ لى الأحياء الدقيقة المختلفة. وهنا يكون مصدر الطاقة المنتقلة من كائن حي إلى أخرى عبارة عن المواد العضوية المعقدة الموجودة في باقيا الكائنات النباتية والحيوانية الميتة.

عند ملاحظة السلسلة الغذائية في المناطق القطبية يلاحظ انها قصيرة حيث ان المستوى الاغتذائي الأول الذي يتمثل بالنباتات يكون قليل الأنواع والأعداد وبالتالي يتميز بالكثافة القليلة وانه يستغل من قبل الإنسان وأنواع قليلة من الحيوانات عادة مثل الدب الأبيض والقوارض والثعالب القطبية وطائر النورس . في حين تكون السلسلة الغذائية في المناطق الاستوائية طويلة حيث ان أطول السلاسل الغذائية معروفة في هذه المناطق . ويلاحظ ان النباتات قد تؤكل من قبل حيوانات أرضية متباينة والتي تشمل الحشرات والحمار المخطط والغزلان والثعالب والطيور وغيرها فضلاً عن الإنسان.

اما المستوى الاغتذائي الثاني فإنه بغض النظر عن كونه من الحشرات أو الغزلان أو الطيور فإنها تجهز الطاقة لمجموعة أخرى كبيرة من الحيوانات والتي تتمثل بالطيور الجارحة والثعالب والاسود وغيرها. كما ان الحيوان الواحد (الفريسة الواحدة) يمكن ان يجهز مجموعة متباينة من الكائنات في مستويات اغتذائية مختلفة . وهذا ينطبق على النظم البيئية المائية في المناطق المختلفة.

وتختلف السلاسل الغذائية باختلاف البيئات المختلفة من حيث تركيبها رغم كونها متشابهة المغزى.

الشبكات الغذائية: Food webs

الشبكة الغذائية Food web هي مجموعة من السلاسل بما تنطوي عليه من تداخل وتعقيد وتشابك العلاقات الغذائية فيما بينها. وهي تبدأ بالكائنات المنتجة وتنتهي بالكائنات المحللة.

ان إعداد الكائنات الحية وانواعها لها تأثير كبير في نوعية الشبكة الغذائية من حيث تعقيداتها. لذلك تكون الشبكة الغذائية بسيطة في المناطق التي تحتوي على أنواع قليلة من الكائنات الحيّ، كما في المناطق القاحلة والقطبية. وتتعقد الشبكة الغذائية كلما ازداد عدد الأنواع داخل النظام البيئي كما في المناطق الاستوائية أو في المحيطات، وتكون أكثر تعقيداً في الانهر المنتجة في المناطق المعتدلة.

ومما يزيد من تعقيد الشبكة الغذائية انتحاء بعض كائناتها إلى أكثر من مستوى تغذوي واحد، كما ان البعض منها يمثل حيوانات عاشبة لاحمة Omnivores تقتات على الحيوان والنبات معاً. أو ان يُظهر بعض احياء الشبكة أنماطاً مختلفة من التغذية في الفصول المختلفة من السنة مما يؤدي إلى زيادة التعقيد في السلاسل والشبكات الغذائية.

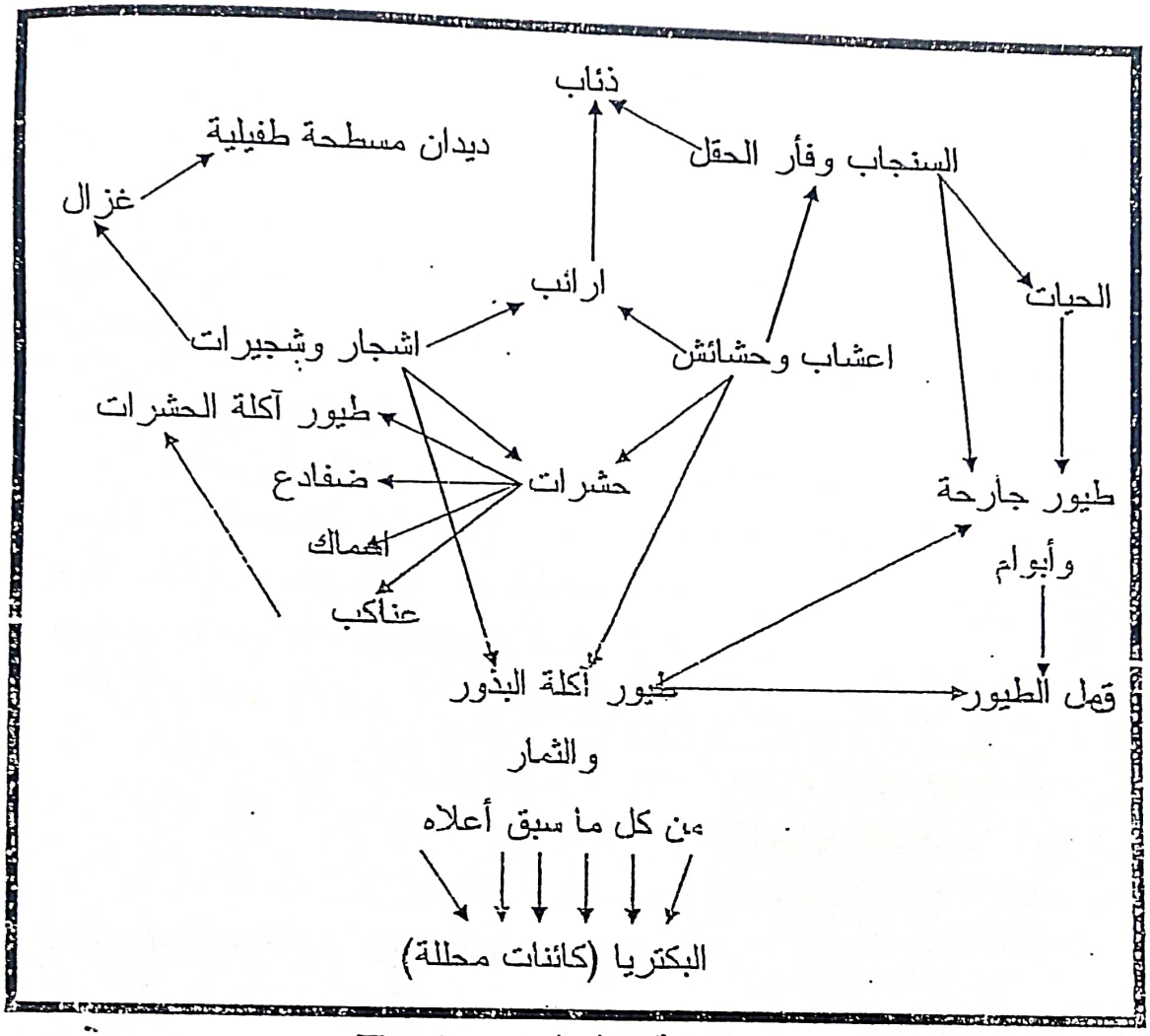
ومن الجدير بالذكر ان الشبكة الغذائية كلما تكون معقدة تكون أكثر ثباتاً واستقراراً، فالحيوانات المفترسة التي تعتمد نوعاً واحداً من الفريسة في تغذيتها تتعرض للخطر عندما يقل عدد أفراد الفريسة بسبب المرض أو أي أسباب أخرى، وقد تنقرض أو تضطر إلى الهجرة عند اختفاء الفريسة بصورة كلية.

التركيب الاغتذائي: Trophical structure

التركيب الاغتذائي عبارة عن مكونات ومحتويات كل مرحلة (أو مستوى اغتذائي) من مراحل السلسلة الغذائية في النظام البيئي.

ان المستوى الاغتذائي في السلسلة الغذائية لأي نظام بيئي يتكون من نوع أو ع دة أنواع من الكائنات الحية والتي تكون فيما بينها التركيب الاغتذائي، إذ ان جميع هذه الكائنات تكون المستوى الاغتذائي، فمثلاً الحزازيات واشجار الغابات والاعشاب المختلفة في غابة معينة يكون جميعاً تركيب المستوى الاغتذائي الأول في ذلك النظام البيئي.

يختلف التركيب الاغتذائي باختلاف مواقع المراحل ضمن السلسلة الغذائية إذ ان الكائنات الحية ذاتية التغذية Autotrophic تشمل المرحلة الأولى في السلاسل الغذائية والتي تعرف بالمنتج Producer وتسمى المستوى الاغتذائي الأول. ويختلف تركيبها باختلاف مواقع السلاسل الغذائية فقد تكون الهائمات النباتية في المحيطات. أو قد تتكون من الهائمات النباتية والنباتات الراقية المائية في البرك والمستنقعات والاهوار. أو قد تتكون من ا لأعشاب والحشائش أو من الأعشاب والأدغال والاشجار في بيئة اليابسة.



شكل يوضح (شبكة الغذاء) Food web

عليه يمكن الجزم بأن التراكيب الاغتذائية المعقدة تكون أكثر استقراراً وأمناً بالمقارنة مع النظم البيئية البسيطة المعتمدة على أنواع قليلة من الكائنات الحية، إذ يتواجد البديل بالنسبة للمصادر الغذائية في أكثر الأحيان في النظم البيئية المعقدة بينما ينحصر الاع تماد على نوع واحد من الغذاء في انظم البيئية البسيطة.

تدعى النسبة المئوية لتحويل الطاقة من مستوى اغتذائي معين إلى المستوى الاغتذائي الذي يليه بالكفاءة البيئية Ecological efficiency أو كفاءة السلسلة الغذائية للجماعة.