الهضم والأمتصاص Digestion &Absorption :

الإنزيمات الهاضمة : Digestive enzymes:

الهضم هو العملية التي يتم فيها تفكيك الغذاء وتحويله من الشكل المعقد إلى ابسط شكل ممكن ومعظم ذلك يجري في القناة الهضمية, وهذه الأشكال الأبسط من المركبات تمتلك القدرة على التنافذ Diffusion من خلال الطبقات المبطنة للأمعاء ليتم امتصاصها إلى داخل مجرى الدم.

البروتينات Proteins مثلا سوف يتحلل البروتين مائيا Hydrolysed في عملية الهضم إلى أحماض أمينية حرة Free amino acids (الوحدات البنائية الأساسية للبروتينات) أو إلى سلاسل ببتيدية Peptides مختلفة الأطوال تحتوي على أعداد متباينة من وحدات الأحماض الأمينية, أما الكربوهيدرات Carbohydrates فتتحول بعملية الهضم إلى سكريات بسيطة Simple sugars(احادية أو ثنائية أو ثلاثية) , وتتحول الدهون Lipids إلى أحماض دهنية Fatty acids وجلسرول Glycerol وتتم عمليات الهضم هذه بواسطة الإنزيمات الهضمية التي تفرز على امتداد معظم طول القناة الهضمية وذلك عند مرورالغذاء بها.

- تفرز الأسماك كميات متباينة من المخاط Mucus في الفم والبلعوم لكن يبدو انه مختلف عما هو موجود في الفقاريات الأخرى, حيث يبدو خالياً تقريبا من الإنزيمات الهاضمة, ورغم أن العديد من الأسماك وجد أنها تفرز بعض أنواع الإنزيمات في منطقة المرئ Esophagus, إلا أن عملية الهضم غالباً ما تتم في المعدة والجزء الأمامي من الأمعاء for–gut في الأسماك عديمة المعدة . يختلف نشاط الانزيمات الهاظمة مع عمر الاسماك وحالتها الفسلجية والموسم .

كما وجد ان كل انزيم يصل الى الفعالية القصوى في درجة حرارة مثالية, فمثلا قدر بعض الباحثين أن درجة الحرارة المثلى لنشاط إنزيم البروتييز Protease(المحلل للبروتين) كانت بين 38-40مْ, وأعلى درجة حرارة مثلى لنشاط إنزيم الأميليز Amylase المعوي (المحلل للنشأ) هي حوالي 50 مْ ، والانحراف عن درجة الحرارة المثلى يحدث انخفاضاً حاداً في النشاط الأنزيمي, وعلى أي حال – فدرجة الحرارة هذه تكون ابعد كثيرا من درجة الحرارة المميتة للكثير من الأسماك, فالارتفاع في درجة الحرارة يؤدي إلى ارتفاع في الافرازات والنشاط الأنزيمي.

الإفراز ألحامضي

تفرز المعدة في العادة حامض الهيدروكلوريك الذي يؤدي لتخفيض قيمة الأس الهيدروجيني PH في المعدة, وكما هو الحال في الفقاريات الراقية فان هذا الحامض يتكون من تفاعل حامض الكربونيك H_2CO_3 الضعيف مع ملح كلوريد الصوديوم NaCl وكلاهما يصل إلى الخلايا المنتجة لهذا الحامض من خلال الدورة الدموية , و ينتج عن هذا التفاعل بيكربونات الصوديوم $NaHCO_3$ وحامض الهيدروكلوريك HCl. وفي حالة الأسماك, وعلى العكس مما في الثدييات مثلا, فان نفس الخلايا تقوم بإفراز الحامض والإنزيمات الهاضمة معا.

يزداد إفراز حامض الهيدروكلوريك في المعدة بصورة واضحة بعد التغذية, ولكن حين تكون معدة الأسماك خالية من الغذاء فأن إفراز هذا الحامض يكون منخفضا جداً. كما قام بعض الباحثين بدراسة التغير في الأس الهيدروجيني للمعدة بعد التغذية في الأسماك ووجدوا أن قيمة الأس الهيدروجيني تكون متعادلة تقريبا قبل التغذية لكنها تصبح تدريجياً أكثر حموضة بعد تناول الغذاء, و تبقى عند هذه القيمة طالما بقي الغذاء داخل المعدة, ثم ترتفع القيمة ببطء أيضاً بعد تفريغ المعدة من الغذاء, أي بعد إتمام عملية الهضم, حيث تعود القيمة إلى الاقتراب من درجة التعادل مرة أخرى.

- في الأسماك التي ليس لها معدة لا يوجد إفراز لحامض الهيدروكلوريك بالطبع ولذلك فان درجة الأس الهيدروجيني pH للجزء الأمامي من القناة الهضمية ستكون متعادلة أو قليلة القاعدية وتتراوح ما بين (6–7.5) والتذبذب في الأس الهيدروجيني يكون ملحوظاً كثيراً في الجزء الأمامي للأمعاء والقناة البوابية, حيث يحدث هناك اختلاط السوائل الهضمية بالكتلة الغذائية في نفس المكان, وتنخفض هذه الظاهرة في الجزء الخلفي من الأمعاء. وان الاس الهيدروجيني للامعاء غالبا يرتبط مع افرازات العصارة الصفراوية Bile والتي تكون متعادلة او حامضية خفيفة.

- **هضم وتحليل البروتينات**

الافرازات في المعدة تشمل اساسا المخاط وحامض Hcl والانزيمات المحللة للبروتين protoelytic enzyme وهو الببسين الفحص النسيجي للطبقة الطلائية للمعدة تظهر نوعين من الخلايا الافرازية هي

1- الخلايا الكأسية goblet cells التي تنتج المخاط

2- وخلايا حبيبية متخصصة لافراز الببسين و Hcl

- الإنزيم الرئيسي لتحليل البروتين في معدة الأسماك هو الببسين Pepsinوقد وجد انه أكثر نشاطاً من الببسين الموجود في القناة الهضمية للثدييات بحوالي 150 مرة من حيث النشاط وثباتية والتركيب. وخليط الإنزيمات الهاضمة للبروتينات Proteases في الأسماك يفرز إلى الأمعاء سواء كانت الأسماك تمتلك معدة أو عديمة المعدة. ويرجع اغلب نشاط تحليل البروتينات في الأمعاء عادة إلى نشاط إنزيم التربسين Trypsin. وقد قام الباحثون بمحاولات لعزل مثل هذه الإنزيمات والتعرف عليها, فوجدوا إنزيمات التربسين والكيموتربسين Chymotrypsin إنزيم الكربوكسي ببتايديز (أ) و (ب) Carboxypeptidase α , β في مساريق القولون ألبابي لسمك القد والتي تتخذ على ما يبدو شكل الخلايا البنكرياسية التي تنتشر في المساريق .

- والبنكرياس هو العضو الرئيسي لإفراز الإنزيمات المحللة للبروتين, وعلى أي حال, فان أعضاء أخرى مثل الكبد ومساريق الأمعاء والطحال والصفراء تمتلك أيضاً نشاطا واضحا في تحليل البروتين, كما اكتشف نشاط إنزيمي التربسين والكيموتربسين في مستخلص محضر من جدار الأمعاء والطبقة المخاطية المبطنة لأنبوب الأمعاء.

هضم وتحليل الدهون

لقد كشف نشاط تحليل الدهون في العديد من مستخلصات الهضم في كثير من الأسماك وداخل مجموعة واسعة من الإنزيمات المحفزة لتحليل عدد من الأسترات Esterases فقد اجري التمييز بين الإنزيمات المحللة للدهون Lipases والانزيمات المحللة للأسترات Esterases.

واهم انزيمات المحللة للدهون هو اللاييز يفرز من الكبد والبنكرياس والانابيب الاعورية .

يمكن أن تتأثر سرعة التحلل بعدة عوامل مثل السطح المتاح لعمل المواد النشطة أو درجة الحرارة كعامل للتفضيل بين محللات الدهون ومحللات الأسترات. توجد الإنزيمات المحللة للأسترات والدهون على امتداد القناة الهضمية لمعظم الأسماك, ولقد أتضح أن نشاط تحليل الدهون في الأسماك حيوانية التغذية ومن خلال طبقة الخلايا الطلائية المبطنة للمعدة, كان أعلى من الأسماك نباتية التغذية.وانه كان هناك ارتباط بين العادات الغذائية للأسماك والإنزيمات المحللة للأسترات في معدتها , والتباين المميز يمكن أن يتضح في كميات وطبيعة إنزيمات اللايبيز , وان نشاط إنزيم اللايبيز في السمك يبدو أعلى مما هو موجود لدى الثدييات .

تعتمد الإنزيمات المحللة للدهون والى درجة كبيرة على وجود سطح لالتصاق المواد النشطة مثل أملاح الصفراء Bile salts الموجودة في العصارة الصفراوية Bile التي تتكون في الكبد وتخزن في كيس الصفراء ,Gall Bladder وهي محتوية على املاح الصفراء واصباغ الصفراء ، والحامضين الصفراويين الرئيسين في الحويصلة الصفراوية للأسماك وهما حامض الكوليك Cholic acid المتحد مع التاورين Taurin ليكونا حامض التاوروكوليك وحامض تاوروكينو ديوكسي كوليك Taurochenodeoxycholic وهذه الأحماض وأملاحها تعمل كمنظمات في عملية تحول الدهون إلى مستحلبات وتسهل عمل الإنزيمات المحللة للدهون , وتساعد أيضاً في الامتصاص المباشر لبعض الدهون , في حين أن عملية تحولها إلى أسترات تتم في داخل النسيج المبطن للأمعاء .

هضم وتحليل الكربوهيدرات

أن هضم الكربوهيدرات يتأثر بالتنبيه من العصارة المعدية الحامضية لكن العامل الأكثر أهمية في تحليل الكربوهيدرات هو الإنزيمات المحللة للكربوهيدرات وهذه الإنزيمات الهاضمة لها أهمية خاصة في الأسماك نظراً لان جميع أنواع الأسماك تقوم بهضم الكربوهيدرات بنفس الكفاءة نسبيا رغم أن الأسماك الحيوانية التغذية تهضم بعض الكربوهيدرات بكفاءة اقل من الأسماك نباتية التغذية أو مختلطة التغذية.

- يعتبر إنزيم الأميليز Amylase من الإنزيمات المسئولة عن تحليل النشا إلى جلوكوز Glucos وتوجد أيضاً إنزيمات أخرى محللة للكربوهيدرات بالإضافة إلى الأميليز مثل الجلوكوسيديزات Glycosidases والمالتيز Maltase والسكريز Sucrase واللاكتيز Lactase والسيكوبيز Cycopase وإنزيمات أخرى وجدت في الكثير من الأسماك سواء كانت حيوانية التغذية أو نباتية التغذية .

- ينخفض معامل هضم الكربوهيدرات بزيادة وزنها الجزئي فنجد أن النشا اقلها في معامل الهضم وأعلى معامل هضم هو للسكريات البسيطة وهذا يمكن أن يفسر الاختلافات في كفاءة الاستفادة من الكربوهيدرات المختلفة في غذاء الأسماك مثل سمكة السالمون, حيث وجد بعض الباحثين أن السكروز يمكن أن يحل بديلا لسكر الجلوكوز لكن سكر الفركتوز Fructose كانت له كفاءة هضم 80% فقط من كفاءة هضم الجلوكوز

فلورا القناة الهضمية Gastro – intestinal flora

لا يوجد إنزيم السيليوليز Celulase في معظم الأسماك التي تم فحصها بالرغم من أن هذه الأسماك كانت نباتية التغذية وتتغذى أساساً على الطحالب الطبيعية. و السيليلوز الموجود في علائق الأسماك لا يهضم وبالتالي فان له تأثير مخفض للنمو. ومع ذلك فان بعض التجارب الحقلية قد أوضحت حدوث هضم مهم للسليلوز من قبل هذه الأسماك وقد فسر ذلك بأنه يتم عن طريق وجود الأحياء البكتيرية Bacterial flora في الأمعاء وهي التي من المفترض أنها قامت بتكسير السيليلوز.

- قد دعم بعض الباحثين هذه الفرضية من خلال دراسة وجود إنزيم السيليوليز في معدة 62 نوعاً من الأسماك , كان منها 16 نوعاً من اسماك مصبات الأنهار , حيث أن العديد من اسماك المياه العذبة قد أظهرت بعض نشاط إنزيم السيليوليز.

إن هضم المواد السليلوزية والمواد الغذائية الأخرى صعبة الهضم يؤكد أهمية الأحياء البكتيرية المعوية التي تساعد في هضم هذه المواد الغذائية كجزء هام من عمليات هضم الغذاء الأخرى التي تتم في الأمعاء. والأحياء البكتيرية في القناة الهضمية للأسماك تظهر في صورة ابسط مما في الحيوانات ذات درجة الحرارة الثابتة لأجسامها التي تقطن في قناتها الهضمية بشكل أساسي الأحياء الدقيقة اللاهوائية فنجد أن البكتريا السائدة في معظم معي الأسماك كانت هوائية أو لاهوائية اختيارية.

الامتصاص Absorption

بعد اكتمال عمليات هضم الغذاء تنقل المركبات البسيطة الناتجة عن الهضم عبر جدار الأمعاء وتمتص من هناك مباشرة إلى الدم. وانتقال يتم بثلاث طرق هي الانتشار Diffusion عندما يكون تركيزها في الدم اقل من تركيزها في الامعاء وبالطريقة الاميبية عندما تكون جزيئاتها كبيرة نسبيا لاتستطيع المرور عبر جدار الامعاء, او النقل الفعال active transport بواسطة ناقلات arriers موجودة في الغشاء الخلوي cell– membranes عندما يكون تركيزها بالدم اكثر ولقد قسمت مثل هذه الأنظمة إلى ثلاثة نظم نقل منفصلة الأول لسكر د – جلوكوز (D–glucose), والثاني للأحماض الأمينية الحلقية, والثالث للأحماض الأمينية ثنائية الأمين وكما هو موجود في الثدييات, فقد وجد أن الصوديوم هو الأساس لبداية النقل الفعال Active transport وذلك بالاعتماد على تركيز الصوديوم, كما وجد أن الكلوريد له تأثير في عملية النقل في الأسماك البحرية .

وفي دراسة على أمعاء السمك الذهبي Goldfish وجد أن 18 حامضاً أمينياً قد نقلت بصورة فعالة من خلال الغشاء المخاطي مقارنة بنسب الزيادة أو النقص في تركيزها. ويحدث امتصاص الأحماض الأمينية بأسلوب تنافسي Competitive, حيث أن امتصاص احد الأحماض الأمينية يمكن أن يحدث له تثبيط في حالة وجود أحماض أمينية أخرى. فقد وجد أن حوامض الفالين L– Valine والميثيونين L–Methionine هي مثبطات تنافسية لامتصاص حامض الليوسين L– Leusine. ووجود حامض الفالين بتراكيز مرتفعة لم يقلل من امتصاص حامض الميثيونين. ولهذا استنتج أن الانتقال الطبيعي للحامض ألأميني يمكن أن يتم خلال أكثر من موضع وبواسطة أكثر من نظام.

يمكن أن تتأثر آلية الامتصاص بدرجة الحرارة , فقد وجد مثلا أن سرعة امتصاص سكر D-glucose خلال أمعاء اسماك التراوت Trout الناضجة تزداد بدرجة كبيرة عند درجات الحرارة العالية للماء. والامتصاص المعوي لمعظم الأحماض الأمينية له علاقة بالتأقلم لدرجة الحرارة فالأسماك المتأقلمة للبرودة يمكنها امتصاص الأحماض الأمينية بمعدل أعلى من الأسماك المتأقلمة للمياه الدافئة.

- هناك عناصر غذائية أخرى غير الأحماض الأمينية يمكن أن تؤثر على امتصاص الأحماض الأمينية عبر الغشاء المخاطي للأمعاء, حيث وجد أن سكر الكالاكتوز Galactose يثبط امتصاص الحامض الأميني الليوسين الحلقي Cyclo leucine خلال نسيج أمعاء الأسماك وهذا دفع للاستنتاج أن امتصاص السكر الذي يعتمد على عنصر الصوديوم يسبب تغير موضعي في تركيز الصوديوم داخل الخلايا, وبالتالي يؤثر على امتصاص الليوسين الحلقي الذي يعتمد أيضاً على الصوديوم
- من الواضح أن الأحماض الأمينية المختلفة يمكن أن تنتقل وتمتص بسرعات مختلفة, وان العامل المحدد لاستفادة الأسماك من الأحماض الأمينية ليس هو الهضم نفسه, ولكن إلى حد ما الامتصاص

- الكربوهيدرات يمكن أن تمتص بمعدلات مختلفة حيث أنه في دراسة الامتصاص المعوي للجلوكوز والدكسترين Dextrin والنشا Starch في الأسماك وجد انه يحدث خلال أول ساعتين بعد تناول الغذاء, وكان الجلوكوز يمتص بمعدل أسرع من الدكسترين, والدكسترين أسرع من النشا وان المعدلات المختلفة للامتصاص يمكن أن تؤثر في تزامن إفراز الإنزيمات المحللة للكربوهيدرات, وبالتالي تخفض من معدلات الاستفادة منها.