

## تجارب الهضم والتمثيل الغذائي

### Digestion and Nutritional Metabolism Experiments

#### - تعاريف:

1. **الهضم Digestion:** ويشمل الطحن الميكانيكي للعلف في تجويف الفم، والفصل الكيميائي للمركبات العضوية واللاعضوية في المعدة والأمعاء إلى أجزاء صغيرة قابلة للامتصاص. ويتم الفصل الكيميائي للمركبات المعقدة من خلال أنزيمات الجسم المختلفة (الغدد الهضمية ...) وأنزيمات الأحياء الدقيقة المتعايشة في كرش المجترات وفي المعى الغليظ للخيل والأرانب، أو من خلال الأنزيمات المحمولة مع العلف أو الأنزيمات المضافة لبعض الأعلاف لتحسين معامل هضمها.

2. **الامتصاص Absorption:** وهو عبور الأجزاء الرئيسة للعلف (الحموض الأمينية، الحموض الدهنية والفيتامينات ...) المتحررة في تجويف القناة الهضمية إلى تيار الدم واللف عن طريق النقل الفعال أو النقل المنفعل. وقد لوحظ أن الأملاح المعدنية (باستثناء القليل منها) وبشكل جزئي الفيتامينات تمتص دون تغيير في تركيبها (امتصاص مباشر).

3. **معامل الهضم أو النسبة الهضمية أو الانهضامية Digestive Coefficient (D.C):** تختلف القيمة الغذائية للمواد العلفية باختلاف نوعها وتركيبها الكيميائي من جهة، وبدرجة هضمها (انهضاميتها) في الجهاز الهضمي للحيوان من جهة أخرى. فالحيوان لا يستطيع الاستفادة من كافة المركبات الغذائية التي يتناولها، حيث أن الجزء غير المهضوم منها (غير المستفاد منه) يخرج على شكل روث، أما الجزء الآخر من المركبات الغذائية الذي اختفى في الجهاز الهضمي فيدعى بالجزء المهضوم وهو الذي يستفيد منه الحيوان فعلاً.

ويُعبّر معامل الهضم عن: نسبة المادة الغذائية المهضومة من المادة الغذائية المتناولة (مقدار الاستفادة من المادة الغذائية) ويُعطى بالعلاقة:

$$\text{معامل الهضم \%} = \frac{\text{كمية المركب الغذائي المتناولة} - \text{كمية المركب الغذائي المطروحة في الروث}}{\text{كمية المركب الغذائي المتناولة}} \times 100\%$$

$$\text{معامل الهضم \%} = \frac{\text{كمية المركب الغذائي المهضومة}}{\text{كمية المركب الغذائي المتناولة}} \times 100\%$$

- يُقدَّر الجزء المهضوم للمركبات الغذائية في مواد العلف عن طريق تجارب الهضم (Digestion Experiments) التي تُجرى على الحيوان ويتم خلالها تسجيل الكمية التي يتناولها الحيوان من المركبات الغذائية، والكمية التي يطرحها في الروث.
- يُحسب معامل الهضم كنسبة مئوية (%) ويدل على نسبة الغذاء المهضوم ظاهرياً (م.ه.ظ) لأنَّ الروث يَختلط عادةً ببعض المُركبات الغذائية التي مصدرها جسم الحيوان (خلايا مُنسلِخة، مُفرزات) وعند حساب هذه المفرزات وخصم مقدارها من الروث يُصبح مُعامل الهضم حقيقياً.
- مثال:

إذا تناولت بقرة (12) كغ من الدريس يحتوي على (10) كغ مادة جافة وتطرح مع الروث (4) كغ مادة جافة يومياً.

$$\text{فيكون مُعامل هضم المادة الجافة للدريس: م.ه.ظ} = 100 \times \frac{4 - 10}{10} = 60\%$$

أي أنَّ 60% من المادة الجافة المتناولة يُهضم، و40% منها يُطرح على شكل روث.

- **أهمية حساب مُعامل الهضم:** يُفيد حساب معامل الهضم للأعلاف أو العلائق الحيوانية في:
  - تقدير القيمة الغذائية للعلف.
  - تقدير الاحتياجات الغذائية لكل حيوان حسب نوعه وإنتاجه.
  - يتم تقدير معامل الهضم الظاهري ومعامل الهضم الحقيقي بطريقة تجارب الهضم التقليدية على الحيوانات وتدعى (*In Vivo*)، أو بالطرق المخبرية وتدعى (*In Vitro*).

- **مُعَامِل الهضم الظاهري (م.ه.ظ):**

يُحدَّد ويُحسب بطريقة حسابية كما ذكر سابقاً، ويُعطي هذا المُعَامِل قِيماً حَقِيقَةً لِكُلِّ مِنَ المُسْتَخْلَص الخالي من الآزوت (N.F.E)، والألياف الخام (C.F.A)، والدهن الخام (C.F).

أما بالنسبة للبروتين الخام (C.P) فيكون مُعَامِل الهضم الظاهري أقل من مُعَامِل الهضم الحقيقي لأنَّ جزءاً من البروتين الخام في الروث يكون مصدره داخلي endogenous (من جسم الحيوان).

وبالنسبة للعناصر المعدنية لا يُؤخَذ به عند الحساب باستثناء العناصر (المغنزيوم Mg، والصوديوم Na، والبوتاسيوم K)، بالإضافة للكالسيوم Ca عند الخيول.

- **وتتألف تجربة الهضم من طورين:**

**A.** طور تمهيدي 10 أيام.

**B.** طور تجريبي 10 - 20 يوم.

- **حِساب معامل الهضم الحقيقي (الجزء القابل للامتصاص):**

إنَّ تحديد معامل الهضم بهذه الطريقة يُعطي القيمة الحقيقية لمعامل هضم البروتين الخام (C.P) والعناصر المعدنية، لأنَّه يأخُذ بعين الاعتبار المُفرزات الواردة إلى الأمعاء والغير قابلة للهضم والتي تَخْرُج مع الروث، ويُمكن حساب كمية هذه المفرزات وتقدير البروتين فيها من خلال إجراء تجارب هضم يُقدِّم فيها علائق خالية من الآزوت أو بواسطة المعادلات التراجعية.

وبتطبيق العلاقة التالية يمكن حساب معامل الهضم الحقيقي (م.ه.ح):

$$W_v = \frac{F - (K - e)}{F} \times 100$$

**حيث أن:**

**W<sub>v</sub>:** معامل الهضم الحقيقي %.

**F:** العلف المتناول.

**K:** الروث الكلي.

**e:** الروث الداخلي.

**- مثال تطبيقي:**

لحساب معامل هضم المكونات الأساسية للعليقة بالطريقة المباشرة أُجريت تجربة هضم على ثيران تامة النمو أُعطي لها دريس الفصة، فكان متوسط ما تناوله الحيوان يومياً (9 كغ) دريس يحوي (85%) مادة جافة. ومتوسط كمية الروث اليومية لكل حيوان (8 كغ) تحوي (35%) مادة جافة.

**أحسب:** معامل هضم المادة الجافة، والمادة العضوية، والألياف الخام، والبروتين الخام. علماً أنّ التركيب الكيميائي للمادة الجافة لكل من الدريس والروث هو التالي:

المادة / المكوّن	رماد خام %	ألياف خام %	بروتين خام %
الدريس	10	33	18
الروث	12	34	20

**- الحل:**

- كمية المادة الجافة =  $9 \times \left(\frac{85}{100}\right) = 7.65$  كغ.
- كمية المادة الجافة المطروحة في الروث =  $8 \times \left(\frac{35}{100}\right) = 2.8$  كغ.
- % المادة العضوية =  $100 - 10 = 90$  % (للرماد الخام) =  $100 - 10 = 90$  % في الدريس.
- أي أنّ نسبة المادة العضوية في الدريس 90% وفي الروث 88%.
- حساب معامل هضم المادة الجافة والمادة العضوية والألياف الخام والبروتين الخام:

بروتين خام	ألياف خام	مادة عضوية	مادة جافة	
$= (100/18) \times 7.65$ 1.37	$= (100/33) \times 7.65$ 2.52	$= (100/90) \times 7.65$ 6.89	$7.65 = (100/85) \times 9$	الكمية المتناولة (كغ)
$= (100/20) \times 2.8$ 0.56	$= (100/34) \times 2.8$ 0.95	$= (100/88) \times 2.8$ 2.46	$2.8 = (10/35) \times 8$	الكمية المطروحة (كغ)
$0.81 = 0.56 - 1.37$	$1.57 = 0.95 - 2.52$	$4.43 = 2.46 - 6.89$	$4.28 = 2.8 - 7.65$	الكمية المهضومة (كغ)
$= 100 \times (1.37/0.87)$ %95	$= 100 \times (2.52/1.57)$ %62	$= 100 \times (6.89/4.43)$ %64	$= 100 \times (7.65/4.28)$ %63	معامل الهضم %

## - طرق تقدير معامل الهضم (Digestion Trials):

### 1-تقدير معامل الهضم بطريقة الفروق (طريقة غير مباشرة Indirect Method):

- يُقدَّر معامل الهضم بهذه الطريقة عند الحيوانات المجترة لأنَّ إعطاء الأعلاف المركزة لوحدها يُحدث تلبُّك واضطرابات هضمية.
- حيث يتم حساب معامل الهضم للأعلاف المألثة بطريقة مباشرة، ثم تُعطى معها أعلاف مركزة ويُحسَب معامل الهضم الكلي، وبعد معرفة الزيادة في كمية الروث المطروح يُخصم مقدار الهضم للمكون الغذائي في الأعلاف المألثة (المحسوب بالطريقة المباشرة) فنحصل على معامل هضم المكون الغذائي في الأعلاف المركزة.
- (هذه الطريقة غير دقيقة لأنَّ إعطاء الأعلاف على شكل خليط يؤدي إلى زيادة أو نقص معامل هضم مكوناتها مقارنة مع إعطائها لوحدها).

### - مثال تطبيقي:

أُعطِيَ خروف يومياً (700 غ) من الدريس و(300 غ) من الذرة، وكان متوسط كمية الروث المطروحة يومياً (400 غ). أحسب معامل هضم البروتين الخام للذرة إذا علمت أنَّ معامل هضم البروتين الخام للدريس 55%، وأنَّ نسبة البروتين الخام في الدريس 12% وفي الذرة 11% وفي الروث 13%.

### - الحل:

$$- \text{كمية البروتين المتأولة من الدريس} = 700 \times \left(\frac{12}{100}\right) = 84 \text{ غرام.}$$

$$- \text{كمية البروتين المتأولة من الذرة} = 300 \times \left(\frac{11}{100}\right) = 33 \text{ غرام.}$$

$$- \text{الكمية المتأولة من البروتين} = 84 + 33 = 117 \text{ غرام.}$$

$$- \text{كمية البروتين المطروحة مع الروث} = 400 \times \left(\frac{13}{100}\right) = 52 \text{ غرام.}$$

$$- \text{كمية البروتين المهضوم الكلي} = 117 - 52 = 65 \text{ غرام.}$$

$$- \text{كمية البروتين المهضوم من الدريس} = 84 \times \left(\frac{55}{100}\right) = 46 \text{ غرام.}$$

- كمية البروتين المهضوم من الذرة = 65 - 46 = 19 غرام.

$$\text{معامل هضم بروتين الذرة} = \frac{\text{المهضوم من بروتين الذرة}}{\text{المتناول من بروتين الذرة}} = \frac{19}{33} \times 100 = 58\%$$

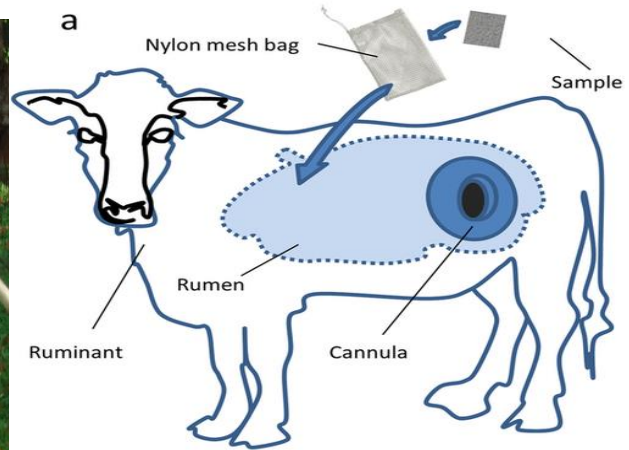
## 2- تقدير معامل الهضم الظاهري بطريقة الدليل (Marker Method):

في هذه الطريقة يُصاف بعض المواد المُعلّمة غير القابلة للامتصاص (أوكسيد الكروم  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) الخاملة Inert إلى العليقة، وبتقدير الدليل المُتناولة مع العليقة والكمية الخارجة مع الروث يُمكن تطبيق العلاقة التالية لحساب معامل الهضم الظاهري:

$$\text{م.ه.ظ} = 100 - \left[ \frac{\% \text{ المادة الغذائية في الروث} \times \text{X} \% \text{ الدليل في العلف}}{\% \text{ المادة الغذائية في العلف} \times \text{X} \% \text{ الدليل في الروث}} \times 100 \right]$$

## 3- تقدير معامل الهضم بطريقة أكياس النايلون (Nylon mesh bag) (*in situ*):

المبدأ: تعتمد هذه الطريقة على تقليد مراحل الهضم الرئيسية عند المجترات بوضع العينة المراد تقدير معامل هضم مكوناتها في كيس من قماش النايلون ثم يوضع الكيس في كرش الحيوان عن طريق ناسور (Cannula، Fistula).



تعبر الأحياء الدقيقة في الكرش مسامات الكيس وتهاجم مكونات العينة داخل الكيس. وتُخَرَج الأكياس من الكرش بعد فترة التّحضير المحددة وتوضع في محلول (ببسين - حمض كلور الماء). يُحسب معامل الهضم من كمية العينة الموضوعة في الكيس والكمية المتبقية فيه بعد التّحضير.

$$\text{م.هـ. المادة الجافة \%} = \frac{\text{كمية المادة الجافة في العينة بعد التحضين} - \text{كمية المادة الجافة في العينة قبل التحضين}}{\text{كمية المادة الجافة في العينة قبل التحضين}} \times 100$$

ويمكن استخدام نفس العلاقة لحساب معامل هضم المكونات الغذائية للأعلاف.

#### 4- تقدير معامل الهضم مخبرياً باستخدام سائل الكرش (*In Vitro*):

تعتمد هذه الطريقة على تقليد مرحلتي الهضم في الكرش وفي المعدة عند المجترات، حيث يتم في الكرش الصناعي الهضم الميكروبي في شروط لاهوائية (حيث في هذه المرحلة تتحلل السكريات المعقدة السيللوز والهيميسيللوز إلى مركبات ذائبة بفعل الاحياء الدقيقة وأنزيماتها).

وفي المرحلة الثانية تتحلل البروتينات بواسطة الببسين وفي وسط حامضي بوجود HCL. والمركبات التي لا تتحلل في المرحلتين تجمع بعد عملية ترشيح وتجفف ويسجل وزنها، والفرق بين كمية المادة الجافة او العضوية في العينة قبل التحضين وبعده يمثل الجزء المهضوم من العينة، وبتطبيق علاقة حساب معامل الهضم الحقيقي يمكن حساب معامل هضم المادة العضوية.



$$\text{معامل هضم المادة الجافة \%} = \frac{\text{كمية المادة الجافة في العينة} - (\text{كمية المادة الجافة في الراسب} - \text{كمية المادة الجافة في الشاهد})}{\text{كمية المادة الجافة في العينة}} \times 100$$

#### - مراحل تنفيذ تجارب الهضم:

لإجراء تجارب الهضم سواءً المباشرة أم غير المباشرة لا بد من توافر ما يلي:

**1- صندوق الهضم Digestive Crate:** عبارة عن صندوق خاص يُوضع فيه الحيوان مُصمّم بشكل يسمح بجمع الروث فيه منعزلاً عن البول، بالإضافة لمكان لوضع العليقة والماء بدون هدر أو تلف.

**2- حيوان التجربة:** يتم اختيار حيوان توافقه العليقة المختبرة ويفضل أن يكون ذكراً تام النمو، ومخصياً لسهولة قيادته، وفصل بوله عن روثه، ويفضل الا يقل عدد الحيوانات عن 2.

**3- المادة العلفية:** قبل إجراء التجربة تحسب الاحتياجات الحافظة للحيوان ويقدم له منها طوال فترة التجربة، ويفضل تقديم العليقة اليومية على فترتين وبأوقات منتظمة طول فترة التجربة.

**4- مدة التجربة:** تتوقف مدة التجربة على هضم المواد العلفية وعموماً تزداد بازدياد حجم الحيوان (الأبقار أكثر من الأغنام....) وعادة للمجترات من 21-26 يوم، وللدواجن م 7-10 أيام.

**5- مراحل التجربة:** تمر تجربة الهضم بمرحلتين أساسيتين هما:

**A. المرحلة التمهيديّة (Preliminary Period):** وفيها يقدم للحيوان العليقة المراد اختبارها حتى يتأقلم على تناولها ويتم تفريغ القناة الهضمية من المواد الغذائية التي كان يتناولها قبل إجراء التجربة وتستمر 1-2 اسبوع عند المجترات ويمكن الاستدلال على تفريغ القناة الهضمية باستخدام بعض الملونات المميزة.

**B. المرحلة الرئيسية (Experimental Period):** تلي المرحلة السابقة مباشرة، ويتم فيها جمع البول والروث كل على حدا يومياً، ثم يخلط الروث ويؤخذ عينة (1%) من الوزن ويرسل للمخبر فوراً لتقدير الآزوت فيه ثم يجفف ويحفظ لأجل التحاليل الأخرى. أما البول فيقدر حجمه ويأخذ أيضاً (1%) من الحجم. تستمر هذه المرحلة من 6 إلى 10 أيام عند المجترات.

- **العوامل التي تؤثر على معام الهضم:**

▪ هناك مجموعة عوامل تؤثر على معام الهضم:

**1-العوامل المؤثرة على معام الهضم والمتعلقة بالمادة الغذائية وأهمها:**

**a.** مستوى أو كمية العليقة المقدمة للحيوان: إذ تقل النسب الهضمية كلما زادت كمية العليقة.

**b.** التركيب الكيميائي للمادة العلفية: وجود نسب مرتفعة من الالياف الخام عن الحدود المسموح بها يسبب تراجع معام هضم المادة العضوية في العليقة.

**c.** معام الهضم الارتباطي: يؤثر التوازن بين الطاقة والبروتين في العليقة على معام الهضم، فمعامل هضم العلائق المركبة لا يطابق متوسط معام هضم الأعلاف الداخلة في تركيبها.



**d.** معدل الدهن الخام: يتناقص معامل هضم المادة العضوية عند المجترات من خلال تجنب فعالية الأحياء الدقيقة المحللة للسيللوز عند تقديم أكثر من 800 غ دهن خام يومياً أو 400 غ حموض دهنية مشبعة.

**e.** وجود بعض مضادات التغذية: يحوي فول الصويا والفول العلفي على مواد مضادة للتربسين، وهذه المواد تؤثر على معامل هضم المادة العضوية، لذلك يجب التقيد بالحدود المسموح بها عند استخدام مواد علفية تحوي مضادات تغذية.

## 2-العوامل التي تؤثر على معامل الهضم والتي تتعلق بالحيوان:

- a.** نوع الحيوان: تختلف قدرة الحيوانات على هضم المواد الغذائية حسب نوعها، ويعود ذلك إلى اختلاف الخواص التشريحية والفيزيولوجية للجهاز الهضمي عند أنواع الحيوانات المختلفة.
- b.** عمر الحيوان: يؤثر من خلال كمية الانزيمات المفرزة في تجويف القناة الهضمية، فمع تقدم الحيوان بالعمر يزداد إنتاج تلك المفرزات سواء من الغدد الهضمية أو من الأحياء الدقيقة.
- c.** الحالة الصحية للحيوان: تعرض الحيوانات للأمراض الجرثومية أو الفيروسية أو الطفيلية يكون له أثر سلبي على معامل الهضم وبالتالي على إنتاج الحيوان.

## 3-العوامل التي تؤثر على معامل الهضم من خلال تحضير الأعلاف والإضافات العلفية:

- a.** الطحن والجروش: يؤدي الطحن الناعم للأعلاف الخشنة إلى خفض معامل الهضم بشدة، إذ يزيد سرعة عبور الكتلة الغذائية من المعدات الأمامية للمجترات إلى الأمعاء. بينما من الضروري جرش الحبوب المستخدمة في تغذية الأبقار والخنازير.
- b.** التسخين أو التبخير: يعتبر سلق البطاطا ضروري لزيادة معامل هضم النشا في تغذية الخنازير، كما أن تثبيت مضاد التربسين في مجروش فول الصويا ضروري، إلا أن التسخين الزائد لفول الصويا يؤدي لتراجع قوي في معامل هضم البروتين الخام.
- c.** التحبيب: يزيد تحبيب الحبوب المطحونة والمواد العلفية الخشنة معدل تناول العلف، ولكن من جهة أخرى يؤدي لسرعة العبور وبالتالي تراجع معامل الهضم.
- d.** إضافة الأنزيمات إلى علائق الدواجن والخنازير يزيد معامل الهضم: فمثلاً يضاف الغلوكانيز لتحسين هضم الشعير، ويضاف الفاييتيز لتحسين هضم الفوسفور العضوي.