# تجارب الهضم والتمثيل الغذائي

# Digestion and Metabolism Trials

- **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 المعي الغليظ للخيول والأرانب، أو من خلال الأنزيمات المحمولة مع العلف، أو الأنزيمات المضافة لبعض الأعلاف لتحسين معامل هضمها( أنزيم الفيتاز، السيليولاز، الإكسيلاناز، ألفا–أميلاز، بيتا–غلوكاناز، بروتياز...).
2. **الامتصاص Absorption:** وهو عبور الأجزاء الرئيسة للعلف (الحموض الأمينية، الحموض الدهنية والفيتامينات ...) المتحررة في تجويف القناة الهضمية إلى تيار الدم واللمف عن طريق النقل الفعّال أو النقل المُنفَعِل. وقد لوحظ بأن 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 (DC):** تختلف القيمة الغذائية للمواد العلفية باختلاف هذه المواد وتركيبها الكيميائي من جهة، وبدرجة هضمها (انهضاميّتها) في الجهاز الهضمي للحيوان من جهة أخرى. فالحيوان لا يستطيع الاستفادة من كافة المركبات الغذائية التي يتناولها حيث أن الجزء غير المهضوم (غير المستفاد منه) يخرج على شكل روث، أمّا الجزء الآخر من المركبات الغذائية الذي اختفى في الجهاز الهضمي فيُدعى بالجزء المهضوم وهو الذي يستفيد منه الحيوان فعلاً.

ويُعبّر معامل الهضم DC عن: نسبة المادة الغذائية المهضومة من المادة الغذائية المقدّمة (مقدار الاستفادة من المادة الغذائية) ويعطى بالعلاقة:

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

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

- يُقدر الجزء المهضوم للمركبات الغذائية في مواد العلف عن طريق تجارب الهضم (Digestion Trials) 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.هـ.ظ) لأن الروث يختلط عادةً ببعض المركبات الغذائية التي مصدرها جسم الحيوان (خلايا منسلخة، مفرزات) وعند حساب هذه المفرزات وخصم مقدارها من الروث يصبح معامل الهضم حقيقي.
- **مثال:**

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

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

أي أن 60% من المادة الجافة المتناولة يُهضم و40% يُطرح على شكل روث.

- **أهمية حساب معامل الهضم:** يُفيد حساب معامل الهضم للأعلاف أو العلائق 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***).

- **معامل الهضم الظاهري (م.هـ.ظ):**

يُحدَّد ويُحسب بطريقة حسابية كما ذُكر سابقاً، ويُعطي قيم حقيقة لكل من: المستخلص الخالي من الآزوت(NFE)، والألياف الخام (CFA)، والدهن الخام (CF).

أما بالنسبة للبروتين الخام (CP) فيكون معامل الهضم الظاهري أقل من معامل الهضم الحقيقي لأنَّ جزء من البروتين الخام في الروث مصدره البروتين الداخلي.

بالنسبة للعناصر المعدنية لا يُؤخذ به باستثناء العناصر (K،Na،Mg) بالإضافة لـِ (Ca) عند الخيول.

- **وتتألف تجربة الهضم من طورين:**
  a. طور تمهيدي 10 أيام.
  b. طور تجريبي 10– 20 يوم.
- **حساب معامل الهضم الحقيقي (الجزء القابل للامتصاص):**

إنَّ تحديد معامل الهضم بهذه الطريقة يعطي القيمة الحقيقية لمعامل هضم (CP) والعناصر المعدنية لأنه يأخذ بعين الاعتبار المفرزات الواردة إلى الأمعاء والغير قابلة للهضم والتي تخرج مع الروث، ويمكن حساب كمية هذه المفرزات وتقدير البروتين فيها من خلال إجراء تجارب هضم يقدم فيها علائق خالية من الآزوت أو بواسطة المعادلات التراجعية.

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

$$Wv = \frac{F-(K-e)}{F} X\ 100$$

**<u>حيث أنَّ:</u>**

Wv: 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 الفصّة، 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 كلّ من: (المادة الجافة، والمادة العضوية، والألياف الخام، والبروتين الخام). علماً أن التركيب الكيميائي للمادة الجافة لكل من الدريس والروث هو التالي:

| | رماد خام % | ألياف خام % | بروتين خام % |
|---|---|---|---|
| **الدريس** | 10 | 33 | 18 |
| **الروث** | 12 | 34 | 20 |

- **الحل:**

- كمية المادة الجافة المُتناولة = 9X $(\frac{85}{100})$ = 7.65 كغ.
- كمية المادة الجافة المطروحة في الروث = 8 X$(\frac{35}{100})$ = 2.8 كغ.
- النسبة المئوية للمادة العضوية (%) = 100− % للرماد الخام
- أي نسبة المادة العضوية في الدريس 90% وفي الروث 88%.
- حساب معامل هضم المادة الجافة والمادة العضوية والألياف الخام والبروتين الخام:

| | مادة جافة | مادة عضوية | ألياف خام | بروتين خام |
|---|---|---|---|---|
| **الكمية المتناولة (كغ)** | 9×(100/85)= 7.65 | 7.65x(100 /90) = 6.89 | 7.65x(100 /33) = 2.52 | 7.65x(100/ 18) = 1.34 |
| **الكمية المطروحة (كغ)** | 8×(10/35)=2.8 | 2.8x(100 /88) = 2.46 | 2.8x(100 /34) = 0.95 | 2.8x(100 /20) = 0.65 |
| **الكمية المهضومة (كغ)** | 7.65− 2.8 = 4.28 | 6.89−2.46=4.43 | 2.52 − 0.95=1.57 | 1.34−0.56 = 0.78 |
| **معامل الهضم %** | 100 x (7.65/4.28) = %63 | x (6.89 /4.43) 100 = %64 | 100 ×(2.52/1.57) = %62 | 100 ×(1.34/0.87)= %85 |

## - طرق تقدير معامل الهضم (Digestion Estimating 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 يحدث تلبُّك واضطرابات هضمية.
- حيث يتم حساب معامل الهضم للأعلاف المالئة بطرقة مباشرة، ثم تُعطى معها أعلاف مركزة ويحسب معامل الهضم الكلي، وبعد معرفة الزيادة في كمية الروث المطروح ويُخصَم مقدار الهضم للمكون الغذائي في الأعلاف المالئة (المحسوب بالطريقة المباشرة) فنَحصل على معامل هضم المكون الغذائي في الأعلاف المركزة.
- مُلاحظة: (هذه الطريقة غير دقيقة لأنَّ إعطاء الأعلاف على شكل خليط يؤدي إلى زيادة أو نقص معامل هضم مكوناتها مقارنةً مع إعطائها لوحدها).
- **مثال تطبيقي:**

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

**الحل:** – كمية البروتين المتناولة من الدريس = $700 \times (\frac{12}{100})$ = 84 غرام

– كمية البروتين المتناولة من الذرة = $300 \times (\frac{11}{100})$ = 33 غرام

– الكمية المتناولة من البروتين = 84 + 33 = 117 غرام

– كمية البروتين المطروحة مع الروث = $400 \times (\frac{13}{100})$ = 52 غرام

– كمية البروتين المهضوم الكلي = 117-52 = 65 غرام

– كمية البروتين المهضوم من الدريس = $84 \times (\frac{55}{100})$ = 46 غرام

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

– 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 (Indicator Method):

في هذه الطريقة يُضاف بعض المواد المُعلّمة (الملوّنة) غير القابلة للامتصاص (أوكسيد الكروم $Cr_2O_3$) إلى العليقة، أو توجد مواد محمولة مع العلف وغير قابلة للهضم والامتصاص تُستخدم كمواد مُعلّمة (اللغنين/الخشبين Lignin، الرماد غير المنحلّ بحمض HCL) وبتقدير كمية الدليل المتناولة مع العليقة والكمية الخارجة مع الروث يُمكن تطبيق العلاقة التالية لحساب معامل الهضم الظاهري:

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

الغاية من الدليل: معرفة انتهاء عملية هضم المادة العلفية عند خروج الدليل بشكل كامل.

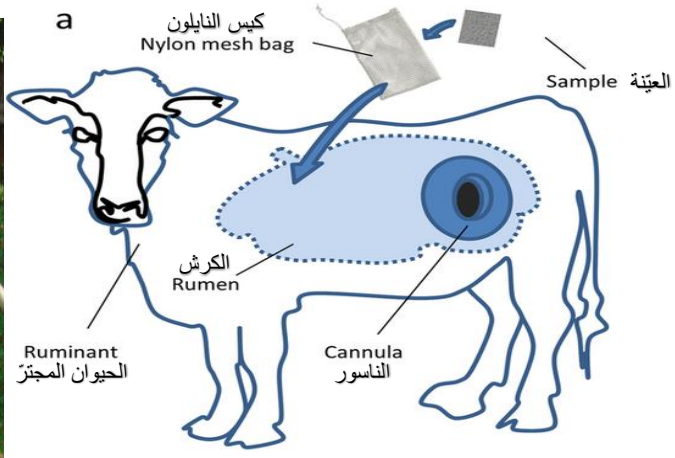
- **مثال تطبيقي:**

عند تقديم مادة علفية لحيوان التجربة والتي تحتوي 24% بروتين أُضيف إليها مادة خاملة بنسبة (1%)، وبعد جمع الروث وتحليله وُجِدَ بأنَّ نسبة البروتين 12% ونسبة المادة الخاملة (2.5%) فيكون معامل الهضم الظاهري للبروتين= $100 - [100\times (1\times12) \div (2.5\times24)] = 80\%$

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

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 (Fistula، Cannula).

الأحياء الدقيقة في الكرش تَعبُر مسامات الكيس وتُهاجم مكونات العينة داخل الكيس. تخرج الأكياس من الكرش بعد فترة التحضين المحددة وتوضع في محلول (ببسين –حمض كلور الماء). يُحسب معامل الهضم من كمية العينة الموضوعة في الكيس والكمية المتبقية فيه بعد التحضين.




والطريقة المعتمدة لتقدير الهضم بطريقة أكياس النايلون هي طريقة: Mehriz et orskov (1977).

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

ويمكن استخدام نفس العلاقة لحساب معامل هضم المكونات الغذائية للأعلاف.

- أهم مميّزات هذه الطريقة (أكياس النايلون) بالمقارنة مع الطريقة المخبرية:

1. سائل الكرش لا يتعرض لأي صدمة حرارية أو هوائية كما هو الحال أثناء أخذ العينات والتحضيرات المختلفة التي تجري قبل وأثناء تحضين العينات بالطريقة المخبرية.
2. بالإضافة إلى ذلك فإنَّ الكيس الذي يحتوي على العينة يبقى على اتصال مباشر مع محتويات الكرش خلال فترة التحضين، بينما في الطريقة المخبرية فإن كمية سائل الكرش المستخدمة تكون محدودة ومأخوذة في وقت محدد.
3. وأخيراً وُجِدَ أنَّ هُناك معامل ارتباط كبير بين قيم معامل الهضم المحسوبة بطريقة أكياس النايلون والقيم المحسوبة بطريقة تجارب الهضم المخبرية.

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

تعتمد هذه الطريقة على تقليد (مُحاكاة) 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 Hemicellulose إلى مركبات ذائبة بفعل الاحياء الدقيقة وأنزيماتها).

وفي المرحلة الثانية تتحلل البروتينات بواسطة الببسين وفي وسط حامضي بوجود HCL. والمركبات التي لا تنحل في المرحلتين تُجمع بعد عملية ترشيح وتُجفَّف ويُسجَّل وزنها، والفرق بين كمية المادة الجافة أو العضوية في العينة قبل التحضين وبعده يُمثّل الجزء المهضوم من العينة، وبتطبيق علاقة حساب معامل الهضم الحقيقي يُمكن حساب معامل هضم المادة العضوية.

✓ 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 لابدّ من توافر ما يلي:

**1-صندوق الهضم(Crate):** عبارة عن صندوق خاص يُوضع فيه الحيوان مُصمَّم 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 ألّا يقل عدد الحيوانات عن 2.

**3-المادة العلفية:** قبل إجراء التجربة تُحسب 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 وعموما تزداد بازدياد حجم الحيوان (الأبقار أكثر من الأغنام ....) وعادة للمجترات من(21-26) يوم، وللدواجن من (7-10) أيام.

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

أ-المرحلة التمهيدية (Preliminary Period): وفيها يُقدَّم 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 (أوكسيد الكروم وغيرها).

ب-المرحلة الرئيسية (Experimental Period): تلي المرحلة السابقة مباشرةً، ويتم فيها جمع البول والروث كل على حدا يومياً، ثم يُخلط الروث ويؤخذ عينة (1%) من الوزن ويرسل للمخبر فوراً لتقدير الآزوت فيه، ثم يُجفف ويحفظ لأجل التحاليل الأُخرى. أما البول فيُقَدَّر حجمه ويُؤخَذ أيضاً (1%) من الحجم. تستمر هذه المرحلة من 6 إلى 10 أيام عند المجترات.

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

هناك مجموعة عوامل تؤثر على معامل الهضم:

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

أ- مستوى أو كمية العليقة المقدمة للحيوان: إذ تقلّ النسب الهضمية كلما زادت كمية العليقة.

ب- التركيب الكيميائي للمادة العلفية: وجود نسب مرتفعة من الألياف الخام عن الحدود المسموح بها يسبب تراجع معامل هضم المادة العضوية في العليقة.

ت- معامل الهضم الارتباطي: يؤثر التوازن بين الطاقة والبروتين في العيقة على معامل الهضم، فمعامل هضم العلائق المركبة لا يطابق متوسط معامل هضم الأعلاف الداخلة في تركيبها.

ث- 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.

ج-وجود بعض مضادات التغذية: يحوي فول الصويا والفول العلفي على مواد مضادة للتربسين (Anti-trypsin)، وهذه المواد تؤثر على معامل هضم المادة العضوية، لذلك يجب التقيُّد بالحدود المسموح بها عند استخدام مواد علفية تحوي مضادات تغذية.

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

أ- نوع الحيوان: تختلف قدرة الحيوانات على هضم المواد الغذائية حسب نوعها، ويعود ذلك إلى اختلاف الخواص التشريحية والفيزيولوجية للجهاز الهضمي عند أنواع الحيوانات المختلفة.

ب- عمر الحيوان: يؤثر من خلال كمية الأنزيمات المفرزة في تجويف القناة الهضمية، فمع تقدم الحيوان بالعمر يزداد إنتاج تلك المفرزات سواءً من الغدد الهضمية أو من الأحياء الدقيقة.

ت- الحالة الصحية للحيوان: إنَّ تعرُّض 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:**

أ- الطحن والجرش: 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.

ب- 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 أنَّ التسخين الزائد لفول الصويا يؤدي لتراجع قوي في معامل هضم البروتين الخام.

ت- التحبيب: يزيد تحبيب الحبوب المطحونة والمواد العلفية الخشنة معدل تناول العلف، ولكن من جهة أخرى يؤدي لسرعة العبور وبالتالي تراجع معامل الهضم.

ث- إضافة الأنزيمات إلى علائق الدواجن والخنازير يزيد معامل الهضم: فمثلاً يضاف أنزيم الغلوكانيز (Glucanase) لتحسين هضم الشعير، ويضاف أنزيم الفيتاز (Phytase) لتحسين هضم الفوسفور العضوي (Organic Phosphorus).

---

**(نهاية الجلسة الخامسة)**