

مقاييس الأغذية وطرق حسابها

(Nutrition Measurements and Methods of Calculation)

- مقدمة:

تمكّن علماء التغذية من خلال الأبحاث العلمية استنباط العديد من المقاييس (Measurements) للتعبير عن فعل الأغذية والأعلاف في جسم الحيوان، وكذلك لأجل مقارنة الأعلاف والأغذية المختلفة، وتختلف هذه المقاييس من بلد لآخر بحسب ظروف توفر المواد العلفية السائدة وأهميتها في التغذية.

ولدراسة تغذية الدواجن يجب أن نذكر المقاييس المستخدمة للتعبير عن الاحتياجات الغذائية اليومية ولتكوين

العلائق:

- التعبير عن الاحتياجات الغذائية: هناك مقاييس مختلفة نذكر منها

1. المكونات الغذائية الرئيسية Major Feed Ingredients: ويُعبّر عنها عادة كنسبة مئوية (%).

2. المكونات الغذائية الموجودة بكميات ضئيلة Minor Feed Ingredients: وهذه مثل الفيتامينات.

1- الوحدات الدولية للصيوان (International Chick Unit) I. C. U.: وهذا المقياس عادة يُستخدم للتعبير عن وحدات فيتامين د₃ (D₃)، وأحياناً يُعبّر عن فيتامين د بالوحدات الدولية (I.U.). وعموماً يُمكن استخدام كلا الوجدتين بالنسبة لفيتامين د.

2- الوحدات الدوائية الأمريكية (U. S. Pharmacopoeia Units) U. S. P. U.: عادة تُستخدم الوحدات الدولية، فمثلاً نقول الوحدة الدوائية الأمريكية تعادل 0.6 ميكرو غرام كاروتين.

3- الوحدات الدولية (International Unit) I. U.: تُستخدم مثلاً للتعبير عن فيتامين هـ (E). والوحدة الدولية I. U. من فيتامين E تعادل 1 ملغ من DL- α -tocopherol Acetate وهي الصورة الثابتة المُحضّرة صناعياً من فيتامين E ويُعتبر مضاد طبيعي للأكسدة.

4- الغرام وأجزأؤه Gram Conversions:

1 ملغ = 1000 ميكروغرام / 1 سنتيغرام = 10 ملغ / 1 ديسيغرام = 10 سنتيغرام / 1 غرام = 10 ديسغ

1 غرام = 1000 ملغ / 1 كيلوغرام = 1000 غرام / 1 ملغ = 0.001 غرام / 1 ميكروغرام = 0.000001 جزء في المليون PPM.

5- السعرات (الحريات) (Calories):

A. السعرات الصغيرة (Small calorie (cal): السعرة الصغيرة أو الحرية (كالوري) هي كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة غرام واحد (1) من الماء درجة مئوية واحدة (من 14.5 م° - 15.5 م°) عند الضغط القياسي (760 مم زئبق). والسعرة الصغيرة لا تستخدم في دراسات التغذية.

B. السعرات الكبيرة (Large calorie (k.cal): السعرة الكبيرة (كيلو كالوري) هي كمية الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة 1000 غ من الماء درجة مئوية واحدة (من 14.5 م° - 15.5 م°) عند الضغط القياسي (760 مم زئبق). (أي أن السعرة الكبير يساوي 1000 سعة صغير).

- السعرة الكبير دائماً يشار إليه بالكيلو كالوري (k.cal).
- القيمة الحرارية يُعبّر عنها كسعرات، ويقصد بها سعرات كبيرة وتكتب حروف كبيرة (K. Cal).

1 كيلو كالوري = 1000 كالوري / 1 ميغا كالوري = 1000 كيلو كالوري

والكالوري الواحد = 4.184 جول / والجول الواحد = 0.239 كالوري

- تُنتج هذه المصادر الغذائية الطاقة الحرارية بنسب متفاوتة (حسب نظام Atwater)، ويرجع ذلك إلى وجود كميات أكبر من الكربون والهيدروجين بالنسبة إلى الأكسجين في الدهون عنها في الكربوهيدرات:

➤ الكربوهيدرات: تنتج (4.15) سعرة كبيرة (كيلو كالوري) لكل 1 غ.

➤ الدهون: تنتج نحو (9.45) سعرة كبيرة (كيلو كالوري) لكل 1 غ.

➤ البروتينات: تنتج (5.65) سعرة كبيرة (كيلو كالوري) لكل 1 غ.

- **الجول (Joule (J):** وحدة قياس الطاقة الحركية (أو الكهربائية)، وهو كمية الطاقة اللازمة لتحريك النقطة التي تقع عليها قوة قدرها واحد نيوتن (n) فتحركها مسافة متر واحد في اتجاه فعل القوة. وكل (4.184) جول تُكافئ وحدة واحدة من وحدات قياس الطاقة الكيميائية (كالوري). أي أن (1) كالوري = (4.184) جول.

6- التعبير عن الاحتياجات الغذائية (/كغ): دائماً فإن مكونات العليقة يعبر عنها كما يلي: (كمية لكل كيلو غرام) وفي أحيان أخرى يُعبّر عنها في صورة كمية لكل طن (وقليلاً ما يُستخدم الطن الكبير metric ton).

- أهم المقاييس الغذائية المستخدمة:

- مجموع المكونات الغذائية المهضومة (T.D.N):

وهو عبارة عن مجموع المكونات الغذائية المهضومة في المادة العلفية. أوجده العالم Lehmann في أمريكا عندما أعطى قيمةً للمركبات الغذائية حسب ما تعطي من طاقة لكل 1 غ منها كما يلي:

(البروتين = 1)، (السكريات = 1)، (الدهن = 2.25)

ويعبر عن مجموع المكونات الغذائية المهضومة (T.D.N) بالعلاقة التالية:

$$T.D.N = [\text{البروتين الخام المهضوم (d.CP)} + \text{الألياف الخام المهضومة (d.CF)} + \text{المستخلص الخالي من الآزوت المهضوم (d.NFE)} + \{ \text{المستخلص الإيثيري المهضوم (d.EE)} \times 2.25 \}]$$

ملاحظة: المستخلص الخالي من الآزوت (d.NFE) هو السكريات الذائبة المهضومة.

المستخلص الإيثيري المهضوم (d.EE) هو الدهن الخام المهضوم.

ولحساب مجموع هذه المكونات لابدّ من توفر المعلومات الضرورية:

1- التركيب الكيميائي للمادة العلفية.

2- معامل الهضم (D.C) لكل مركب غذائي فيها.

3- حساب المركبات الغذائية المهضومة (D.N) عن طريق ضرب معامل الهضم بالتركيب الكيميائي للمادة.

$$\text{المركب الغذائي المهضوم (D.N)} = \% \text{ التركيب الكيميائي لهذا المركب الغذائي} \times \% \text{ معامل الهضم}$$

وتجمع بعدها المركبات المهضومة بعد (ضرب كمية الدهن بـ 2.25)، وذلك لأن الطاقة الصافية الناتجة عن غرام واحد من الدهن تزيد بحوالي 2.25 مرة عن الطاقة الصافية التي ينتجها غرام واحد من البروتين أو السكريات.

- **مثال:** احسب مجموع المكونات الغذائية المهضومة (T.D.N) في حبوب الذرة البيضاء إذا علمت بأن التحليل الكيميائي لمكونات الغذاء ومعامل هضمها كما يلي:

المكون الغذائي	النسبة المئوية %	معامل الهضم %
بروتين خام	10.9	78
دهن خام	3	78
ألياف خام	2.3	58
سكريات ذائبة	70.7	91

- تُحسب المركبات الغذائية المهضومة (D.N):

$$\begin{aligned} \bullet \text{ البروتين الخام المهضوم} &= \frac{78 \times 10.9}{100} = 8.5 \\ \bullet \text{ الألياف الخام المهضومة} &= \frac{58 \times 2.3}{100} = 1.3 \\ \bullet \text{ السكريات الذائبة المهضومة} &= \frac{91 \times 70.7}{100} = 64.3 \\ \bullet \text{ الدهن الخام المهضوم} &= \frac{78 \times 3}{100} = 2.34 \end{aligned}$$

$$\text{نحسب الـ T.D.N} = 8.5 + 1.3 + 64.3 + (2.25 \times 2.34) = 79.4$$

- يُمثل مقياس T.D.N إلى حد ما القيمة الحرارية لمادة العلف وهو مهم في تقييم الأعلاف وتكوين العلائق الاقتصادية المتزنة للحيوانات الزراعية وفق الطريقة الأمريكية.
- يعتبر مقياس الـ T.D.N صحيحاً في حالة الأعلاف المركزة ولحدود معامل الهضم (75%) أو أكثر.
- يمكن حساب الـ T.D.N من العلاقة:

$$\text{T.D.N} = \text{كمية المادة العضوية المهضومة} + (\text{كمية الدهن الخام المهضوم} \times 2.25)$$

- كمية المادة العضوية (غ/كغ) تحسب بعد معرفة قيمتها المتناولة والكمية المطروحة مع الروث.
- يمكن تحويل قيمة الـ T.D.N إلى طاقة استقلابية كما يلي:

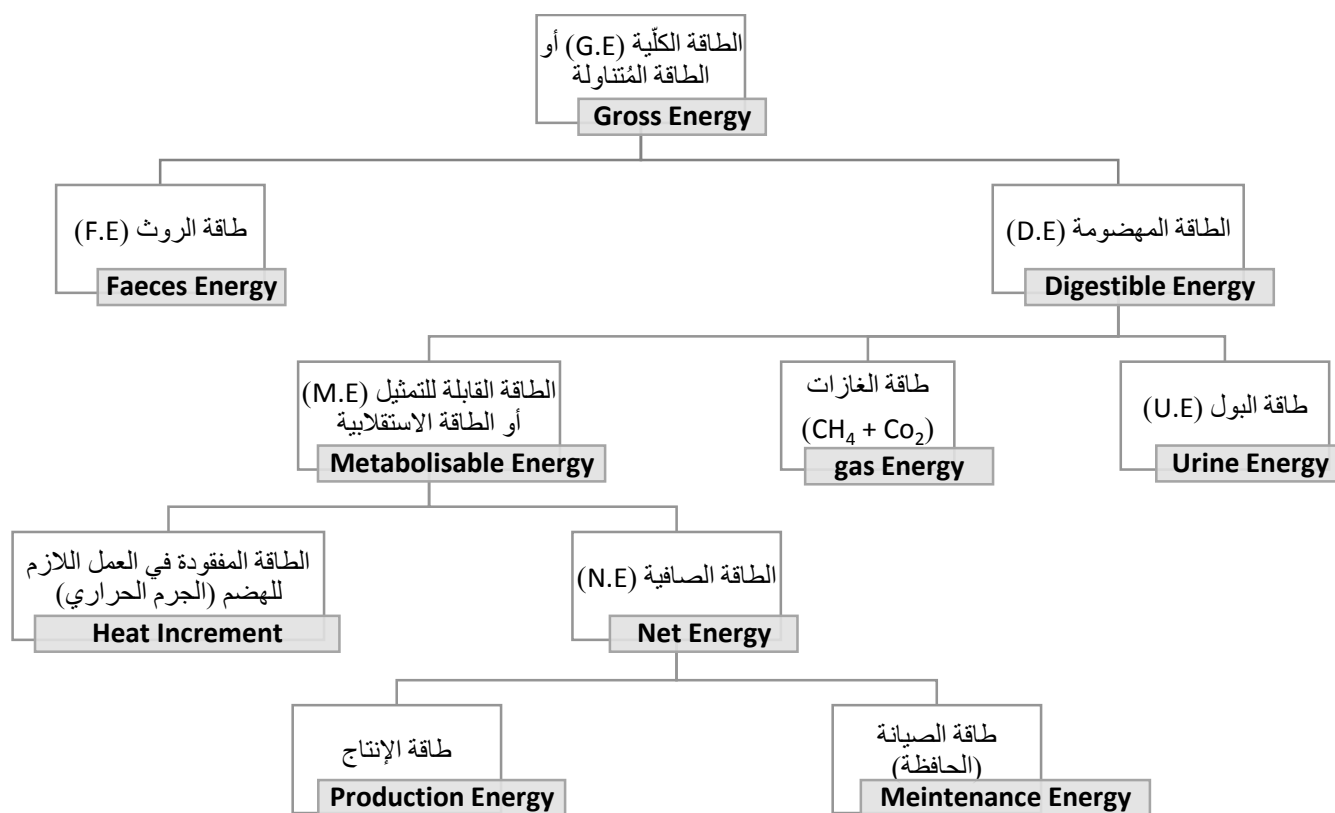
كل 1 غرام T.D.N = 3.65 كيلو كالوري من الطاقة القابلة للتمثيل (M.E) عند المجترات.

كل 1 غرام T.D.N = 4.10 كيلو كالوري من الطاقة القابلة للتمثيل (M.E) عند الحيوانات وحيدات المعدة.

- تقدير الطاقة الغذائية في الأعلاف (Estimation of Energy in Feed):

يحتوي العلف على كمية من الطاقة التي يستخدم الحيوان جزءاً كبيراً منها لحفظ حياته، وما يزيد عن ذلك يتحول إلى منتجات مختلفة، فالحيوانات النامية (في مرحلة النمو) تخزن الطاقة بشكل بروتينات، والبالغة بشكل دهون وشحوم، والأبقار الحلوب تحوّل الطاقة في العلف إلى طاقة في مكونات الحليب المختلف، والدجاج البياض إلى بيض. وعندما لا يتناول الحيوان احتياجاته من الطاقة خصوصاً تلك اللازمة لحفظ حياته، فإنه يحصل عليها عن طريق هدم الاحتياطي المخزن في جسمه بشكل غليكوجين، وإذا نفذ الغليكوجين يلجأ إلى استخدام الدهون وأخيراً البروتينات.

ويمكن تقسيم الطاقة الموجودة في العلف وفقاً لمراحل هضمها وامتصاصها وتمثيلها واستخدامها في جسم الحيوان إلى ما يلي:



(مخطط يوضح مراحل استقلاب الطاقة في جسم الحيوان)

- **الطاقة الكلية أو الخام Gross Energy (G.E):** وهي الطاقة الموجودة في العلف قبل أن يتناوله الحيوان. وتُقدَّر بحرق هذه المادة أو عينة منها في جهاز يسمى المسعر الحراري (Calorimeter). والوحدة المستخدمة لقياسها هي السَّعر الحراري (الكالوري Calorie) ومضاعفاته، (والياً يستخدم الجول Joule في معظم الجداول العلفية خصوصاً البريطانية والأمريكية)، وتُعرف آخر هي كمية الحرارة التي تنتج من الأكسدة الكاملة للمادة الغذائية عند حرقها في المسعر الحراري تحت ضغط مرتفع من الأوكسجين يوازي 25 - 30 مثل (ضعف) الضغط الجوي. والطاقة الكلية الموجودة في الأعلاف لا تُعطي صورة واضحة عن مدى استفادة الحيوان من هذه الطاقة حيث أنَّ كمية كبيرة من هذه الطاقة تُفقد أثناء عمليات الهضم والتمثيل الغذائي.
- **الطاقة المهضومة Digestible Energy (D.E):** وهي كمية الطاقة التي يحصل عليها الحيوان من غذاؤه وتحسب بالفرق بين الطاقة الكلية للمادة الغذائية مطروحاً منها الطاقة الكلية للروث (الطاقة الكلية - الطاقة الخارجة مع الروث). ويُعبَّر عنها بالطاقة المهضومة الظاهرية.

- **الطاقة القابلة للتمثيل (الاستقلابية) (M.E):** ويُعبّر عنها أيضاً بالمجهود الفسيولوجي النافع وهي تساوي [الطاقة الكلية للمادة الغذائية] مطروحاً منها [الطاقة المفقودة في الروث والطاقة المفقودة في النواتج الغازية للهضم (غاز CH_4 ، CO_2) والطاقة المفقودة في البول].
تُوجد الطاقة المختزنة في البول عادةً في المركبات الآزوتية مثل اليوريا وحمض البولة، والغاز هو غاز الميثان (CH_4) في المجترات، وقد وجد أن حوالي (8%) من الطاقة الكلية الموجودة في العليقة يتم فقده بشكل غاز الميثان. وتُقدّر الطاقة القابلة للتمثيل بطريقة مماثلة لتلك المستخدمة في تقدير الطاقة المهضومة إلا أنه في الطاقة القابلة للتمثيل يتم جمع البول والميثان بالإضافة إلى الروث، ويُجمع البول عند المجترات في أكياس بلاستيكية تُربط على البطن في الذكور، وتحت الفتحة التناسلية في الإناث، أمّا كمية الميثان الناتجة فيمكن قياسها في حجرة (غرفة) خاصة محكمة الإغلاق تسمى الغرفة التنفسية (Respiration chamber). وعادةً تُحسب الغازات المطروحة على أنها تمثل حوالي (8%) من الطاقة الكلية الموجودة في المادة أو في الخلطة العلفية وخصوصاً في حالة عدم توفر الغرفة التنفسية لقياسها (أي أنّ 8% من الطاقة الكلية في المادة العلفية تفقد على شكل غاز الميثان عند مستوى الإدامة).

- ويُمكن تقدير الطاقة القابلة للتمثيل عن طريق ضرب الطاقة المهضومة بـ (0.8) وهذا يعني أنّ حوالي (20%) من الطاقة المهضومة يُفقد مع البول وغاز الميثان، و (80%) منها يكون قابل للتمثيل.
- **الطاقة الصافية (Net Energy (N.E):** وهي كمية الطاقة الممتلئة مطروحاً منها الحرارة المفقودة في التمثيل الغذائي (الجرم الحراري Heat increment) وهي تُعبّر عن كمية الطاقة التي يستعملها الحيوان في المحافظة على حياته (NE_M) وحدها أو مضافاً إليها الطاقة الإنتاجية (NE_P) والأخيرة قد تكون الطاقة الصافية للنمو (NE_G) أو الطاقة الصافية للتسمين (NE_F) أو الطاقة الصافية لإنتاج الحليب (NE_{Milk}) أو الطاقة الصافية لإنتاج البيض (NE_{Egg}). كما يدخل في هذا التقسيم أيضاً الطاقة الصافية المبذولة في العمل (NE_{Work}).

يفقد الحيوان بالإضافة إلى الطاقة الخارجة مع الروث والبول على شكل غاز الميثان، طاقة حرارية يطرحها إلى الوسط المحيط به بشكل مباشر عن طريق الإشعاع والتوصيل، أو بشكل غير مباشر عن طريق تبخر الماء. فإذا أُعطي حيوان ما بعد فترة من الجوع كمية من العلف، فإنّه بعد ساعاتٍ من ذلك يُنتج كميةً من الحرارة أكثر مما ينتج عندما كان جائعاً. والحرارة الزائدة هذه لا نفع منها للحيوان، لذا تُعتبر حرارة (طاقة) ضائعة. وتُلاحظ هذه الظاهرة عند الإنسان بعد تناوله وجبة دسمة من الطعام. وتُدعى هذه الطاقة المفقودة بالجرم الحراري أو الحمل الحراري أو الضريبة الحرارية Heat increment التي يدفعها الجسم نتيجة تناول الطعام، وما يُنتج عن ذلك من عمليات استقلابية مختلفة تولد هذه الحرارة. فالطاقة الصافية هي إذاً:

$$\text{الطاقة القابلة للتمثيل (M.E) - الطاقة الحرارية المفقودة (الجرم الحراري)}$$

ولقياس الطاقة الصافية يجب معرفة كمية الطاقة القابلة للتمثيل وكمية الطاقة المفقودة على شكل حرارة (الجرم الحراري). ويُمكن حساب الطاقة المفقودة بطريقتين:

- a. الطريقة المباشرة: باستخدام المسعر التنفسي (Respiration calorimeter) وهو عبارة عن جهاز يدخل إليه الحيوان، والجهاز يحتوي على أجهزة دقيقة وحساسة تستطيع قياس كمية الحرارة التي يفقدها الحيوان.
- b. الطريقة غير المباشرة: وهي تعتمد على مبدأ تبادل الغازات، وأكسجين الهواء يتفاعل مع كربون وهيدروجين المادة العلفية المراد قياس الفقد الحراري الناجم عن استهلاكها من قبل الحيوان، فينتج الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون وطاقة. فكمية الأوكسجين التي يحتاجها الجسم تختلف باختلاف المادة العلفية المتناولة، وكذلك كمية غاز ثاني أكسيد الكربون المطروحة من الجسم تختلف باختلاف المادة التي تمت أكسدتها. وبمعرفة العلاقة بين كمية الأوكسجين التي يأخذها الحيوان وكمية غاز ثاني أكسيد الكربون التي يطرحها يمكن الحكم على طبيعة المادة العلفية التي تأكسدت داخل الجسم، وكمية الطاقة التي نتجت عنها.

وتقدير الطاقة الصافية هو من أحد الأنظمة العملية المستخدمة لتقدير الطاقة بالنسبة للحيوانات جميعاً أبقاراً وأغناماً وخنائير ودواجن، وذلك بالنسبة لتقدير الطاقة بالأعلاف من جهة ولمعرفة احتياجات الحيوان من جهة أخرى.

مثال: إذا كان حيوان يكتسب (4) ميغا كالوري في كل (1) كغ زيادة في وزنه، وإذا كانت العليقة تحتوي على (1) ميغا كالوري من الطاقة الصافية في كل (1) كغ عندما تستخدم لتكوين الدهن، فإن كمية العلف اللازمة لتكوين (1) كغ زيادة في الوزن هي $(4 = 1 \times 4)$ كغ.

وإذا كانت الطاقة الموجودة في العلف مقدرة بالطاقة القابلة للتمثيل، فإن الحساب يصبح أكثر تعقيداً. بحيث نحتاج في هذه المرحلة إلى معرفة معدل الاستفادة من هذه الطاقة القابلة للتمثيل. هل (60%، 70% أو ربما 80%... الخ).

في الوقت الحاضر: تُستخدم الطاقة المهضومة لحساب القيم الغذائية والاحتياجات بالنسبة للخنائير والخيول. والطاقة القابلة للتمثيل في الدواجن. كما أن هذين النظامين يُستخدمان في المجترات في الولايات المتحدة الأمريكية ودول الاتحاد السوفيتي (سابقاً). أما في أوروبا فيفضل استخدام نظام الطاقة الصافية.

تُقدَّر الطاقة الخام (الكليّة) G.E في مواد العلف والأغذية بطريقتين:

- الأولى باستخدام المسعر الحراري (Bomb Calorimeter): وهي الطريقة الأكثر دقة.
- الثانية تعتمد على التركيب الكيميائي لحساب قيمة الطاقة.

أولاً: تقدير الطاقة الخام (الكليّة) G.E باستخدام جهاز المسعر الحراري (Bomb Calorimeter): حيث يتم حرق العينة بشكل كامل في أسطوانة الاحتراق المشحونة بالأكسجين والمغمورة بكمية محددة من الماء على درجة حرارة محددة، وعند احتراق العينة تنطلق الحرارة التي تقوم برفع درجة حرارة الماء المحيط بأسطوانة الاحتراق، ومن خلال معرفة مقدار ارتفاع درجة حرارة الماء يتم حساب كمية الطاقة الخام الموجودة في العينة.

الحساب: تقدر كمية الطاقة الخام (الكليّة) بتطبيق العلاقة التالية:

$$GE = \frac{E(t_2 - t_1) - (a + b)}{p}$$

حيث أن: G.E : كمية الطاقة الخام (الكليّة) الموجودة في العينة (كالوري). P : وزن العينة (غرام).

t₁: درجة حرارة الماء قبل حرق العينة. t₂ : درجة حرارة الماء بعد حرق العينة.

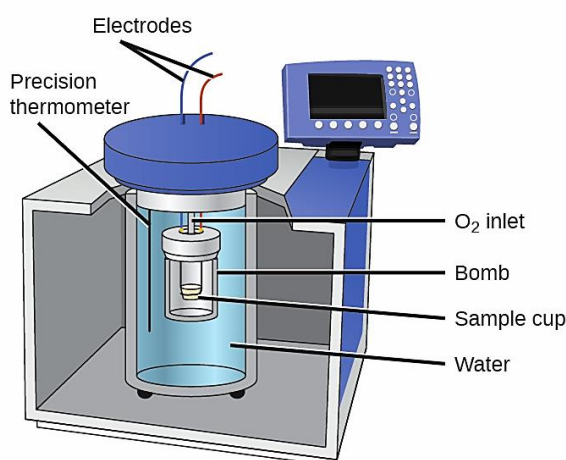
a : مقدار التصحيح الناتج عن تشكل الأحماض = حجم كاربونات الصوديوم 0.0725 نظامي (مل).

b : مقدار التصحيح للسلك (كمية الطاقة الناتجة عن احتراق 1 سم من السلك تكون مرفقة مع السلك).

E : معادل الطاقة للجهاز (وغالباً يكون مرفق بالجهاز).



(a)



(b)

جهاز المسعر الحراري (Bomb Calorimeter)



جهاز المسعر الحراري (Bomb Calorimeter)

- أجزاء المسعر الحراري (Bomb Calorimeter):

1- **جسم المسعر:** وهو محاط بطبقة تملأ بالماء ويتسع داخله لوعاء (سطل) أسطوانة الاحتراق، ويغلق جسم المسعر بإحكام ويحتوي على فتحة لميزان الحرارة وفتحة لموصل حركة خلاط الماء.

2- **وعاء أسطوانة الاحتراق (سطل):** وهو وعاء أسطواني الشكل توضع بداخله أسطوانة الاحتراق وكمية محددة من الماء على درجة حرارة محددة وبداخله خلاط لضمان تجانس درجة حرارة الماء المحيط بأسطوانة الاحتراق.

3- **أسطوانة الاحتراق:** يحتوي غطاؤها على حامل العينة وقطبي التوصيل الكهربائي وصمام حقن الأوكسجين.

4- ملحقات المسعر:

1- لوحة المفاتيح الكهربائية وتشمل مفاتيح السخان الداخلي والخارجي ومفتاح تشغيل لمبات الإشارة.

ب- سخان ماء كهربائي.

د- حامل تثبيت أسطوانة الاحتراق.

ج- أسطوانة غاز الأوكسجين وملحقاتها.

هـ- مكبس تحضير العينات.

5- المواد والكواشف:

1- محلول كربونات الصوديوم أو ماءات الصوديوم تركيز (0.0725) نظامي.

2- حمض البنزويك.

3- أحمر الميثيل.

ثانياً: تقدير الطاقة باستخدام الطرق الحسابية:

أ-الطريقة الأولى: تعتمد على التركيب الكيميائي للأعلاف ومعامل الهضم والتي تحدد كمية المركبات الغذائية المهضومة وبعدها يتم حساب الطاقة القابلة للتمثيل باستخدام المعادلات المحددة لنوع الحيوان. ويحتوي كل (1) كغ على طاقة قابلة للتمثيل تعادل كيلو جول.

تستخدم المعادلة التالية لحساب الطاقة القابلة للتمثيل في الأبقار:

$$\text{الطاقة القابلة للتمثيل للأبقار} = (DP * 17.46) + (DF * 31.23) + (DFA * 13.65) + (NFE * 14.78)$$

وللأغنام تستخدم المعادلة التالية:

$$\text{الطاقة القابلة للتمثيل للأغنام} = (DP * 17.71) + (DF * 37.89) + (DFA * 13.44) + (NFE * 14.78)$$

وللخيول تستخدم المعادلة التالية:

$$\text{الطاقة القابلة للتمثيل للخيول} = (DP * 19.46) + (DF * 35.43) + (DFA * 15.95) + (NFE * 15.95)$$

حيث: (ME: الطاقة القابلة للتمثيل) / (DF: دهن مهضوم) / (DP: بروتين مهضوم) / (DFA: ألياف مهضومة) / (NFE: المستخلصات الخالية من الآزوت).

مثال: إذا كان التركيب الكيميائي للأعشاب النجيلية البقولية هو التالي (2.4%) بروتين خام، و(0.6%) دهن، و(6%) ألياف و(12.5%) المستخلصات الخالية من الآزوت، وفي تجربة للهضم حُدد معامل الهضم للمركبات الغذائية فكان كالتالي: (البروتين 60%)، (الدهن 52%)، (الألياف 68%)، (المستخلصات الخالية من الآزوت 78%). ومن خلال البيان عن التركيب الكيميائي ومعامل الهضم يمكن معرفة أن (1) كغ من الأعشاب يحتوي على:

بروتين مهضوم 14.4 غ (24×60/100).

دهن مهضوم 3.1 غ (6×52/100).

ألياف مهضومة 40.8 غ (68×60/100).

مستخلصات خالية من الآزوت 97.5 غ (98×125/100).

لحساب كمية الطاقة القابلة للتمثيل في (1) كغ من الأعشاب تستخدم المعادلة الخاصة بالأبقار:

$$(14.78 \times 97.5) + (13.65 \times 40.8) + (3.23 \times 3.1) + (17.46 \times 14.4) = ME$$

$$ME = 2346.2 \text{ كيلو جول} \quad \text{أو} \quad ME = 2.35 \text{ ميغا جول}$$

وتوجد معادلات أخرى لحساب الطاقة الخام تستند إلى نتائج التحليل الكيميائي واستخدام المركبات الغذائية الخام مثل طريقة شيمان (1971 Schiemann):

$$GE = 5.72 CP + 9.50 CF + 4.79 CFA + 4.17 NFE \pm \Delta$$

حيث:

GE = قيمة الطاقة الخام (كالوري / كغ علف).

CP = كمية البروتين الخام ($6.25 \times N$) (غرام / كغ علف).

CF = كمية الدهن الخام (غرام / كغ علف).

CFA = كمية الألياف الخام (غرام / كغ علف).

NFA = كمية المستخلصات الخالية من الآزوت (غرام / كغ علف).

Δ = معامل تصحيح يختلف حسب طبيعة مادة العلف كما في الجدول رقم (1).

ب- الطريقة الثانية: يمكن حساب الطاقة القابلة للتمثيل من الطاقة المهضومة للأعلاف إذ من المعروف أن 1 غ من مجموع المركبات المهضومة للمجترات والخنازير يساوي 18.43 ك جول (4.41 ك ك).

العلاقة بين الطاقة المهضومة والطاقة القابلة للتمثيل للأبقار (0.82) (الطاقة القابلة للتمثيل تساوي 82% من الطاقة المهضومة)، ولالأغنام (0.87) وللخيول (0.92) وللخنازير (0.94). نضرب طاقة مجموع المركبات المهضومة بالعامل المطابق حسب نوع الحيوان نحصل على محتوى الأعلاف من الطاقة القابلة للتمثيل.

الجدول (1): يبين معامل التصحيح للأعلاف الأكثر استعمالاً في تغذية الحيوان.

مادة العلف	معامل التصحيح
1- الحبوب النجيلية ومخلفات تصنيعها :	
شعير	31+
شوفان	58+
ذرة صفراء	8-
قمح	17-
نخالة قمح	231+
تقل البيرة	45+
خميرة البيرة	47-
نشا	30-
2- حبوب بقولية وزيتية ومخلفات تصنيعها :	
جلبان	113-
فول صويا	78-
فول سوداني	7+
بذور عباد الشمس	269-
بذور القطن	133-
كسبة فول الصويا	94-
كسبة الفول السوداني	156-
كسبة عباد الشمس	57-
3- الجذور والدرنات :	
شوندر علفي	173-
تقل شوندر جاف	76-
بطاطا	38-
جزر	147-
4- مواد علف من أصل حيواني :	
مسحوق اللحم	54-
مسحوق السمك	50+

في المثال السابق كان قد حدد في 1 كغ من الأعشاب محتوى المركبات الغذائية المهضومة:

بروتين مهضوم 14.4 غ، دهن مهضوم 3.1 غ، ألياف مهضومة 40.8 غ والمستخلصات الخالية من الآزوت 95.5 غ. مجموع المركبات الغذائية المهضومة في هذا المثال:

$$T.D.N = 97.5 + 40.8 + 2.25 \times 3.1 + 14.4 = 159.7 \text{ غ}$$

الطاقة الحسابية لمجموع المركبات المهضومة: $2942.7 = 18.43 \times 159.7$ كيلو جول طاقة مهضومة.

بعدها نحسب كمية الطاقة القابلة للتمثيل للأبقار باستخدام العامل الحسابي 0.82:

$$2942.7 \text{ كيلو جول} \times 0.82 = 2413 \text{ كيلو جول أو } 2.41 \text{ ميغا جول / كغ طاقة قابلة للتمثيل.}$$

ج-**الطريقة الثالثة:** لتحديد الطاقة القابلة للتمثيل للأبقار في الأعلاف يمكن استخدام ثابت (J. AKSELSON) اقترحه أكسلون، وحسب ثابت أكسلون: 1 غ من مجموع المركبات المهضومة يساوي 15.45 ك جول (3.69 ك (ك) طاقة قابلة للتمثيل.

نحسب الطاقة القابلة للتمثيل في هذه الطريقة للمثال السابق. مجموع المركبات المهضومة في المثال هي 159.7 غ ولتحديد كمية الطاقة القابلة للتمثيل للأبقار، يجب ضرب مجموع المركبات المهضومة بالثابت الذي اقترحه أكسلون.

$$2467 = 15.45 \times 159.7 \text{ ك جول أو } 2.47 \text{ ميغا جول طاقة قابلة للتمثيل.}$$

ثالثاً: طرق أخرى لتقدير الطاقة في المواد العلفية: ومنها:

A. نظام معادل النشا (Starch Equivalent):

وهو مقياس يعبر عن قدرة مادة العلف على تكوين الدهن بجسم الحيوان. وقد وضع هذا النظام العالم Kellner عام 1905 في ألمانيا وذلك بإجراء سلسلة من تجارب التنفس والموازنة على الثيران البالغة، وقام بتقدير قدرة مواد العلف المختلفة على تكوين الدهن بالجسم مقارنة بقوة النشا، وقد اختار كلنر (Kellner) أسم معادل النشا للتعبير عن الطاقة الصافية لمواد العلف لأن الفلاحين ومربي الماشية في ذلك الوقت من نهاية القرن التاسع عشر كان من الصعب عليهم الأخذ بالكالوري كوحدة للطاقة. وهذا النظام مازال يستخدم في ألمانيا وفي بعض الدول الأخرى.

وتقدر قيمة الغذاء حسب هذا النظام بما ينتجه من دهن في جسم ثيران تامة النمو، أعطي لها هذا الغذاء زيادة عن العليقة الحافظة بحيث لا يتكون في جسمها نتيجة تناول الغذاء إلا الدهن. ثم تقدر طاقة الدهن المتشكل في الجسم (1 غ دهن يعطي 9.5 K.caL) ثم تحول كمية الطاقة إلى ما يعادلها من كمية النشا.

وبعبارة أخرى فإن معادل النشا يُعبر عن: عدد كيلوغرامات النشا المهضوم التي تُكوّن في جسم حيوان تام النمو نفس كمية الدهن التي تكونها 100 كغ من مادة العلف بعد سد الاحتياجات الحافظة.

إعطاء (1 كغ) نشا نقي للثيران تامة النمو إضافة للعليقة الحافظة يؤدي إلى تشكل كمية (248 غ) من الدهن في جسم الحيوان، وهذه الكمية من الدهن تحتوي (2360 K.cal) من الطاقة (248 × 9.5).

وقد وجد كلنر إمكانية حساب معادل النشا لمواد العلف بإجراء تجارب هضم فقط دون الحاجة إلى استخدام غرف التنفس الباهظة التكاليف، وذلك بإيجاد المركبات المهضومة T.D.N ثم ضرب كل منها في معادل النشا له والمتحصل عليه من تجارب التنفس، ثم جمع الناتج، وعندما قارن معادل النشا المتحصل عليه بالحساب (من تجربة الهضم) بمعادل النشا الفعلي المتحصل عليه (من تجارب التنفس) وجد أن الحسابي يزيد بدرجة قليلة عن الفعلي. وعُلل الفرق بينهما في الطاقة المفقودة من الغذاء أثناء مضغه ونقله بالقناة الهضمية وسمي ذلك بفعل الهضم (Work of digestion).

وقد لاحظ كلنر أن الفرق يزيد كلما زادت نسبة الألياف الخام بمادة العلف الخشنة وذلك بمقدار (0.58) وحدة لكل (1%) ألياف خام وعلى ذلك يُضرب هذا العامل (0.58) في النسبة المئوية (%) للألياف الخام، ويُخصم الناتج من معادل النشا الحسابي للحصول على معادل النشا الفعلي للمواد الخشنة. وبالنسبة لمواد العلف الخضراء تُستخدم العوامل (0.29 – 0.58) وذلك تبعاً لنسبة الألياف الخام بها (4–16%). ولإيجاد معادل النشا الفعلي للمواد المركزة لم يستخدم كلنر طريقة التصحيح للألياف بل استخدام الرقم الغذائي (Value number).

$$\text{الرقم الغذائي (للمواد المركزة)} = \frac{\text{معادل النشا الفعلي}}{\text{معادل النشا الحسابي}} \times 100$$

ومنه يكون: معادل النشا الفعلي = معادل النشا الحسابي × الرقم الغذائي

وفي حالة عدم معرفة الرقم الغذائي للمادة المركزة فإنه يجري خصم الألياف بها بمعدل (0.3 كغ) معادل نشا لكل (1%) ألياف خام، وعلى ذلك يضرب هذا العامل (0.3) في النسبة المئوية (%) للألياف الخام ويخصم الناتج من معادل النشا الحسابي للحصول على معادل النشا الفعلي. وقد وجد أن الأرقام الناتجة لا تختلف كثيراً عن المتحصل عليها باستخدام الرقم الغذائي من جداول كلنر (وهو 100 للشعير، 98 لكسب الفول السوداني، 97 لكسب الكتان...).

ويلاحظ أن القيمة الغذائية في الـ T.D.N قريبة جداً من معادل النشا الحسابي في كل من المادتين الخشنة والمركزة، ولكن الفرق بين T.D.N وبين معادل النشا الفعلي كبير في حالة دريس البرسيم حيث يبلغ (18.1) وحدة بينما الفرق قليل في حالة كسب الكتان حيث يبلغ (2.6 وحدة)، ويتضح من ذلك أن مقياس T.D.N يُقيّم مواد العلف الخشنة بأكثر مما تستحق من حيث إنتاج الطاقة الصافية في صورة دهن، كما أن مقياس معادل النشا، ولو أنه صحيح بالنسبة لتسمين الحيوانات تامة النمو، إلا أنه بالنسبة لإنتاج اللبن فأن البروتين المهضوم تكون قيمته النشوية نحو مرة ونصف قيمته لإنتاج الدهن (ولذلك يُضرب بـ 1.43 بدلاً من 0.94).

B. النسبة الغذائية (NR) Nutritive Ratio: وهي نسبة البروتين الخام المهضوم (DCP) إلى المكونات العضوية غير الآزوتية المهضومة في مادة العلف (بما فيها الدهن الخام مضروباً بـ 2.25) ويُعبّر عنها بالقانون:

$$\text{النسبة الغذائية} = \frac{\text{البروتين الخام المهضوم}}{\text{السكريات الذائبة المهضومة} + \text{الألياف الخام المهضومة} + (\text{الدهن الخام المهضوم} \times 2.25)}$$

ونحسب النسبة الغذائية: بقسمة مجموع المكونات الغذائية المهضومة للغذاء (T.D.N) على نسبة البروتين المهضوم ويطرح (1) من ناتج القسمة للحصول على الرقم الثاني للنسبة الغذائية $(1 - \frac{\%T.D.N}{\%DCP})$.

مثال: للحصول على النسبة الغذائية للذرة والتي تحتوي على 6.9% بروتين مهضوم و 81.9% T.D.N نعد إلى ما يلي:

$$11.9 = \frac{\%81.9}{\%6.9} = \frac{\%T.D.N}{\%DCP} \quad \leftarrow \quad 10.9 = 1 - 11.9 \quad \text{وهو الرقم الثاني للنسبة الغذائية.}$$

ونكتب هذه النسبة على الشكل التالي (10.9 : 1) وهذا يعني أن كل (1) كغ من البروتين المهضوم في الذرة يقابله (10.9) كغ مكونات غير آزوتية مهضومة بما فيها الدهن مضروباً بـ 2.25.

فالعلاقة الغنية بالبروتين والفقيرة في المواد غير الآزوتية نقول عنها بأنها ذات نسبة غذائية ضيقة وبالعكس نقول عن العلاقة بأن لها نسبة غذائية واسعة إذا زادت محتوياتها من المواد غير الآزوتية كثيراً عن مقدار ما تحتويه من البروتين.

C. نظام الوحدات الغذائية الاسكندنافية: استخدم مقياس وحدة الشعير أو الوحدة العلفية في كل من فرنسا وهولندا والدول الاسكندنافية في تقويم المواد العلفية بدلاً من تقديمها على أساس معادل النشا. ولقد قام بتعديلها العالم نلز هانسون (Nils Hanson) عندما استخدمها في تغذية الأبقار الحلوب. ووجد أن كل وحدة علفية (وحدة غذائية) تساوي في حال استخدامها في تسمين الأبقار (0.6 كغ) مكافئ نشا أمّا عند استخدامها في إنتاج الحليب فهي تساوي (0.7 كغ) مكافئ نشا.