



# 测定鱼类饲料原料营养成分消化率的计算方法\*

## THE CALCULATING METHOD OF DIGESTIBILITY DETERMINATION OF NUTRIENTS IN FISH FEED INGREDIENTS

游文章 雍文岳 廖朝兴 吴建开 文 华

(中国水产科学研究院长江水产研究所, 沙市 434000)

You Wenzhang, Yong Wenyue, Liao Chaoxing, Wu Jiankai and Wen hua

(Changjiang Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shashi 434000)

关键词 饲料原料, 消化率

KEYWORDS feed ingredient, digestibility,

为了测定鱼类饲料原料营养成分消化率, C.Y.Cho 等人(1979)用被测饲料原料取代一部分基准饲料配制成试验饲料, 根据基准饲料和试验饲料营养成分的消化率计算饲料原料营养成分的消化率, 这一方法已被一些研究者采用<sup>[4,5,6]</sup>。但 C.Y.Cho 等人根据他们试验饲料的配比, 即被测饲料原料和基准饲料构成的重量比(W:W)为 3:7, 提出饲料原料营养成分消化率的计算方法

$$\frac{\text{饲料原料营养成分的表观消化率}}{\text{试验饲料营养成分的消化率} - 0.7 \times \text{基准饲料营养成分的消化率}} = \frac{1}{1 - 0.7} \quad (1)$$

有误。因此, 本文将从理论上推导 C.Y.Cho 方法测定饲料原料营养成分消化率的计算公式, 对推导的公式进行理论评价和试验验证。

## 计算公式推导和评价

### (一) 计算公式推导

根据 C.Y.Cho 等人的试验设计<sup>[8]</sup>和饲料营养成分表观消化率的定义, 笔者对饲料原料营养成分表观消化率计算公式推导如下:

设:  $I_T$  为试验饲料某营养成分摄取量,  $I_i$ 、 $I_R$  分别为摄取的试验饲料中被测饲料原料和基准饲料某

\* 本所王 东同志进行计算机绘图, 并对数学推导和数据处理给予大力帮助, 黄忠志研究员阅审, 在此一并感谢。

收稿年月: 1992年4月; 同年12月修改。

营养成分量;  $W_T$  为试验鱼摄取试验饲料重量,  $W_R$  为摄取的试验饲料中基准饲料重量;  $X_T, X_R$  分别为试验饲料和基准饲料某营养成分含量(%);  $F_T$  为试验鱼粪便中某营养成分排出量,  $F_i, F_R$  分别为被测饲料原料和基准饲料在粪便中的某营养成分排出量;  $D_T, D_R$  和  $D_i$  分别为试验饲料、基准饲料和被测饲料原料某营养成分表观消化率。根据消化率定义:

$$D_i(\%) = \frac{I_i - F_i}{I_i} \times 100$$

因为

$$I_i = I_T - I_R; F_i = F_T - F_R$$

所以

$$D_i(\%) = \frac{(I_T - I_R) - (F_T - F_R)}{I_T - I_R} \times 100 = \frac{I_T \left( \frac{I_T - F_T}{I_T} \right) - I_R \left( \frac{I_R - F_R}{I_R} \right)}{I_T - I_R} \times 100$$

又

$$D_T(\%) = \frac{I_T - F_T}{I_T} \times 100; \quad D_R(\%) = \frac{I_R - F_R}{I_R} \times 100$$

所以

$$D_i = \frac{D_T - (I_R/I_T)D_R}{1 - (I_R/I_T)}$$

令

$$r = I_R/I_T = \frac{W_R \cdot X_R}{W_T \cdot X_T}$$

则

$$D_i = \frac{D_T - rD_R}{1 - r} \quad (2)$$

## (二) 公式(2)和公式(1)的差异

公式(2)和公式(1)唯一不同是  $r$ , 公式(1)中,  $r = \frac{W_R}{W_T} = \frac{7}{10}$ , 而公式(2)中  $r = \frac{W_R}{W_T} \cdot \frac{X_R}{X_T}$ 。公式(2)考虑了摄取的被测饲料原料营养成分对试验饲料营养成分消化率的贡献, 这样就消除了基准饲料和试验饲料被测营养成分含量不同对被测饲料原料营养成分消化率测定结果的影响。

公式(2)和公式(1)仅  $r$  值不同, 因此, 两个公式计算结果之间的差异也只是  $r$  值不同造成的, 其差异大小  $\Delta D_i = \frac{E}{(1-r)^2} \Delta r$  (见(5)式, 其中  $E = D_T - D_R$ )。可见  $E=0$  时, 两个公式计算结果相同;  $\Delta r=0$ , 即  $X_R = X_T$  时, 两个公式计算结果相同;  $r$  是影响两个结果之差的主要因素,  $r$  越接近 1, 两个公式计算结果之差越大。

## (三) 计算公式评价

### 1. 计算公式对饲料原料营养成分消化率测定结果误差的影响

用 C.Y.Cho 方法测定饲料原料营养成分消化率,  $D_T, D_R$  和  $r$  都会产生测定误差, 这些测定误差都要影响  $D_i$  测定结果的准确度, 并通过公式(2)反映到  $D_i$  的测定结果中<sup>[2]</sup>。

求公式(2)偏导数和全微分得:

$$\frac{\partial D_i}{\partial D_T} = \frac{1}{1-r} \quad (3)$$

$$\frac{\partial D_i}{\partial D_R} = \frac{r}{r-1} \quad (4)$$

$$\frac{\partial D_i}{\partial r} = \frac{E}{(1-r)^2} (E = D_T - D_R) \quad (5)$$

$$\Delta D_i = \frac{\Delta D_T}{1-r} + \frac{r \Delta D_R}{r-1} + \frac{E \Delta r}{(1-r)^2} \quad (6)$$

从(3)、(4)和(5)式可以看到,  $D_T$ 、 $D_R$  和  $r$  的变化引起  $D_i$  的变化都与  $r$  有关。当  $r$  在 1 附近变化时,  $D_i$  对此非常敏感, 只要  $r$  发生微小的变化, 都将引起  $D_i$  的值显著增大或减小。 $r$  变化引起  $D_i$  的变化除了与  $r$  本身有关外, 还与  $D_T$  与  $D_R$  之差  $E$  有关。(4)式说明  $D_i$  测定结果的绝对误差  $\Delta D_i$  是  $D_T$ 、 $D_R$  和  $r$  测定结果的绝对误差各自引起  $D_i$  的绝对误差的代数和。图 1 是  $\Delta D_T$ 、 $\Delta D_R$  和  $\Delta r$  分别为 1、-1 和 0.05 时  $\Delta D_i$  (最大) 与  $r$  ( $r < 1$ ) 的关系图。由图 1 可见,  $\Delta D_i$  随  $r$  和  $E$  增大而增大。 $E$  不变,  $\Delta D_i$  随  $r$  的增加值大于  $r$  不变  $\Delta D_i$  随  $E$  的增加值, 任何一个  $E$  值都存在  $r$  大于某值后,  $\Delta D_i$  随  $r$  显著增加。如图 1 中,  $\Delta D_i$  在  $E = 10$ ,  $r > 0.5$  时显著增加。

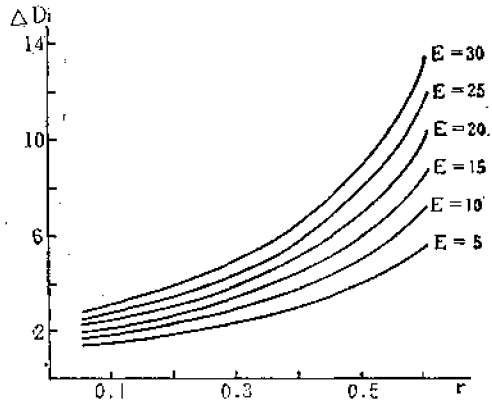


图 1  $\Delta D_i$  (最大) 与  $r$  ( $r < 1$ ) 的关系  
(由我所王 东用 MSED 软件绘制)

Fig. 1 Relations of  $\Delta D_i$  (max) with  $r$  ( $r < 1$ ) (The curve in Fig. 1 drawn with MSED developed by associate professor Wang dong.)

2. 提高饲料原料营养成分消化率测定结果准确度途径

由(4)式可知, 测定过程中  $D_T$ 、 $D_R$  和  $r$  产生的绝对误差  $\Delta D_T$ 、 $\Delta D_R$  和  $\Delta r$  对  $D_i$  的绝对误差  $\Delta D_i$  影响与  $E$  和  $r$  有关, 因此, 可以改变  $E$  和  $r$  减小  $\Delta D_i$ 。

减小  $E$  是提高饲料营养成分消化率测定结果准确度的一个途径。鱼类对多数饲料原料的蛋白质、脂肪和能量的消化率都比较高<sup>[1]</sup>。因此, 由被测饲料原料和基准饲料配制的试验饲料与基准饲料中这几种营养成分的消化率比较接近即  $E$  较小, 但鱼类对一些饲料原料中某些营养成分消化率差异较大, 如水温 24°C 时, 鲑鱼对熔点为 45°C 的硬化油中脂肪的消化率是熔点为 53°C 的硬化油中脂肪的消化率的两倍<sup>[1]</sup>。鱼类对营养盐的消化率也因其存在形式不同差异较大。这些在配制基准饲料时应加以考虑。如测定油脂中脂肪的消化率, 基准饲料中脂肪的熔点、碳数、饱和度应尽可能与被测油脂中脂肪一致, 这样有利于减小  $E$  值, 提高饲料原料脂肪消化率测定结果的准确度。

减小  $r$  ( $r < 1$ ) 是提高饲料原料营养成分消化率测定结果准确度的另一重要途径。由图 1 可见  $E = 15$ ,  $r < 0.4$  时,  $\Delta D_i$  (最大) 随  $r$  增加甚微, 而当  $r > 0.4$  时,  $\Delta D_i$  (最大) 随  $r$  显著增加;  $E = 10$ ,  $r > 0.5$  时,  $\Delta D_i$  (最大) 随  $r$  显著增加;  $E = 5$ ,  $r > 0.6$  时,  $\Delta D_i$  (最大) 才随  $r$  显著增加。由此可见, 无论  $E$  为何值,  $r$  较小时,  $\Delta D_i$  随  $r$  增加值较小。因此, 减小  $r$  对提高饲料原料营养成分消化率测定结果的准确度非常有效。

因为  $r = \frac{W_R}{W_T} \cdot \frac{X_R}{X_T}$ , 所以我们可通过改变  $\frac{W_R}{W_T}$  或  $\frac{X_R}{X_T}$  来改变  $r$ 。当我们测定一些饲料原料 (如油脂、无机盐添加剂等) 营养成分消化率时,  $\frac{W_R}{W_T}$  不可能小, 可采用改变  $\frac{X_R}{X_T}$  使  $r$  满足饲料原料营养成分消化率测定结果准确度的要求。

试 验 验 证

为了验证公式(2)的实用性, 笔者测定了草鱼、青鱼对秘鲁鱼粉、大豆粕、小麦麸中干物质、粗蛋白质、酸溶灰分和磷的表现消化率, 试验采用的基础饲料的主要原料为秘鲁鱼粉、大豆粕、菜饼、棉饼、米糠和小麦麸。每种待测饲料原料以三个水平 ( $\frac{W_R}{W_T}$  秘鲁鱼粉为 0.9、0.8 和 0.6; 大豆粕为 0.8、0.6 和

0.5;小麦麸为 0.85、0.6 和 0.5) 取代基础饲料配制成试验饲料, 分别用公式(1)和公式(2)计算待测饲料原料营养成分的消化率。测试结果证实了以下问题

### (一) 公式(2)能用于不同的 $\frac{W_R}{W_T}$ 计算

测试结果表明, 尽管同一被测饲料原料试验组间  $\frac{W_R}{W_T}$  不同, 但用公式(2)计算的结果基本一致, 而用公式(1)计算的结果差异较大。尤其是  $E$  和  $r$  都较大时, 用公式(1) 计算的同一饲料原料营养成分消化率结果的试验组间差异大。如青鱼对小麦麸磷消化率计算结果的标准偏差, 公式(1)为 9.8, 而公式(2)只 2.4。因此用 C.Y.Cho 方法测定饲料原料营养成分消化率时, 不论  $\frac{W_R}{W_T}$  为何值, 公式(2)都适用于结果的计算。

### (二) 公式(2)和公式(1)计算结果差异是 $E$ 、 $r$ 、 $\Delta r$ 引起的

试验结果证实:  $E$  越小, 两个公式计算结果差异越小。如粗蛋白质的  $E$  较小, 两个公式计算的草鱼、青鱼对秘鲁鱼粉、大豆粕、小麦麸粗蛋白质消化率的差异也较小, 两公式计算结果的差值小于 3%。

$\frac{W_R}{W_T}$  为 0.9 的秘鲁鱼粉组, 0.8 大豆粕组, 0.85 小麦麸组,  $r$  值都较大, 它们用两个公式计算的结果差异也较其他  $r$  值较小的试验组大。我们还看到, 随着  $r$  减小,  $E$  增大, 但两个公式计算结果的差异仍随  $r$  减小而减小。可见  $r$  对两个公式计算结果的差异影响大于  $E$ 。

$\Delta r(r_2 - r_1)$  也是影响两个公式计算结果差异的一个因素。当  $\Delta r \approx 0$ , 即  $r_2 \approx r_1$  时, 两个公式计算结果基本相同, 如  $\frac{W_R}{W_T}$  为 0.5 的大豆粕组的干物质和 0.5 的小麦麸组的干物质和磷的消化率 (它们的  $\Delta r$  为 0), 两个公式计算结果也基本一致。

### (三) $r$ 是引起同一饲料原料营养成分消化率测定结果试验组间差异的因素

由测试结果可知, 每种饲料原料三个试验组测得饲料原料四种营养成分的消化率都呈现  $r$  较小的两个组测定结果差异小, 而与  $r$  较大的组差异大。可见, 尽管同一饲料原料不同试验组  $D_T$  的测定结果存在差异, 但对  $D_i$  的影响大小取决于  $r$  的大小。正如图 1 所示的那样,  $r$  较小时, 各种测定误差对  $D_i$  影响较小。当  $r$  接近 1 时就对  $D_i$  产生显著影响。因此, 笔者认为同一饲料原料营养成分测定结果试验组间差异是各种误差传递的结果。证实了前述结论。

## 小 结

1. C. Y. Cho 等人测定饲料原料营养成分消化率的方法可行, 比让试验鱼摄食单一饲料原料的方法合理、实用, 但其提出的计算方法存在错误。

2. 根据 C. Y. Cho 等人设计的试验和消化率定义, 本文推导出饲料原料营养成分消化率测定结果计算公式为

$$D_i = \frac{D_T - rD_R}{1 - r}$$

此公式比 C. Y. Cho 等人提出的计算方法的计算结果可靠, 应用范围广。

3. 在测定鱼类饲料原料营养成分消化率时,采用 C.Y.Cho 等人设计的试验方法和本文推导出的公式,将使测定结果更可靠。增大  $1-r$  值,可提高测定结果的准确度。

### 参 考 文 献

- [1] 萩野珍吉(陈国铭、黄小秋译),1987。鱼类的营养和饲料,47—86。海洋出版社(京)。
- [2] 武汉大学等编,1982。分析化学,118—116。高等教育出版社(京)。
- [3] Cho, C. Y. and Slinger, S. J., 1979. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: J. Halver and K. Tiews (Editors), *Finfish nutrition and fishfeed technology*, Vol. II. Heenemann. Berlin. pp 239—247.
- [4] Delanoue, J. and Choubert, G., 1985. Apparent digestibility of invertebrate biomasses by rainbow trout. *Aquaculture*, 50: 108—112.
- [5] Law, A. T., 1986. Digestibility of low-cost ingredients in pelleted feed by grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *ibid*, 51: 97—103.
- [6] Beigh, R. C., Braden, S. L. and Craig, R. J., 1990. Apparent digestibility coefficients for common feedstuffs in formulated diets for red swamp crayfish, *Procambarus clarkii* *ibid*, 84:321—334.