

不同方法测定肉鸭内源磷排泄量的比较研究

陈 娴 刘国华* 刘 宏

(中国农业科学院饲料研究所, 北京 100081)

摘 要: 本研究通过比较无磷饲料法、梯度回归法和差量法测定肉鸭内源磷排泄量的差异, 旨在确立合理的肉鸭内源磷排泄量测定方法。选取 21 日龄雄性樱桃谷肉鸭 150 只, 随机分成 5 个处理, 每个处理设 6 个重复, 每个重复 5 只鸭。采用无磷原料配制无磷纯合饲料, 以豆粕为唯一含磷原料配制总磷水平分别为 0.20%、0.35%、0.51% 和 0.55% 的低磷梯度饲料。试验饲料中均添加 0.4% 二氧化钛 (TiO_2) 作为外源指示剂。试验肉鸭 21~24 日龄采食全价颗粒饲料, 25~30 日龄采食相应的试验饲料, 并按重复准确记录采食量。收集 28~30 日龄期间全部排泄物, 风干, 测定磷和 TiO_2 含量, 计算内源磷排泄量。结果显示, 饲料磷水平在 0.20%~0.55% 范围内, 饲料磷摄入量与粪磷排泄量之间存在显著的线性关系 ($P < 0.05$), 内源磷的排泄量基本稳定。无磷饲料法、梯度回归法和差量法测得的肉鸭内源磷排泄量分别为 1.20、0.37 和 0.29 g/kg DMI。由此得出, 梯度回归法和差量法测得的肉鸭内源磷排泄量基本一致, 这 2 种方法都是可行的; 而采用无磷饲料法测定肉鸭内源磷排泄量存在较大误差。

关键词: 肉鸭; 磷; 内源磷排泄量; 测定方法

中图分类号: S834

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)03-0403-07

磷是家禽生命活动必需的矿物元素之一, 由于饲料原料中所含的磷不能全部为家禽所吸收, 因此通常用有效磷反映饲料原料中磷的生物学价值。消化(代谢)试验测定表观利用率和斜率比法测定相对生物学效价是评定动物对饲料中磷的生物学利用率的常用方法, 但这 2 种方法均不能反映动物对饲料磷利用的真实情况。Fan 等^[1]首次用梯度回归法评定了生长猪内源磷的排泄量和豆粕磷的真消化率, 结果表明, 饲料磷水平的不同是造成生长猪对同种植物性饲料原料磷表观消化率变异大的主要原因, 磷表观消化率低估了磷真消化率约 25%。Shen 等^[2]用梯度回归法测定了生长猪内源磷的排泄量和玉米磷的真消化率, 结果发现, 磷表观消化率低估了磷真消化率约 35%。可见, 采用表观可消化磷配制饲料可能造成无机磷酸盐过量添加导致成本浪费, 并可能造成与磷排泄相关的环境污染。因此, 应当在确定内源磷排泄量的基础之上评定磷的真消化率, 并用真有效磷参数来指导饲料配方设计。目前,

通常采用梯度回归法、无磷饲料法和差量法这 3 种方法测定内源磷排泄量, 如 Dilger 等^[3]用梯度回归法测定了肉仔鸡内源磷的排泄量, 侯水生等^[4]和郑树贵等^[5]均用无磷饲料法测定了肉仔鸡内源磷的排泄量, 方热军等^[6]则用差量法测定了生长猪内源磷的排泄量。但迄今关于上述 3 种方法的优劣尚存在争议。此外, 关于肉鸭内源磷排泄量的研究也尚未见报道。本试验拟分别采用无磷饲料法、梯度回归法和差量法测定肉鸭内源磷排泄量并对 3 种方法进行比较, 旨在为评定肉鸭对植物性饲料原料磷的真利用率提供基础数据, 并为磷的真利用率评定规程的制订提供方法学依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

参照 NRC(1994) 以玉米淀粉等原料配制无磷纯合饲料。以豆粕为唯一磷源, 配制总磷水平分别

收稿日期: 2010-08-24

作者简介: 陈 娴(1985—), 女, 北京人, 硕士, 主要从事家禽营养研究。E-mail: xianxianchen1985@gmail.com

* 通讯作者: 刘国华, 研究员, 硕士生导师, E-mail: liuguohua@mail.caas.net.cn

为0.20%、0.35%、0.51%和0.55%的低磷梯度饲料。无磷纯合饲料组成及营养水平见表1,低磷梯度饲料组成及营养水平见表2。各种试验饲料65℃冷轧制粒,颗粒半径为1mm,自然风干后装袋保存。

表1 无磷纯合饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of P-free pure diet (air-dry basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
淀粉 Starch	70.05
葡萄糖 Glucose	9.60
碳酸钙 CaCO ₃	0.96
豆油 Soybean oil	4.00
食盐 NaCl	0.29
纤维素 Cellulose	2.88
预混料 Premix ¹⁾	0.50
赖氨酸 Lysine	0.96
蛋氨酸 Methionine	0.53
苏氨酸 Threonine	0.32
色氨酸 Tryptophan	0.17
精氨酸 Arginine	0.58
组氨酸 Histidine	0.16
亮氨酸 Leucine	0.87
异亮氨酸 Isoleucine	0.44
苯丙氨酸 Phenylalanine	0.34
酪氨酸 Tyrosine	0.30
缬氨酸 Valine	0.42
甘氨酸 Glycine	0.52
丝氨酸 Serine	0.52
谷氨酰胺 Glutamine	2.71
天冬酰胺 Asparagine	0.96
脯氨酸 Proline	1.92
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾	
钙 Ca	0.38
总磷 TP	0.04
有效磷 AP	0.04
钙/有效磷 Ca/AP	9.50

¹⁾ 预混料可为每千克饲料提供 The premix provides following per kg of diet: VA 25 00 IU, VD₃ 400 IU, VE 10 IU, VK₃ 0.5 mg, VB₁ 1.8 mg, VB₂ 4.0 mg, VB₆ 3.0 mg, VB₁₂ 710 μg, D-泛酸 D-pantothenic acid 11.0 mg, 烟酸 niacin acid 55.0 mg, 叶酸 folic acid 0.5 mg, 生物素 biotin 0.12 mg, 胆碱 choline 750 mg, Cu 8.0 mg, Fe 80.0 mg, Zn 40.0 mg, Mn 60.0 mg, Se 0.15 mg, I 0.35 mg。表2同。The same as Table 2.

²⁾ 总磷为实测值,其他营养水平均为计算值。表2同。TP is a measured value, and other nutrient levels are calculated values. The same as Table 2.

1.2 试验动物分组与饲养管理

选取体重相近的21日龄雄性樱桃谷肉鸭150只,随机分成5个处理,每个处理6个重复,每个重复5只鸭。按照常规免疫,试验期间自由采食,自由饮水,24h连续光照。

1.3 样品采集与前处理

21~24日龄为预试期,各处理肉鸭均饲喂全价颗粒饲料;25~30日龄为正试期,各处理肉鸭分别饲喂无磷纯合饲料和磷水平分别为0.20%、0.35%、0.51%和0.55%的低磷梯度饲料。无磷纯合饲料和低磷梯度饲料中均添加0.4%二氧化钛(TiO₂)作为外源指示剂。于28~30日龄每日10:00收粪,期间每日将鸭粪全部转移入塑料桶内,充分搅拌均匀,收集每个重复总粪重的10%于铝盒内,65℃烘干,回潮24h,粉碎,过40目筛制成风干样品。

1.4 指标测定与计算

参照文献[7]的方法测定饲料风干样及粪样中总磷含量,并采用邓雪娟等^[8]的方法测定饲料风干样及粪样中TiO₂含量。

参照Fan等^[1]和Shen等^[2]介绍的梯度回归法计算内源磷排泄量和豆粕磷真利用率。计算公式如下:

表观可利用磷(g/kg DMI) = 饲料磷含量 × 饲料磷表观利用率; (1)

粪磷排泄量(g/kg DMI) = 粪磷含量 × 饲料TiO₂含量/粪中TiO₂含量; (2)

粪磷排泄量(g/kg DMI) = 内源磷排泄量 + 磷摄入量 × (1 - 饲料磷真利用率); (3)

表观可利用磷(g/kg DMI) = - 内源磷排泄量 + 饲料磷摄入量 × 饲料磷真利用率。 (4)

公式(3)代表了一元线性关系模型,其中饲料磷摄入量是自变量,粪磷排泄量是因变量。如果粪磷排泄量和饲料磷摄入量显著相关,则当饲料磷摄入量外推至0时,此线性回归方程的截距即为内源磷排泄量,斜率即为1 - 饲料磷真利用率,从而得出饲料磷真利用率(豆粕磷真利用率)等于1 - 斜率。

公式(4)也代表了一元线性关系模型,其中饲料磷摄入量是自变量,表观可利用磷是因变量。如果表观可利用磷和饲料磷摄入量显著相关,则当饲料磷摄入量外推至0时,此线性回归方程的截距即为内源磷排泄量,斜率即为饲料磷真利用率(豆粕磷真利用率)。

表 2 低磷梯度饲料组成及营养水平(风干基础)
Table 2 Composition and nutrient levels of P-low gradient diets (air-dry basis) %

项目 Items	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4
原料 Ingredients				
淀粉 Starch	71.03	48.98	26.95	15.91
豆油 Soybean oil	0.31	0.93	1.53	1.83
豆粕 Soybean meal	27.83	49.25	70.67	81.38
石粉 Limestone		0.04	0.05	0.08
食盐 NaCl	0.30	0.30	0.30	0.30
预混料 Permixon	0.50	0.50	0.50	0.50
蛋氨酸 Methionine	0.03			
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels				
钙 Ca	0.10	0.18	0.25	0.29
总磷 TP	0.20	0.35	0.51	0.55
有效磷 AP	0.08	0.14	0.20	0.23
钙/有效磷 Ca/AP	1.25	1.25	1.25	1.26

参照方热军等^[6]介绍的差量法计算饲料磷真利用率(豆粕磷真利用率)和内源磷排泄量。计算公式如下:

饲料磷真利用率(%) = $100 \times [(\text{饲料}_i \text{磷摄入量} - \text{饲料}_i \text{粪磷排泄量}) - (\text{饲料}_{i+1} \text{磷摄入量} - \text{饲料}_{i+1} \text{粪磷排泄量})] / (\text{饲料}_i \text{磷摄入量} - \text{饲料}_{i+1} \text{磷摄入量})$;

内源磷排泄量(g/kg DMI) = 饲料磷摄入量 × 饲料磷真利用率 - 饲料磷摄入量 × 饲料磷表观利用率。

1.5 数据处理与统计分析

采用 SPSS 16.0 统计软件的 One-way ANOVA 程序对数据进行方差分析,显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 无磷饲料法测定肉鸭内源磷排泄量

无磷纯合饲料中总磷含量为 0.04%, 由于含量很低, 所以忽略不计。由表 3 可知, 无磷饲料法测得的粪磷排泄量即为内源磷排泄量 [(1.20 ± 0.18) g/kg DMI]。

表 3 无磷饲料法测定肉鸭内源磷排泄量
Table 3 Endogenous P output in meat ducks measured by P-free diet method g/kg DMI

项目 Items	饲料磷摄入量 Dietary P input	粪磷排泄量 Fecal P output	内源磷排泄量 Endogenous P output
无磷纯合饲料 P-free pure diet		1.20 ± 0.18	1.20 ± 0.18

2.2 梯度回归法测定肉鸭内源磷排泄量和豆粕磷真利用率

2.2.1 肉鸭内源磷排泄量和豆粕磷真利用率

根据公式(2)计算得出饲喂低磷梯度饲料肉鸭粪磷排泄量。由图 1 可见, 粪磷排泄量与饲料磷摄入量之间存在显著的线性关系 ($y = 0.6383x + 0.3736, R^2 = 0.9791, P < 0.05$), 由此回归模型可得出肉鸭内源磷排泄量为 0.37 g/kg DMI, 豆粕磷真利用率为 36.17%。

根据公式(1)计算得出低磷梯度饲料肉鸭表观可利用磷。由图 2 可见, 表观可利用磷与饲料磷摄入量之间存在显著的线性关系 ($y = 0.3617x - 0.3736, R^2 = 0.9377, P < 0.05$), 由此回归模型可得出肉鸭内源磷排泄量为 0.37 g/kg DMI, 豆粕磷真利用率为 36.17%。

由上述结果可知, 2 种回归模型得出的肉鸭内源磷排泄量和豆粕磷真利用率结果是相同的。

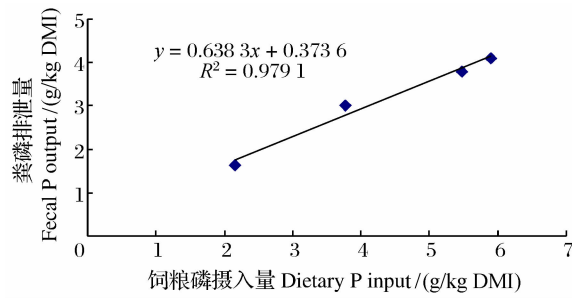


图1 粪磷排泄量与饲料磷摄入量之间的回归关系

Fig. 1 Regression relationship between fecal P output and dietary P input

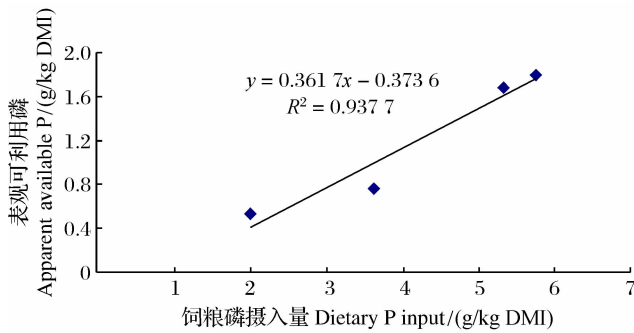


图2 表观可利用磷与饲料磷摄入量之间的回归关系

Fig. 2 Regression relationship between apparent available P and dietary P input

表4 饲喂低磷梯度饲料肉鸭的饲料磷摄入量、粪磷排泄量和内源磷排泄量

Table 4 Dietary P input, fecal P output and endogenous P output in meat ducks fed P-low gradient diets g/kg DMI

项目 Items	饲料1 Diet 1	饲料2 Diet 2	饲料3 Diet 3	饲料4 Diet 4	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
饲料磷摄入量 Dietary P input	2.16	3.78	5.48	5.90	4.33 ± 1.71
表观可利用磷 Apparent available P	0.53	0.76	1.68	1.80	1.19 ± 0.64
真可利用磷 True available P	0.78	1.37	1.98	2.13	1.57 ± 0.62
粪磷排泄量 Fecal P output	1.63	3.02	3.80	4.10	3.14 ± 1.10
内源磷排泄量 Endogenous P output	0.25	0.61	0.30	0.34	0.37 ± 0.16
粪磷中源于饲料的部分 Fecal P output of dietary origin	1.38	2.41	3.50	3.76	2.76 ± 1.09

表5 差量法测定的豆粕磷真利用率

Table 5 True availability of P in soybean meal measured by difference method

磷水平差 Difference of P levels	0.51% - 0.20%	0.55% - 0.20%	0.55% - 0.35%	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
豆粕磷真利用率 True availability of P in soybean meal	34.64	33.79	48.81	39.08 ± 8.44

表6 差量法测定的肉鸭内源磷排泄量

Table 6 Endogenous P output in meat ducks measured by difference method

项目 Items	饲料1 Diet 1	饲料2 Diet 2	饲料3 Diet 3	饲料4 Diet 4	平均值 ± 标准差 Mean ± SD
内源磷排泄量 Endogenous P output	0.21	0.53	0.19	0.22	0.29 ± 0.16

2.2.2 肉鸭饲料磷摄入量与粪磷排泄量和内源磷排泄量的关系

由表4可知,随着饲料磷摄入量的提高,粪磷排泄量呈线性增加趋势,粪磷中源于饲料的部分也呈线性增加趋势,而内源磷排泄量基本保持不变。

2.3 差量法测定肉鸭内源磷排泄量和豆粕磷真利用率

由表6和表7可见,磷水平差在本试验设定的范围内测定的肉鸭内源磷排泄量和豆粕磷真利用率较为稳定,平均值分别为0.29 g/kg DMI和39.30%。此外,内源磷排泄量随饲料磷水平的提高基本保持不变。

2.4 无磷饲料法、梯度回归法和差量法测定肉鸭内源磷排泄量的比较

由表8可知,无磷饲料法、梯度回归法和差量法测得的肉鸭内源磷排泄量分别为1.20、0.37和0.29 g/kg DMI。其中,无磷饲料法测得的肉鸭内源磷排泄量最高,而梯度回归法和差量法测得肉鸭内源磷排泄量基本一致。

表 7 不同方法测定的肉鸭内源磷排泄量的比较

Table 7 Comparison of endogenous P output in meat ducks measured by different methods

g/kg DMI

方法 Methods	内源磷排泄量 Endogenous P output
无磷饲料法 P-free method	1.20 ± 0.18
梯度回归法 Regression analysis method	0.37 ± 0.16
差量法 Difference method	0.29 ± 0.16

3 讨 论

3.1 无磷饲料法、梯度回归法和差量法测定肉鸭内源磷排泄量的比较

Petersen 等^[9]采用无磷饲料法测定了生长猪内源磷排泄量,结果发现生长猪在采食无磷饲料时采食和生长正常,无异常生理反应。但 Fan 等^[1]认为生长猪在试验期连续采食 5~7 d 的无磷纯合饲料,其营养和生理状态处于不正常状态,因此不宜采用无磷饲料法测定内源磷排泄量。本试验也发现,无磷饲料由于使用纯合原料,适口性差,肉鸭自主采食量很小,部分鸭只有啄癖现象,在此情况下测得的内源磷排泄量可靠性可能较差。但也有学者采用强饲无磷饲料的方法测定鸡内源磷排泄量取得了较好的效果。郑树贵等^[5]用强饲无磷饲料的方法测得肉仔鸡内源磷排泄量为 44.84 mg/d。侯水生等^[4]用强饲无磷饲料的方法测得去盲肠鸡和有盲肠鸡内源磷排泄量分别为 49 和 42 mg/d。强饲法虽然可以防止鸡只拒食无磷饲料,但也不可避免会对动物造成生理应激。另外,无磷饲料的配制也存在一定的困难,即使采用纯合原料也很难保证饲料原料中磷水平为 0,本试验中配制的无磷纯合饲料中磷水平实测值为 0.04%,但计算内源磷排泄量时忽略不计饲料中磷含量,这也造成了无磷饲料法测定内源磷排泄量的误差。

相比而言,梯度回归法测定内源磷排泄量则是在接近动物生理状态下进行的,基本能够反映内源磷排泄的真实情况,因此梯度回归法是目前测定动物内源磷排泄量最常用的一种方法。Dilger 等^[3]和罗发洪^[10]采用梯度回归法测得肉仔鸡内源磷排泄量分别为 235 和 250 mg/kg DMI,结果非常接近,表明梯度回归法测定家禽内源磷排泄量是可行的。而差量法测定内源磷排泄量的前提与梯度回归法基本相同,即在适宜饲料磷水平范围内内源磷排泄量和磷真消化率不随饲料磷水平而改变。差量法与梯度回归法不同之处在于差量法可以计算出饲料不同

磷水平范围内的内源磷排泄量,从而反映内源磷排泄量随饲料磷水平变化的程度,据此判断内源磷的稳定性。本试验表明,差量法测定内源磷排泄量时要求饲料磷水平差值要尽可能大,差值过小时内源磷排泄量测定值误差大。本试验结果显示,梯度回归法和差量法测得的肉鸭内源磷排泄量基本一致。

3.2 梯度回归法测定内源磷排泄量试验条件的控制

内源磷排泄量分为最小内源磷排泄量和可变内源磷排泄量 2 部分,其中最小内源磷排泄量是动物进行正常生理活动不可避免的内源磷最小损失量,可变内源磷排泄量是动物随饲料钙磷比、饲料总磷水平和饲料抗营养因子等影响因素变化的内源磷排泄量。

饲料钙磷比是影响内源磷排泄量的最主要的因素。Al-Masri^[11]用同位素稀释技术研究了饲料不同钙磷比对内源磷排泄量的影响,结果表明饲料钙水平过高会抑制磷的吸收,内源磷排泄量随钙磷比的提高而降低。本试验中,梯度回归法试验饲料的钙磷比均控制在 1.25 左右,钙磷比是比较适宜的。

在适宜的饲料磷水平范围内,动物具有稳定的内源磷排泄量,可以通过设计合理的饲料磷水平来准确测定内源磷排泄量。Jongbloed^[12]认为内源磷排泄量与饲料磷水平有关,如果饲料磷摄入量低于动物磷需要量,则内源磷排泄量较低。方热军等^[6]认为,生长猪饲料有效磷低于或接近磷的需要量时,内源磷排泄量是稳定的。总结前人的研究结果可知,梯度回归法测定内源磷排泄量时饲料磷水平上限要接近或略低于动物营养需要量,而饲料磷水平下限也不能太低,因为如果饲料营养水平与动物实际营养需要量差距太大,内源磷排泄量测定结果将不具有代表性。此外,梯度回归法测定内源磷排泄量时饲料磷梯度水平要拉大,如果梯度太小,会放大试验误差。本试验结果表明,饲料磷水平在 0.20%~0.55% 范围内,粪磷排泄量和饲料磷摄入量之间存在显著的线性关系,肉鸭具有稳定的内源

磷排泄量,这证明本试验饲粮磷梯度设计是比较合理的。

饲粮因素也是影响内源磷排泄量准确测定的因素之一。Al-Masri^[11]认为饲粮中的植酸磷含量会影响内源磷排泄量。Petersen 等^[9]认为饲粮中高水平的纤维含量和抗营养因子可能会促进内源磷的排泄。考虑到上述因素,本试验以豆粕为唯一磷源测得的内源磷排泄量也是比较可靠的。

4 结 论

① 在适宜的饲粮磷水平范围内,粪磷排泄量与饲粮磷摄入量之间存在显著的线性关系,内源磷的排泄量基本稳定。因此,梯度回归法可以准确地测定肉鸭的内源磷排泄量。

② 梯度回归法和差量法测得的肉鸭内源磷排泄量基本一致。

③ 采用无磷饲粮法测定肉鸭内源磷排泄量存在较大误差。

参考文献:

- [1] FAN M Z, ARCHBOLD T, SAUER W C, et al. Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs[J]. *Journal of Nutrition*, 2001, 131:2388-2396.
- [2] SHEN Y R, FAN M Z, AJAKAIE A. True phosphorus digestibility and the endogenous phosphorus outputs associated with corn for growing pigs are determined with the regression analysis technique[J]. *Journal of the American Society for Nutritional Sciences*, 2002, 132:1199-1206.
- [3] DILGER R N, ADEOLA O. Estimation of true phosphorus digestibility and endogenous phosphorus loss in growing chicks fed conventional and low-phytate soybean meals[J]. *Poultry Science*, 2006, 85(4):661-668.
- [4] 侯水生,黄苇,喻俊英,等. 鸡盲肠对饲料磷的消化作用[J]. *畜牧兽医学报*,1998,29(5):406-411.
- [5] 郑树贵,栾新红,董维国. 不同肉鸡用植物性饲料总磷真利用率的测定[J]. *畜牧与兽医*,2007,39(2):14-17.
- [6] 方热军,王康宁,范明哲,等. 不同方法测定生长猪内源磷排泄量及磷真消化率的比较研究[J]. *畜牧兽医学报*,2005,36(2):137-143.
- [7] 杨胜. 饲料分析与饲料质量检测技术[M]. 北京:北京农业大学出版社,1993.
- [8] 邓雪娟,刘国华,蔡辉益,等. 分光光度计法测定家禽饲料和食糜中二氧化钛[J]. *饲料工业*,2008,29(2):57-58.
- [9] PETERSEN G I, STEIN H H. Novel procedure for estimating endogenous losses and measurement of apparent and true digestibility of phosphorus by growing pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 2006, 84(8):2126-2132.
- [10] 罗发洪. 不同类型植酸酶对肉仔鸡生产性能和内源磷排泄量的影响[D]. 硕士学位论文. 北京:中国农业科学院,2007.
- [11] AL-MASRI M R. Absorption and endogenous excretion of phosphorus in growing broiler chicks, as influenced by calcium and phosphorus ratios in feed[J]. *British Journal of Nutrition*, 1995, 74:407-415.
- [12] JONGBLOED A W. Phosphorus in the feeding of pigs: effect of diet on the absorption and retention of phosphorus by growing pigs[D]. Ph. D. thesis. Netherlands: Wageningen Agricultural University, 1987.

A Comparison of Different Methods to Measure the Endogenous Phosphorus Output in Meat Ducks

CHEN Xian LIU Guohua* LIU Hong

(Feed Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In order to establish a reasonable method to measure the endogenous phosphorus output in meat ducks, P-free method, regression analysis method and difference method were used to measure the endogenous phosphorus output in meat ducks. One hundred and fifty 21-day-old healthy male cherry valley ducks were randomly assigned into 5 treatments with 6 replicates per treatment and 5 ducks per replicate. P-free pure diet was formulated with P-free feedstuffs. Soybean meal was used as the only source of phosphorus to formulate 4 P-low gradient diets containing different levels of phosphorus (0.20%, 0.35%, 0.51% or 0.55%) based on corn starch. Titanium dioxide (TiO_2) with the supplemental level of 0.4% was added to experimental diets as exogenous marker. During 21- to 24-day-old, all ducks were fed with complete pellet feed. During 25- to 30-day-old, ducks were fed with experimental diets and the feed intake recorded by replicate. The excreta were collected by replicate from 28- to 30-day-old. All samples were air-dried, and total phosphorus and TiO_2 contents were measured. Endogenous phosphorus output was calculated. The results showed that there was no significant linear relationship between dietary phosphorus input and fecal phosphorus output ($P < 0.05$), and the endogenous phosphorus output remained relatively stable. The endogenous phosphorus output in meat ducks was 1.20, 0.37 and 0.29 g/kg DMI, respectively, when measured by P-free method, regression analysis method and difference method. In conclusion, the endogenous phosphorus output in meat ducks can be measured by both regression analysis method and difference method, but a larger error was caused by P-free method. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(3):403-409]

Key words: meat ducks; phosphorus; endogenous phosphorus output; measuring method

* Corresponding author, professor, E-mail: liuguohua@mail.caas.net.cn