

产蛋期蛋鸡不同类型玉米净能研究

班志彬¹ 张芳毓¹ 武斌¹ 杨琳² 张鑫³ 杨华明¹ 李立佳¹

梁浩¹ 李柏浩¹ 郎朝丽¹ 闫晓刚^{1*}

(1.吉林省农业科学院,长春 130000;2.中国华融资产管理股份有限公司,北京 100033;

3.辽宁禾丰牧业股份有限公司,沈阳 110000)

摘要: 本试验利用禽用开放式呼吸测热装置进行能量代谢试验,通过间接测热法结合替代法测定不同类型玉米在产蛋期蛋鸡饲料中的表观代谢能和净能。选用 34 周龄产蛋期海兰褐蛋鸡 180 只,随机分为 6 组,每组 30 只。试验选用 1 种玉米-豆粕型基础饲料和 5 种待测饲料。待测饲料由 5 种待测玉米(3 种 2018 年 10 月收获的正常玉米和 2 种 2016 年收获储存 3 年的陈化玉米),分别以 50% 比例替代基础饲料构成。试验鸡在舍内笼养,预试期 7 d,正试期 27 d,其中正试期分为 3 期,每期 9 d(适应 3 d、呼吸测热 3 d、绝食测热 3 d)。每期试验中,从每组中选择 4 只试验鸡,称重后分别放入呼吸测热装置的 12 个代谢室(每个代谢室 2 只),每 2 个代谢室对应 1 种饲料,测定气体交换和排泄物总量,呼吸测热的同时进行消化代谢试验。结果表明:与基础饲料相比,5 种玉米待测饲料的表观代谢能显著提高($P<0.05$),3 种正常玉米待测饲料的净能显著高于基础饲料和 2 种陈化玉米待测饲料($P<0.05$);2 种陈化玉米的表观代谢能和净能显著低于 3 种正常玉米($P<0.05$)。本试验中,3 种正常玉米的表观代谢能分别为 16.19、15.85、16.17 MJ/kg,2 种陈化玉米的表观代谢能分别为 15.12 和 15.06 MJ/kg;3 种正常玉米的净能分别为 12.39、12.57、12.25 MJ/kg,2 种陈化玉米的净能分别为 11.29 和 12.05 MJ/kg。

关键词: 蛋鸡;代谢能;净能;玉米;间接测热法

中图分类号:S831.5

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2020)04-1650-08

目前,家禽饲料原料有效能值的评定通常采用代谢能体系,但代谢能体系忽略了家禽采食和消化产生的热增耗,且高估了粗蛋白质和粗纤维类原料的能量利用率,低估了脂肪和淀粉含量较高类原料的能量利用率^[1]。与代谢能体系相比,净能是饲料中用于维持生命和生产产品的能量,即饲料的代谢能减去饲料在体内热增耗后剩余的那部分能量^[2]。目前,净能体系已广泛应用于反刍动物和猪生产领域,并取得了显著的经济和环境效益,但在家禽领域净能研究尚处于起步阶段,急需完善和补充大量基础数据。吉林省是世界

“三大黄金玉米带”之一,长春平原是吉林省种植玉米的核心区域,其样品的净能值更具有代表性。因此,本研究测定了产蛋期蛋鸡对吉林省地区不同类型玉米的净能值,旨在为家禽净能的研究提供支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 试验动物与amp;试验设计

试验选用 180 只 34 周龄产蛋期海兰褐蛋鸡[初始体重和产蛋率差异不显著($P>0.05$)],采用完全随机设计随机分为 6 组,每组 30 只鸡;每个组

收稿日期:2019-10-24

基金项目:吉林省农业科学院创新工程项目(CXGC2017ZY002)

作者简介:班志彬(1983—),男,吉林洮南人,硕士研究生,从事畜禽能量代谢研究。E-mail: banzb0620@163.com

* 通信作者:闫晓刚,研究员,硕士生导师,E-mail: yanxiaogang1977@163.com

对应 1 种饲料,试验鸡在舍内笼养,预试期 7 d,正试期 27 d。正试期从每组中分别选择 4 只试验鸡,放入呼吸测热装置的 12 个代谢室内 9 d(适应 3 d、呼吸测热 3 d、绝食测热 3 d),每个代谢室 2 只鸡,每 2 个代谢室对应 1 种饲料,呼吸测热期间试验鸡初重和末重的平均值作为体重数据使用,呼吸测热的同时进行代谢试验,试验鸡使用 1 次后淘汰,下期试验选择每组中剩余试验鸡,上述过程重复 3 次。

1.2 试验饲料

试验饲料为 1 种基础饲料和 5 种待测饲料,其中基础饲料的配制参照《海兰褐鸡营养需要标准(2014 版)》,待测饲料为待测玉米样品以 50% 比例替代基础饲料。玉米样品 5 种:其中 3 种为 2018 年 10 月收获玉米(品种分别为京科 665、MC812、MC278),另外 2 种为 2016 年收获的中粮集团收储的陈化玉米。基础饲料组成及营养水平见表 1,玉米样品常规营养成分见表 2,玉米待测饲料组成及营养水平见表 3。

表 1 基础饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

%

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels ²⁾	含量 Content
玉米 Corn	61.20	干物质 DM	87.10
豆粕 Soybean meal	21.50	代谢能 ME/(MJ/kg)	11.52
大豆油 Soybean oil	1.00	粗蛋白质 CP	16.02
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	3.30	钙 Ca	3.80
石粉 Limestone	9.20	总磷 TP	0.48
食盐 NaCl	0.30	蛋氨酸 Met	0.42
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.00	赖氨酸 Lys	0.81
预混料 Premix ¹⁾	2.50		
合计 Total	100.00		

1) 预混料为每千克饲料提供 Premix provided the following per kilogram of the diet: Fe 100 mg, Cu 20 mg, Zn 100 mg, Mn 120 mg, Se 0.3 mg, I 1.0 mg, VA 10 000 IU, VD 3 000 IU, VE 30 mg, VK₃ 1.5 mg, VB₁ 2.3 mg, VB₂ 7.8 mg, VB₆ 5.3 mg, VB₁₂ 23 mg, 烟酸 nicotinic acid 45 mg, 泛酸 pantothenic acid 12 mg, 叶酸 folic acid 1.0 g, 生物素 biotin 5.5 mg。

2) 粗蛋白质为实测值,其余为计算值。CP was a measured value, while the others were calculated values.

表 2 玉米样品常规营养成分(风干基础)

Table 2 Common nutrients of corn samples (air-dry basis)

%

营养成分 Nutrients	京科 665 玉米 Jingke 665 corn	MC812 玉米 MC812 corn	MC278 玉米 MC278 corn	陈化玉米 1 Aging corn 1	陈化玉米 2 Aging corn 2
干物质 DM	84.25	85.76	84.19	86.89	86.59
粗蛋白质 CP	8.62	6.39	7.11	8.14	7.71
粗脂肪 CF	3.31	3.01	3.33	3.50	3.40
粗纤维 CF	1.13	1.59	1.64	1.25	1.63
粗淀粉 CS	62.30	63.72	62.30	64.43	64.26

1.3 饲养管理

试验鸡在吉林省农业科学院畜牧科学分院蛋鸡舍内笼养,温度设置在(21±1)℃,每天 16 h 光照,强度为 10~15 lx;呼吸测热期间呼吸代谢舱内环境设置与鸡舍一致。生长试验和呼吸测热期间自由采食和饮水,绝食期间自由饮水。

1.4 呼吸测热装置

本研究所用的禽用 12 室并联开放回流式呼吸测热装置(图 1)由吉林省农业科学院杨华明研究员团队最新研制,设计原理参考 Van Milgen 等^[3]。该装置主要由气体分析仪、数据采集控制仪、代谢室、气路系统、漩涡风机以及冷冻机组等配套设备组成。气体分析仪集成氧气、二氧化碳

传感器以及气路转换器和配套元器件。测定氧气含量的传感器为氧化锆传感器 (Model 65-4-20, The Advanced Micro Instruments, Huntington Beach, 美国); 测定二氧化碳含量的传感器为红外线传感器 (AGM 10, Sensors Europe GmbH, Erkrath, 德国)。该套装置共有 12 个代谢室, 代谢室框架由方钢和白钢板制造, 四周用透明玻璃封闭, 体积为 0.43 m³; 代谢室内设有自动饮水装置、粪、尿收集装置以及气体循环、制冷、加热、除湿

等设备。工作状态下, 数据采集控制仪按照试验流程驱动气体分析仪传感器采集气路, 依次对户外空气和代谢室 (第 1~12 室) 按先后顺序循环采集, 自动切换, 循环切换时间可自行设定。数据采集控制仪实时显示试验数据和设备运行状态; 远程控制软件自动计算家禽耗氧量、二氧化碳产生量、呼吸熵并记录代谢室内外的温度和湿度数据, 并显示在电脑数据采集控制界面上。

表 3 玉米待测饲料组成及营养水平 (风干基础)

Table 3 Composition and nutrient levels of the corn test diets (air-dry basis)

%

项目 Items	京科 665 玉米饲料 <i>Jingke 665</i> corn diet	MC812 玉米饲料 MC812 corn diet	MC278 玉米饲料 MC278 corn diet	陈化玉米 1 饲料 Aging corn 1 diet	陈化玉米 2 饲料 Aging corn 2 diet
原料 Ingredient					
基础饲料 Basal diet	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
待测玉米 Test corn	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels					
干物质 DM	87.31	88.12	87.31	88.71	88.42
总能 GE/(MJ/kg)	15.24	15.03	15.40	15.36	15.49
粗蛋白质 CP	13.24	12.31	12.66	12.48	13.16

营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values.



图 1 禽用 12 室并联开放回流式呼吸测热装置

Fig.1 Open-circuit respiratory calorimetry apparatus with 12 chambers in parallel for poultry

1.5 排泄物收集和制备

呼吸测热试验中, 每天定时 (09:00—10:00) 添加饲料, 收集撒料以及采用全收粪法收集排泄物, 每个代谢室 3 d 总的排泄物混合一起后, 放置于烘箱中以 65 °C 烘干, 粉碎过 40 目筛后备用。

1.6 检测指标及测定方法

玉米样品、饲料和排泄物样品在烘干箱内

105 °C 确定干物质含量。总能测定按照国际标准 ISO9831:1998 推荐的方法, 使用氧弹式测热仪 (C2000, IKA) 测定。粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、粗纤维和粗淀粉含量分别参照中华人民共和国国家标准 GB/T 6432—1994、GB/T 6433—2006、GB/T 6438—2007、GB/T 6434—2006 和 GB/T 5006—2007 推荐的方法测定。

1.7 计算公式

参考 Noblet 等^[4], 计算公式如下:

总产热量或绝食产热量 = 16.175 3 ×

耗氧量 + 5.020 8 × 二氧化碳排出量;

呼吸熵 = 二氧化碳排出量 / 耗氧量;

表观代谢能 = (食入饲料总能 -

排泄物总能) / 采食量;

代谢能摄入量 = 表观代谢能 × 采食量;

沉积能 = 代谢能摄入量 - 总产热量;

净能 = (沉积能 + 绝食产热量) / 采食量。

玉米样品的代谢能和净能计算公式为:

表观代谢能 = 基础饲料表观代谢能 - [(基础

饲料表观代谢能-待测饲料

表观代谢能)/0.5];

净能=基础饲料净能-[(基础饲料净能-待测饲料净能)/0.5]。

1.8 统计分析

数据使用 SPSS 20.0 软件一般线性模型多变量分析,饲料作为固定效应,试验期数和呼吸室作为随机效应。试验饲料因素经 *F* 检验,不同饲料之间使用 Tukey 法进行差异性分析,以 $P<0.05$ 作为差异显著性水平。试验结果以平均值和 SEM

表示。

2 结果与分析

2.1 不同饲料对试验鸡呼吸代谢的影响

由表 4 可知,除 MC812 玉米饲料外,试验鸡对其他玉米待测饲料的干物质采食量显著低于基础饲料($P<0.05$)。试验鸡采食玉米待测饲料和基础饲料的耗氧量、二氧化碳排出量、呼吸熵、总产热量、代谢体重产热量和代谢体重绝食产热量均未表现出显著差异($P>0.05$)。

表 4 不同饲料对试验鸡呼吸代谢的影响

Table 4 Effects of different diets on respiratory metabolism of experimental chickens

项目 Items	基础饲料 Basal diet	京科 665 玉米饲料 <i>Jingke</i> 665 corn diet	MC812 玉米饲料 MC812 corn diet	MC278 玉米饲料 MC278 corn diet	陈化玉 米 1 饲料 Aging corn 1 diet	陈化玉 米 2 饲料 Aging corn 2 diet	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
体重 Body weight/kg	1.86	1.88	1.92	1.86	1.93	1.96	0.12	0.22
干物质采食量 DM feed intake/(g/d)	99.20 ^a	93.86 ^b	102.31 ^a	93.88 ^b	75.53 ^c	95.89 ^b	6.58	0.01
耗氧量 Oxygen consumption/ [L/(只·d)]	41.76	41.67	42.53	41.47	40.54	43.29	2.18	0.32
二氧化碳排出量 Carbon dioxide expiration/[L/(只·d)]	41.57	41.78	42.92	41.71	41.07	43.71	2.97	0.36
呼吸熵 RQ	0.99	1.00	0.99	1.00	1.01	1.01	<0.01	0.45
总产热量 Total heat production/ [(kJ/(只·d))]	884.14	882.67	903.56	880.24	861.91	919.63	42.32	0.13
代谢体重产热量 Heat production of metabolic BW/ [kJ/(kg BW ^{0.75} ·d)]	555.09	553.54	555.04	552.66	555.04	555.17	38.89	0.18
代谢体重绝食产热量 Fasting heat production of metabolic BW/ [kJ/(kg BW ^{0.75} ·d)]	369.78	369.57	369.74	367.98	369.69	369.82	7.91	0.12

同行数据肩注不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同小写字母或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。下表同。

In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with the same small letter and no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 不同饲料对试验鸡能量代谢的影响

由表 5 可知,基础饲料的表观代谢能显著低于所有玉米待测饲料($P<0.05$);蛋鸡采食基础饲料的代谢体重沉积能显著低于京科 665 玉米饲

料、MC812 玉米饲料和 MC278 玉米饲料($P<0.05$),同时基础饲料的净能显著低于京科 665 玉米饲料、MC812 玉米饲料和 MC278 玉米饲料($P<0.05$);基础饲料和玉米待测饲料净能与表观代谢能的比例差异不显著($P>0.05$)。

表5 不同饲料对试验鸡能量代谢影响

Table 5 Effects of different diets on energy metabolism of experimental chickens

项目 Items	基础饲料 Basal diet	京科 665 玉米饲料 <i>Jingke</i> 665 corn diet	MC812 玉米饲料 MC812 corn diet	MC278 玉米饲料 MC278 corn diet	陈化玉 米 1 饲料 Aging corn 1 diet	陈化玉 米 2 饲料 Aging corn 2 diet	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
表观代谢能 AME/(MJ/kg)	12.99 ^b	14.60 ^a	14.42 ^a	14.58 ^a	14.06 ^a	14.03 ^a	0.42	0.02
代谢体重代谢能摄入量 MEI of metabolic BW/ [kJ/(kg BW ^{0.75} ·d)]	822.77 ^a	837.71 ^a	891.59 ^a	836.12 ^a	635.20 ^b	822.44 ^a	38.34	0.01
代谢体重沉积能 RE of metabolic BW/ [kJ/(kg BW ^{0.75} ·d)]	267.64 ^b	309.46 ^a	336.54 ^a	306.95 ^a	119.00 ^c	266.01 ^b	24.61	0.01
净能 NE/(MJ/kg)	9.87 ^b	11.25 ^a	11.21 ^a	11.06 ^a	10.58 ^b	10.96 ^b	0.42	0.03
净能/表观代谢能 NE/AME	75.98	77.06	77.74	75.85	75.25	78.13	2.21	0.21

2.3 不同玉米样品能值和能量转化效率

由表 6 可知,3 种正常玉米(京科 665 玉米、MC812 玉米和 MC278 玉米)的表观代谢能和净能

显著高于 2 种陈化玉米($P<0.05$)。对于净能与表观代谢能的比例,正常玉米和陈化玉米的差异不显著($P>0.05$)。

表6 不同玉米平均能值和能量转化效率

Table 6 Energy value and energy conversion efficiency of different corn meals

项目 Items	京科 665 玉米 <i>Jingke</i> 665 corn	MC812 玉米 MC812 corn	MC278 玉米 MC278 corn	陈化 玉米 1 Aging corn 1	陈化 玉米 2 Aging corn 2	SEM	<i>P</i> 值 <i>P</i> -value
表观代谢能 AME/(MJ/kg)	16.19 ^a	15.85 ^a	16.17 ^a	15.12 ^b	15.06 ^b	0.42	0.02
净能 NE/(MJ/kg)	12.39 ^a	12.57 ^a	12.25 ^a	11.29 ^c	12.05 ^b	0.61	0.03
净能/表观代谢能 NE/AME/%	76.52	79.29	75.75	74.67	80.03	2.12	0.11

3 讨论

3.1 不同饲料对试验鸡呼吸代谢的影响

本研究采用间接测热法即通过测定试验动物全天的耗氧量和二氧化碳生成量,间接计算出动物的产热量。动物采食饲料后经过消化吸收使得营养物质进入体内,再通过生物氧化还原反应过程进行能量代谢,其实质上就是动物吸入氧气由肺进入血液进而被运送到各组织细胞参与营养物质的氧化还原反应,形成二氧化碳和水,二氧化碳经血液运输由肺排出。试验动物在进行气体交换过程中,排出二氧化碳和吸入氧气的比值即为试验动物的呼吸熵^[5]。呼吸熵和产热是动物呼吸代谢情况的重要参考指标,同时受多种因素的影响,

包括试验鸡品种、饲料、饲料类型、采食量、环境温度和测量方法^[6]。绝食产热量在净能研究中常作为试验动物的维持净能需要量^[7]。本研究中,试验鸡在 21℃ 条件下代谢体重正常产热量为 552.66~555.17 kJ/(kg BW^{0.75}·d),代谢体重绝食产热量为 367.98~369.82 kJ/(kg BW^{0.75}·d),且各组之间差异不显著,可见,试验饲料未对试验鸡的产热造成影响。Ning 等^[8]研究中采用间接测热法测定矮小型粉壳蛋鸡在产蛋高峰期的维持净能需要量为 473.38 kJ/(kg BW^{0.75}·d);Li 等^[9]研究报道,产蛋期蛋鸡的维持净能需要量为 569.28 kJ/(kg BW^{0.75}·d);Jadhao 等^[10]研究表明罗德岛红鸡的维持净能需要量为 501.47 kJ/(kg BW^{0.75}·d)。上述研究与本研究结

果不一致,原因是 Ning 等^[8]研究中虽然采用间接测热法,但其试验动物为矮小型蛋鸡;而后面 2 个报道的研究中采用比较屠宰法,与本试验的测定方法不同。Sakomura 等^[11]研究中罗曼蛋鸡的代谢体重绝食产热量为 $389.28 \text{ kJ}/(\text{kg BW}^{0.75} \cdot \text{d})$,与本研究结果相接近。Macleod^[12]研究发现生长肉鸡的绝食产热量不受饲料类型的影响,与本研究结果相一致。

3.2 不同饲料对试验鸡能量代谢的影响

本试验中,玉米待测饲料的表观代谢能和正常玉米饲料的净能均显著高于基础饲料,这可能由于基础饲料被 50% 的玉米样品替代后,玉米样品的代谢能和净能高于基础饲料被替代部分的代谢能和净能而引起的。Liu 等^[13]的研究以白羽肉种鸡为试验对象,其能量利用规律与本研究类似。家禽为能而食,采食量与饲料能量水平呈负相关,本研究中因待测玉米样品以 50% 的比例替代基础饲料,导致了试验饲料能量水平增高,进而影响了试验鸡的干物质采食量。宁冬^[14]的研究中以矮小型蛋鸡为试验动物,采用玉米-豆粕型基础饲料,玉米样品以 50% 比例替代基础饲料构成待测饲料,其表观代谢能为 $13.31 \text{ MJ}/\text{kg}$,净能为 $9.42 \text{ MJ}/\text{kg}$,与本研究中的正常玉米饲料表观代谢能为 $15.85 \sim 16.19 \text{ MJ}/\text{kg}$ 和净能为 $12.25 \sim 12.57 \text{ MJ}/\text{kg}$ 的结果有较大差异。因饲料净能测定受饲料类型、营养成分含量、试验鸡品种、日龄等多种因素的影响,不同研究中报道的试验饲料净能值差异较大。蛋鸡净能研究中陈化玉米饲料的表观代谢能和净能的报道较少,本研究中陈化玉米饲料的表观代谢能和净能显著低于正常玉米饲料,这与朱正鹏等^[15]用 30% 陈化玉米等量替代正常玉米,发现陈化玉米显著降低了肉鸭生产性能的结果相吻合。

3.3 不同玉米样品代谢能和净能

本试验采用替代法和间接测热法相互结合,测定的 3 种正常玉米的表观代谢能分别为 16.19 、 15.85 、 $16.17 \text{ MJ}/\text{kg}$,2 种陈化玉米的表观代谢能分别为 15.12 和 $15.06 \text{ MJ}/\text{kg}$;3 种正常玉米的净能分别为 12.39 、 12.57 、 $12.25 \text{ MJ}/\text{kg}$,2 种陈化玉米的净能分别为 11.29 和 $12.05 \text{ MJ}/\text{kg}$ 。翟少伟^[16]选用海兰褐蛋鸡为试验动物,测出优质玉米的表观代谢能为 $14.48 \text{ MJ}/\text{kg}$,普通玉米为 $14.41 \text{ MJ}/\text{kg}$;王旭莉^[17]选用来航蛋鸡得出玉米的

表观代谢能为 $14.70 \text{ MJ}/\text{kg}$,净能为 $11.97 \text{ MJ}/\text{kg}$,代谢能转化为净能的效率为 81%;高亚俐^[18]选用艾维茵肉公鸡测定了玉米的表观代谢能和净能分别为 13.43 和 $10.34 \text{ MJ}/\text{kg}$,代谢能转化为净能的效率为 78%。上述研究中玉米的表观代谢能和净能均低于本试验中的结果。替代法测定家禽饲料原料有效能值的研究中,配制满足动物正常生长所需的基础饲料,将被测饲料原料以一定的比例替代基础饲料组成被测饲料,同时测定基础饲料和被测饲料的有效能值,根据比例关系采用公式推导出被测原料的有效能值。套算法的理论假设基础是被测原料与基础饲料之间没有营养相互作用以及基础饲料的能值不受其在试验饲料里所占比例大小的影响。然而,不同饲料原料及营养成分之间存在组合效应,对被测原料能值的测定结果影响较大。同时,基础饲料组成、试验动物品种、日龄、饲料的营养成分含量、测试原料品质等因素都会对测定的能值产生影响^[19-20]。本研究中首次对陈化玉米的净能进行了测定,其表观代谢能和净能显著低于正常玉米。玉米是畜禽生产中使用最多的能量类原料,通常将收获 1 年以内的玉米称为新玉米。因为玉米在畜牧业和工业生产中用途广泛,在它上市后,国家、企业、种植户都会购买并储备一定量的玉米。随着储存时间的延长,玉米容易受到自身条件和外部环境的影响,开始陈化,并发生一系列生理生化反应,其产品品质也会随着存储时间的增加而进一步下降。殷洁鑫^[21]通过试验结果分析出,储存时间适当的新玉米可显著提高肉仔鸡的生长性能、消化道发育和养分利用率。然而储存太久的玉米可能会对家禽各方面造成负面影响。刘洋等^[22]研究表明,长期储存的玉米对肉鸡肝脏的组织结构造成破坏从而诱发不良反应,进而影响鸡的生产性能。

4 结 论

本研究中 3 种正常玉米的表观代谢能分别为 16.19 、 15.85 、 $16.17 \text{ MJ}/\text{kg}$,2 种陈化玉米的表观代谢能分别为 15.12 和 $15.06 \text{ MJ}/\text{kg}$;3 种正常玉米的净能分别为 12.39 、 12.57 、 $12.25 \text{ MJ}/\text{kg}$,2 种陈化玉米的净能分别为 11.29 和 $12.05 \text{ MJ}/\text{kg}$ 。2 种陈化玉米的表观代谢能和净能显著低于正常玉米。

参考文献:

- [1] 刘伟.肉鸡饲料净能测定方法及其应用的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2017.
- [2] 吕知谦,黄冰冰,李藏兰,等.日粮纤维组成对生长猪净能和营养物质消化率的影响[J].中国畜牧杂志,2017,53(2):65-69.
- [3] VAN MILGEN J, NOBLET J, DUBOIS S, et al. Dynamic aspects of oxygen consumption and carbon dioxide production in swine[J].British Journal of Nutrition,1997,78(3):397-410.
- [4] NOBLET J. Net energy evaluation of feeds and determination of net energy requirements for pigs[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2007,36:277-284.
- [5] 杨嘉实,冯仰廉.畜禽能量代谢[M].北京:中国农业出版社,2004.
- [6] SWICK R A, WU S B, ZUO J J, et al. Implications and development of a net energy system for broilers[J].Animal Production Science,2013,53(11):1231-1237.
- [7] BAREKATAIN M R, NOBLET J, WU S B, et al. Effect of sorghum distillers dried grains with solubles and microbial enzymes on metabolizable and net energy values of broiler diets[J].Poultry Science,2014,93(11):2793-2801.
- [8] NING D, YUAN J M, WANG Y W, et al. The net energy values of corn, dried distillers grains with solubles and wheat bran for laying hens using indirect calorimetry method[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,27(2):209-216.
- [9] LI Y Z, ITO T, YAMAMOTO S. Use of limited daily access to food in measuring the heat production associated with food intake in laying hens[J].British Poultry Science,1991,32(4):829-839.
- [10] JADHAO S B, TIWARI C M, CHANDRAMONI, et al. Energy requirement of Rhode island red hens for maintenance by slaughter technique[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,1999,12(7):1085-1089.
- [11] SAKOMURA N K, BASAGLIA R, SÁ-FORTES C M L, et al. Model for metabolizable energy requirements of laying hens[J].Revista Brasileira de Zootecnia,2005,34(2):575-583.
- [12] MACLEOD M G. Energy and nitrogen intake, expenditure and retention at 20° in growing fowl given diets with a wide range of energy and protein contents[J].British Journal of Nutrition,1990,64(3):625-637.
- [13] LIU W, LIU G H, LIAO R B, et al. Apparent metabolizable and net energy values of corn and soybean meal for broiler breeding cocks[J].Poultry Science,2016,96(1):135-143.
- [14] 宁冬.蛋鸡饲料原料净能值的评定及其应用[D].博士学位论文.北京:中国农业大学,2013.
- [15] 朱正鹏,王瑜铭,丁莹,等.陈化玉米对肉鸭生长性能、抗氧化功能及免疫器官指数的影响[J].中国畜牧杂志,2018,54(11):71-74.
- [16] 翟少伟.两种方法测定产蛋鸡日粮代谢能值的比较[J].当代畜牧,2007(9):27-29.
- [17] 王旭莉.蛋鸡玉米和豆粕净能值的测定及其净能体系的应用[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2010.
- [18] 高亚俐.回归法和饥饿法测定维持净能及0~3周龄艾维茵肉鸡净能需要量研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010.
- [19] 张正帆.应用化学成分及傅里叶近红外建立0~3周龄黄羽肉鸡豆粕净能预测模型的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010.
- [20] 于叶娜.0~3周龄黄羽肉鸡净能需要量及真可消化赖氨酸与净能适宜比值的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010.
- [21] 殷洁鑫.储存玉米营养价值变化及其对肉仔鸡生长、消化道发育和养分利用率的影响[D].硕士学位论文.扬州:扬州大学,2016.
- [22] 刘洋,刘比一,尹达菲,等.不同储存时间的玉米对肉鸡血清生化和组织学的影响[J].中国家禽,2015,37(13):22-26.

Study on Net Energy of Different Types of Corn in Laying Hens

BAN Zhibin¹ ZHANG Fangyu¹ WU Bin¹ YANG Lin² ZHANG Xin³ YANG Huaming¹
LI Lijia¹ LIANG Hao¹ LI Baihao¹ LANG Chaoli¹ YAN Xiaogang^{1*}

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130000, China; 2. China Huarong Asset Management Co., Ltd., Beijing 100033, China; 3. Liaoning Wellhope Agri-Tech Joint Stock Co., Ltd., Shenyang 110000, China)

Abstract: In this study, an open respiratory calorimeter for poultry was used for energy metabolism test, and the apparent metabolic energy and net energy of different types of corn in the laying hens' diet were determined by indirect calorimetry combined with substitution method. A total of 180 Hy-Line brown layers at the age of 34 weeks were randomly divided into 6 groups with 30 chickens in each group. The diets to be tested consisted of 5 corn varieties (3 normal corn harvested in October 2018 and 2 aged corn harvested and stored for 3 years in 2016), which were substituted for the basal diet by 50% respectively. The chickens were kept in a cage in the house. The pre-test period lasted for 7 days and the forward test period lasted for 27 days. The forward test period was divided into 3 phases, each of which lasted for 9 days (3 days for adaptation, 3 days for respiratory heat measurement and 3 days for fasting heat measurement). In each phase of the experiment, 4 chickens from each group were selected, weighed and put into 12 metabolic chambers (2 chickens for each metabolic chamber) of the respiratory calorimeter, and each 2 metabolic chambers was fed a kind of diet. The total amount of gas exchange and feces was measured, and the digestion and metabolism test was conducted while the respiration and heat were measured. The results showed that, compared with the basal diet, the apparent metabolic energy of the 5 corn diets under test was significantly increased ($P < 0.05$), and the net energy of the 3 normal corn diets under test was significantly higher than that of the basal diet and 2 aged corn diets under test ($P < 0.05$). The apparent metabolic energy and net energy of the 2 aged corn were significantly lower than those of the 3 normal corn ($P < 0.05$). In this experiment, the apparent metabolic energy of 3 normal corn is 16.19, 15.85 and 16.17 MJ/kg, and that of 2 aged corn is 15.12 and 15.06 MJ/kg, respectively. The net energy of 3 normal corn is 12.39, 12.57 and 12.25 MJ/kg, and that of 2 aged corn is 11.29 and 12.05 MJ/kg, respectively. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(4):1650-1657]

Key words: layers; metabolic energy; net energy; corn; indirect calorimetry