

2 种氧弹热量计测定样品总能的差异及其对能量消化率的影响

杜中原 苏艳芳 陈凯旋 张 虎 高庆涛 赵 峰*

(中国农业科学院北京畜牧兽医研究所,动物营养学国家重点实验室,北京 100193)

摘要: 本试验旨在研究 2 种氧弹热量计测定样品总能 (GE) 的差异及其对能量消化率的影响。采用两样本比较试验设计,考察 2 种氧弹热量计测定 4 个饲料、3 个饲料原料及 4 个粪样的 GE 与其变异系数的差异,以及测定饲料、饲料原料和仿生消化未消化残渣 GE 后计算的酶水解物能值 (EHGE) 和能量消化率的差异。在 GE 日内与日间变异的测定中,在每天 09:00—21:00,每 3 h 测定 1 次样品的 GE 值,共测定 4 次,累计测定 4 d。在仿生消化法饲料能量消化率的测定中,每个样品的仿生消化设 10 个重复,未消化残渣绝干后随机分成 2 组。2 种氧弹热量计测定饲料或饲料原料 GE,每个样品重复测定 2 次,对每个未消化残渣重复样品的 GE 测定 1 次。结果表明:1) 2 种氧弹热量计测定饲料、饲料原料的 GE 存在显著差异 ($P < 0.01$),而粪样的 GE 差异不显著 ($P > 0.05$)。2) 与氧弹热量计型号 1 相比,氧弹热量计型号 2 测定粪样 GE 的日内、日间及总变异系数相对较小。3) 2 种氧弹热量计测定样品及残渣的 GE,由此计算的饲料 3、棉籽粕的 EHGE 在 2 种氧弹热量计之间有显著差异 ($P < 0.05$),饲料 3 及 3 个饲料原料的能量消化率在 2 种氧弹热量计之间有显著差异 ($P < 0.05$)。由此可见,2 种型号氧弹热量计在测定饲料及饲料原料的 GE 上存在差异,在测定粪便 GE 的重复性上差异较大。2 种氧弹热量计间测定样品 GE 的差异引起了部分样品 EHGE 及能量消化率的差异,但这一差异程度远低于 GE 差异的程度。

关键词: 氧弹热量计;饲料原料;粪样;总能;能量消化率

中图分类号:S816.17

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)02-1128-09

在饲料原料消化能或代谢能的计算中,饲料及粪样的总能 (GE) 是必需的数据,因此,样品 GE 的测定精准度直接关系到饲料原料消化能或代谢能的精准度。目前,饲料原料及粪样、尿样的 GE 均采用氧弹热量计测定,其原理是在氧气充足的条件下,样品充分燃烧释放出的热量使水温升高,从而计算燃烧所产生的热量^[1]。然而,不同厂家生产的氧弹热量计在测定过程中往往有各种因素影响燃烧的程度,从而导致测定值存在偏差。蔡阿敏等^[2]采用河南产微机全自动氧弹热量计(型

号:ZDHW-8000)测定全混合日粮的 GE 随样品粉碎粒径的减少而增加。这可能是由于样品粒径越小表面积越大^[3],因而与氧气接触越充分,燃烧更彻底。赖建辉等^[4]研究结果表明,粪便中不易燃烧的物质含量较高,测定时往往出现不完全燃烧,甚至点火失败的情况。对于不易燃烧的样品,通常添加一定比例的助燃剂,如苯甲酸^[1]。然而,Shen 等^[5]采用上海产等热式氧弹热量计(型号:HR-15)测定稻壳的 GE 随加入苯甲酸助燃剂的比例不同而有差异。Sibbald 等^[6]比较了 Parr 1241

收稿日期:2020-06-28

基金项目:中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IAS07);温氏食品集团股份有限公司-中国农业科学院北京畜牧兽医研究所合作项目(2018-YF-01)

作者简介:杜中原(1993—),男,河南永城人,硕士研究生,从事饲料养分生物学效价评定的研究。E-mail:1826080182@qq.com

* 通信作者:赵 峰,研究员,博士生导师,E-mail:zhaofeng@caas.cn

绝热式氧弹热量计在 2 种模式下测定 GE 的变异度,发现不同模式之间存在较大差异。从上述影响测定 GE 的因素看,由于不同的研究者采用的氧弹热量计型号不同,测定的 GE 可能存在差异。考虑到目前饲料行业使用的氧弹热量计种类较多,仪器在构造、计算原理上均有一定差异,不同型号氧弹热量计测定同一样品 GE 的差异鲜见相关报道。因此,本研究通过比较我国饲料行业主流使用的 2 种氧弹热量计在测定饲料、饲料原料、粪样 GE 的变异程度及其对饲料能量消化率计算值的影响,为饲料行业在测定 GE 或能量消化率差异的比较上提供参考。

1 材料与amp;方法

1.1 饲料、饲料原料及粪样

饲料 1、2 及对应的粪样 1、2 来自于本实验室 Gao 等^[7]的猪消化试验样品,饲料 3、4 及对应的粪样 3、4 来自于党方坤^[8]的猪消化试验样品。每个粪样由 6 头猪的粪样按重量等比例混合而成。玉米、菜籽粕和棉籽粕来源于饲料企业。所有样品用多功能粉碎机(生产厂家:永康市某机电厂;型号:XT-A400)粉碎后过 40 目方形筛孔,密封后于实验室-20 ℃保存备用。

表 1 饲料、饲料原料及粪样的概略养分含量(风干基础)

Table 1 Proximate nutrient contents in diets, feed ingredients and feces (air-dry basis)

%

项目 Items	干物质 Dry matter	粗蛋白质 Crude protein	粗纤维 Crude fiber	粗脂肪 Ether extract	粗灰分 Ash
饲料 1 Diet 1 ¹⁾	89.06	17.34		3.69	
饲料 2 Diet 2 ¹⁾	89.06	17.09		3.89	
饲料 3 Diet 3 ²⁾	90.52	19.03	3.96		
饲料 4 Diet 4 ²⁾	89.95	13.96	3.20		
玉米 Corn ³⁾	87.48	7.11	1.88	3.75	0.97
菜籽粕 Rapeseed meal ³⁾	91.91	36.79	11.13	3.66	6.12
棉籽粕 Cottonseed meal ³⁾	88.88	46.86	9.30	1.13	6.43
粪样 1 Feces 1 ¹⁾	93.14	21.58		5.60	
粪样 2 Feces 2 ¹⁾	93.42	20.76		6.04	
粪样 3 Feces 3 ²⁾	95.63	19.40		11.75	
粪样 4 Feces 4 ²⁾	95.45	14.84		10.63	

1) 数据来源于 Gao 等^[7]。The data referred to Gao^[7] et al.

2) 数据来源于党方坤^[8]。The data referred to Dang^[8].

3) 数据为实测值。The data were determined values.

1.2 试验设计

采用两样本比较试验设计,考察 2 种氧弹热量计测定样品 GE 的日内、日间及总变异系数的差异,以及测定样品及残渣的 GE 后计算的仿生消化法体外能量消化率的差异。在 GE 日内与日间变异的测定中,在 09:00—21:00,每 3 h 测定 1 次样品的 GE,共测定 4 次,累计测定 4 d。在仿生消化法饲料及饲料原料能量消化率的测定中,每个样品的仿生消化设 10 个重复,未消化残渣绝干后随机分成 2 组。2 种氧弹热量计对饲料或饲料原料样品 GE 分别重复测定 2 次,对每个未消化残渣重复样品的 GE 测定 1 次。

1.3 测定指标与方法

按 GB/T 6435—2014 测定样品的水分含量并计算其干物质(dry matter, DM)含量,并根据 ISO 9831:1998 的方法测定饲料、饲料原料、粪样及经仿生消化系统消化后未水解残渣的 GE;以苯甲酸作为标准物标定氧弹热量计的热容量并定标。仿生消化法测定饲料及饲料原料的酶水解物能值(EHGE)的操作规程参考赵峰等^[9]仿生消化法测定猪饲料 EHGE 测定技术规程进行。

1.4 数据处理与统计分析

采用 SAS 9.0 的 MEANS 模块对基本统计量进行分析。根据两样本比较试验设计的原理,用 TTEST 模块对 2 种氧弹热量计实测的 GE 进行差

异显著性分析。通过 GLM 模块首先计算出总平方和、日内(组内)平方和、日间(误差)平方和统计量,再参照蒋红卫等^[10]的公式计算 GE 测定值的日内、日间及总变异系数。对于 GE 测定值与平均值相差 1 000 kcal/g(1 cal \approx 4.185 9 J)以上视为燃烧不充分,不计入平均值统计。采用 FREQ 模块的 Chisq 选项对 2 种氧弹热量计在点火失败、燃烧不充分及燃烧充分的频次上是否一致进行卡方检验。 $P<0.05$ 定义为统计显著性差异。

2 结果与分析

2.1 2 种氧弹热量计测定饲料、饲料原料及粪样 GE 的差异

由表 2 可知,在 4 个饲料的 GE 测定中,氧弹热量计型号 1 比型号 2 平均值高 79~153 cal/g DM($P<0.05$);在 3 个饲料原料的 GE 测定中,氧弹热量计型号 1 比型号 2 平均值高 64~84 cal/g DM ($P<0.05$)。而在 4 个粪样的 GE 测定中,氧弹热量计型号 1 和 2 在平均值上相差-230~51 cal/g DM,无显著差异($P>0.05$)。在点火失败、燃烧不充分及烧热充分次数的分布上,氧弹热量计型号 1 与型号 2 有显著差异($P<0.05$)。

由表 3 可知,在饲料 1~3 的 GE 测定中,氧弹热量计型号 1 的日内、日间及总变异系数分别在 0.23%~0.38%、0.36%~0.68%和 0.41%~0.72%;氧弹热量计型号 2 的日内、日间及总变异系数分别在 0.15%~0.29%、0.25%~0.37%和 0.29%~0.44%。在饲料 4 的 GE 测定中,氧弹热量计型号 1 的日内、日间及总变异系数分别为 0.79%、0.59%和 0.90%,而氧弹热量计型号 2 的日内、日间及总变异系数分别为 3.50%、2.87%和 4.18%。在 3 个饲料原料的 GE 测定中,氧弹热量计型号 1 的日内、日间及总变异系数分别在 0.22%~0.76%、0.19%~0.44%和 0.29%~0.75%;氧弹热量计型号 2 的日内、日间及总变异系数分别在 0.19%~0.71%、0.15%~0.40%和 0.22%~0.71%;2 种氧弹热量计在日内、日间及总变异系数的平均值上较接近。在粪样 1~4 的 GE 测定中,氧弹热量计型号 1 的日内、日间及总变异系数分别在 1.46%~12.98%、0.74%~4.43%和 1.44%~11.67%;氧弹热量计型号 2 的日内、日间及总变异系数分别在 0.35%~1.02%、0.04%~0.36%和 0.23%~0.95%;氧弹热量计型号 1 在日内、日间及总变异系数的平均值上均高于氧弹热量计 2。

表 2 2 种型号氧弹热量计测定样品 GE 的差异

Table 2 Difference in GE of samples determined with two types of oxygen bomb calorimeter cal/g DM

项目 Items	氧弹热量计型号 1 Oxygen bomb calorimeter type 1					氧弹热量计型号 2 Oxygen bomb calorimeter type 2					SEM	P 值 P-value
	第 1 天 Day 1	第 2 天 Day 2	第 3 天 Day 3	第 4 天 Day 4	平均值 Mean	第 1 天 Day 1	第 2 天 Day 2	第 3 天 Day 3	第 4 天 Day 4	平均值 Mean		
	样品 Samples											
饲料 1 Diet 1	4 504	4 555	4 577	4 580	4 552 ^a	4 452	4 470	4 475	4 498	4 473 ^b	7	<0.01
饲料 2 Diet 2	4 509	4 545	4 563	4 561	4 544 ^a	4 448	4 459	4 468	4 480	4 464 ^b	7	<0.01
饲料 3 Diet 3	4 610	4 635	4 652	4 648	4 636 ^a	4 536	4 549	4 552	4 567	4 551 ^b	4	<0.01
饲料 4 Diet 4	4 523	4 538	4 556	4 594	4 553 ^a	4 184	4 452	4 459	4 506	4 400 ^b	56	<0.01
玉米 Corn	4 579	4 619	4 628	4 630	4 614 ^a	4 502	4 531	4 533	4 553	4 530 ^b	5	<0.01
菜籽粕 Rapeseed meal	4 854	4 878	4 874	4 875	4 870 ^a	4 786	4 793	4 790	4 806	4 794 ^b	5	<0.01
棉籽粕 Cottonseed meal	4 738	4 779	4 763	4 741	4 755 ^a	4 673	4 676	4 715	4 684	4 687 ^b	17	<0.01
粪样 1 Feces 1	4 458	4 441	4 490	4 385	4 452	4 405	4 410	4 377	4 414	4 401	26	0.09
粪样 2 Feces 2	4 038	4 299	3 973	4 480	4 171	4 401	4 400	4 399	4 404	4 401	186	0.11
粪样 3 Feces 3	4 767	4 787	4 640	4 817	4 753	4 756	4 769	4 773	4 764	4 765	49	0.72
粪样 4 Feces 4	4 850	4 693	4 699	4 817	4 761	4 947	4 937	4 941	4 902	4 932	80	0.14

续表 2

项目 Items	氧弹热量计型号 1 Oxygen bomb calorimeter type 1					氧弹热量计型号 2 Oxygen bomb calorimeter type 2					SEM	P 值 P-value	
	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	平均值	第 1 天	第 2 天	第 3 天	第 4 天	平均值			
	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Mean	Day 1	Day 2	Day 3	Day 4	Mean			
观测数 Observation													
点火失败 Failure of fire			1					0					
烧热不充分 Uncomplete fire			6					0					0.03
燃烧充分 Complete fire			169					176					

同行平均值上标不同字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

In the same row, values of mean with different letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

表 3 2 种型号氧弹热量计测定样品 GE 的变异系数

Table 3 CV of gross energy in samples determined with two types of oxygen bomb calorimeter

%

项目 Items	氧弹热量计型号 1 Oxygen bomb calorimeter 1			氧弹热量计型号 2 Oxygen bomb calorimeter 2		
	日内 Intra-day	日间 Inter-day	总和 Total	日内 Intra-day	日间 Inter-day	总和 Total
	饲料 Diets					
1	0.29	0.68	0.72	0.29	0.37	0.44
2	0.38	0.47	0.58	0.15	0.26	0.29
3	0.23	0.36	0.41	0.24	0.25	0.33
4	0.79	0.59	0.90	3.50	2.87	4.18
平均值 Mean	0.42	0.53	0.65	1.05	0.94	1.31
饲料原料 Feed ingredients						
玉米 Corn	0.22	0.44	0.48	0.20	0.40	0.44
菜籽粕 Rapeseed meal	0.24	0.19	0.29	0.19	0.15	0.22
棉籽粕 Cottonseed meal	0.76	0.35	0.75	0.71	0.35	0.71
平均值 Mean	0.41	0.33	0.51	0.37	0.30	0.46
粪样 Feces						
1	1.46	0.74	1.44	0.80	0.33	0.77
2	12.98	4.43	11.67	0.35	0.04	0.30
3	2.93	1.42	2.91	0.22	0.13	0.23
4	4.64	1.48	4.24	1.02	0.36	0.95
平均值 Mean	5.50	2.02	5.07	0.60	0.22	0.56
所有样品 All samples	2.27	1.01	2.22	0.70	0.50	0.81

2.2 2 种氧弹热量计测定饲料和饲料原料及仿生消化未水解物 GE 后计算的 EHGE 及能量消化率的差异

由表 4 可知,在 4 个饲料和 3 个饲料原料未消化残渣 GE 测定中,氧弹热量计型号 1 测定的 GE 均高于氧弹热量计型号 2。除 2 种氧弹热量计测

定饲料 1 或 4 未消化残渣 GE 在统计上差异不显著 ($P>0.05$) 外,其他 5 个样品均有显著差异 ($P<0.05$)。通过 2 种氧弹热量计测定样品的 GE 及未消化残渣 GE 计算的 EHGE,由氧弹热量计型号 1 测定 GE 后计算的饲料 3 或棉籽粕的 EHGE 显著低于由氧弹热量计型号 2 测定 GE 后计算的 EH-

GE ($P < 0.05$), 其他 5 个样品 2 种氧弹热量计测定 GE 后计算的 EHGE 差异不显著 ($P > 0.05$)。由氧弹热量计型号 1 测定饲料 3 或 3 个饲料原料的能量消化率显著低于由氧弹热量计型号 2 测定 GE

后计算的能量消化率 ($P < 0.05$), 2 种氧弹热量计测定饲料 1、2、4 的 GE 后计算的能量消化率差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 4 2 种氧弹热量计测定 GE 的差异而引起饲料及饲料原料 EHGE 和能量消化率的差异

Table 4 Differences in EHGE and digestibility of energy in diets and feed ingredients calculated on GE determined with two types of oxygen bomb calorimeter

项目 Items	饲料 1 Diet 1	饲料 2 Diet 2	饲料 3 Diet 3	饲料 4 Diet 4	玉米 Corn	菜籽粕 Rapeseed meal	棉籽粕 Cottonseed meal
未消化残渣 GE GE of undigested residue/(cal/g)							
氧弹热量计型号 1 Oxygen bomb calorimeter type 1	4 407	4 564	4 922	4 171	4 205	4 410	4 660
氧弹热量计型号 2 Oxygen bomb calorimeter type 2	4 240	4 282	4 114	4 156	3 877	4 171	4 366
SEM	110	51	49	117	75	26	29
P 值 P-value	0.17	<0.01	<0.01	0.91	<0.01	<0.01	<0.01
酶水解物能值 EHGE/(cal/g)							
氧弹热量计型号 1 Oxygen bomb calorimeter type 1	3 546	3 560	3 208	3 544	3 678	2 525	2 394
氧弹热量计型号 2 Oxygen bomb calorimeter type 2	3 509	3 524	3 390	3 495	3 672	2 554	2 441
SEM	46	23	17	38	16	20	17
P 值 P-value	0.46	0.17	<0.01	0.23	0.74	0.21	<0.05
能量消化率 Digestibility of energy/%							
氧弹热量计型号 1 Oxygen bomb calorimeter type 1	77.52	78.34	71.36	78.47	79.67	53.49	50.54
氧弹热量计型号 2 Oxygen bomb calorimeter type 2	77.94	78.86	75.68	78.63	80.99	55.21	52.67
SEM	1.01	0.51	0.37	0.84	0.36	0.44	0.36
P 值 P-value	0.71	0.26	<0.01	0.85	0.01	<0.01	<0.01

3 讨论

3.1 氧弹热量计测定样品 GE 的影响因素

不同厂家生产的氧弹热量计在仪器构造、计算方法等方面可能存在差异,然而,在测定过程中样品的粉碎粒径、上样量以及防止燃烧时飞溅的处理方式(如纸包裹、压片、矿物油封闭)可能会影响到 GE 的测定结果。ISO 9831—1990^[1]、德国 IKA 及美国 PARR 在氧弹热量计的测定规程中并未对样品的粉碎粒度作要求。Sibbald 等^[6]在测定玉米、燕麦、鱼粉、肉粉的 GE 时,粉碎过 20 目筛。李仲玉等^[11]指出 PARR 6300 氧弹热量计测定样品 GE 时,样品粉碎过 60 目筛或稍小并压成片状时燃烧最充分,粒径过大时易出现燃烧不充分。

蔡阿敏等^[2]的试验结果表明,饲料样品粉碎过 60~100 目后测定 GE 的重复性更好。然而,张丽英^[12]在饲料 GE 的测定中规定样品的粉碎粒径为 40 目筛。当前,众多鸡代谢试验中饲料、粪样均粉碎均过 0.5 mm 筛(30~40 目)后测定 GE^[13-14],猪代谢试验中饲料、粪样均粉碎均过 1 mm 筛(16 目)^[15-17],同时也发现,目前一些代谢试验中饲料、粪样粉碎粒度未明确指出^[18-19]。由此可见,不同研究在测定 GE 时样品粉碎的粒径具有较大的差异。这一差异是否与氧弹热量计的型号有关尚待进一步研究。本试验的粉碎粒径采用目前绝大多数文献报道动物代谢试验对饲料和粪样普遍粉碎过 40 目筛的“共识”。在这一粒径下测定的 GE 与文献数据更具可比性。在上样量对氧弹热

量计测定样品 GE 的影响上,主要受氧弹热量计如水箱的体积、氧弹的热容量等因素的影响。上样量不足,导致测定过程中升温幅度偏低,影响 GE 的计算结果。上样量过多,容易造成剧烈爆炸而引起样品飞溅。根据操作手册,氧弹热量计在使用之前,均使用苯甲酸作为标准物进行校正,当测定的苯甲酸 GE 在 $(6\ 318 \pm 10)$ cal/g 才进行后续测样。此外, IKA C6000 氧弹热量计建议样品上样量最多不能超过 5 g,热值最好低于约 9 560 cal; Parr 6400 氧弹热量计建议样品的上样量最好低于 0.7 g,最多不能超过 1.5 g,样品热值最好低于 8 000 cal。本试验测定玉米的 GE 中,氧弹热量计型号 1 测定的 GE 随着上样量的增加(0.2~1.0 g)而下降,而氧弹热量计型号 2 测定的 GE 在上样量 0.2~0.4 g 时随上样量的增加而升高,在 0.6~1.0 g 时 GE 趋于稳定(未列出数据)。这一现象与使用型号 PARR 6300 测定玉米 GE 时,上样量低于 0.5 g,GE 略偏低,且多次测定的标准偏差相对较大;上样量为 0.7 g,GE 较为稳定的结果^[20]一致。由此可见,不同型号的氧弹热量计测定的 GE 受上样量的影响呈现完全不一致的变化规律。这一影响是否受饲料原料不同而有差异,尚需要进一步研究。目前,鲜见文献报道饲料原料的碳水化合物水平是否会影响氧弹热量计对 GE 的测定值。然而,高纤维样品、高挥发性样品及含氮、硫等元素的样品^[12],会影响 GE 测定值的准确性。在防止燃烧时样品的飞溅中,美国采用 ISO 9831—1990^[1]的方法,将粉状样品装入聚乙烯袋中。本实验室通常采用 Whatman™ 镜头纸(重量约 0.07 g/张)包裹粉状样品。IKA C6000 氧弹热量计配有专门的压片机对粉状样品喷洒少量水后进行压片。然而,不同的防飞溅方式对氧弹热量计测定 GE 的影响尚鲜见文献报道。

3.2 不同型号氧弹热量计测定样品 GE 及变异的比较

文献鲜见报道 2 种或 2 种以上氧弹热量计测定同一样品 GE 的差异。然而,娄瑞颖等^[21]使用 IKA C200 氧弹热量计测定 55 个中国玉米的 GE 平均值为 4 579 cal/g DM,变异系数为 1.04%。李全丰^[22]使用 PARR 6400 氧弹热量计测定 100 个中国玉米的 GE 平均值为 4 447 cal/g DM,变异系数为 1.01%。上述研究中玉米 GE 的差异因氧弹热量计型号的不同而贡献了多少尚不清楚,但从

本研究的结果看,2 种氧弹热量计导致玉米 GE 的差异达到了 84 cal/g DM。在饲料和其他饲料原料上 2 种氧弹热量计测定的 GE 也存在显著差异。而在测定粪样 2 和 4 的 GE 上,虽然 2 种氧弹热量计测定值差异较大,但统计检验差异不显著。这主要是由于氧弹热量计型号 1 测定粪样 GE 的变异系数远高于饲料及饲料原料测定 GE 的变异系数,从而导致统计的集合标准误较大,而 t 值变小。这一现象与 D' alfonso 等^[23]的试验结果类似,其数据表明氧弹热量计重复 5 次测小麦 GE 的变异系数为 1.40%,而 4 个鸡排泄物各 4 次重复测定 GE 的变异系数在 1.21%~12.18% 变化。

Sibbald 等^[6]比较了同一型号氧弹热量计在快速模式和标准模式下测定饲料、粪样 GE 比较接近(差值 < 12 cal/g),然而,不同样品在测定日间 GE 的差异不一致。这表明氧弹热量计在不同测定日间的测定值存在变化。ISO 9831—1990^[1]在剔除部分实验室异常测定值数据后,得出测定 7 类样品 GE 的重复性变异系数在 0.09%~2.10% 变化。本试验中,2 种氧弹热量计在测定饲料和饲料原料 GE 的变异系数(日内、日间及总变异系数)相对接近,而氧弹热量计型号 1 在测定粪样 GE 的变异系数远高于氧弹热量计型号 2。这主要是由于粪便中粗灰分含量相对于饲料较高,通常出现燃烧不完全现象^[4]。这一结论从氧弹热量计型号 1 在点火失败、不完全燃烧频率高于氧弹热量计型号 2 得到佐证。在 2 种氧弹热量计测定饲料和未消化残渣 GE 后计算的 EHGE 中,由于氧弹热量计型号 1 测定的所有 7 个样品的 GE 和 5 个样品的未消化残渣 GE 高于氧弹热量计型号 2,因此,由 GE 测定的差异导致 7 个样品中 3 个样品的 EHGE 计算值和 4 个样品的能量消化率计算值存在显著差异。这是因为在消化试验中未消化残渣的 GE 相对于消化前样品的 GE 占比较小,因此,同一个样品的能量消化率主要受样品 GE 测定值高低的影响。这一现象与小麦氮校正真代谢能的计算中小麦和排泄物 GE 测定的方差对真代谢能(TME)的变异分别贡献了 48.1% 和 3.8% 的结果^[13]相一致。

4 结 论

2 种氧弹热量计在测定饲料及饲料原料的 GE 上存在差异,在测定粪便 GE 的重复性上存在较大的差异。2 种氧弹热量计间测定饲料样品 GE 的

差异引起了部分样品 EHGE 及能量消化率的差异,但这一差异程度远低于 GE 测定的差异程度。

参考文献:

- [1] ISO. ISO 9831—1998 Animal feeding stuffs, animal products, and faeces or urine-determination of gross calorific value bomb calorimeter method[S]. Switzerland: ISO, 1998.
- [2] 蔡阿敏,李鹏涛,范逸婷,等.粉碎粒度对氧弹式量热法测定全混合日粮总能的影响[J].动物营养学报, 2019, 31(9): 4194-4199.
CAI A M, LI P T, FAN Y T, et al. Effects of grinding particle size on gross energy of total mixed ration measured by oxygen bomb calorimetry [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31 (9): 4194 - 4199. (in Chinese)
- [3] ROJAS O J, STEIN H H. Effects of reducing the particle size of corn grain on the concentration of digestible and metabolizable energy and on the digestibility of energy and nutrients in corn grain fed to growing pigs [J]. Livestock Science, 2015, 181: 187-193.
- [4] 赖建辉,田超.饲料总能和粪能的测定技术[J].饲料工业, 1994, 15(8): 32-34.
LAI J H, TIAN C. Technique for determining gross energy of feed and feces [J]. Feed Industry, 1994, 15 (8): 32-34. (in Chinese)
- [5] SHEN J F, ZHU S G, LIU X Z, et al. Measurement of heating value of rice husk by using oxygen bomb calorimeter with benzoic acid as combustion adjuvant[J]. Energy Procedia, 2012, 17: 208-213.
- [6] SIBBALD I R, MORSE P M. Variation among gross energy values measured by two modes of adiabatic oxygen bomb calorimetry[J]. Poultry Science, 1982, 61 (5): 994-997.
- [7] GAO Q T, ZHAO F, DANG F K, et al. Effect of corn particle size on the particle size of intestinal digesta or feces and nutrient digestibility of corn-soybean meal diets for growing pigs [J]. Animals, 2020, 10 (5): 876.
- [8] 党方坤.生长猪肠内消化酶的纯化与肠液体外模拟的研究[D].硕士学位论文.北京.中国农业科学院, 2018.
DANG F K. Study on purification of digestive enzymes in intestinal tract and *in vitro* simulation of intestinal fluid for growing pigs [D]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018. (in Chinese)
- [9] 赵峰,张宏福,张子仪.单胃动物仿生消化系统操作手册[M]. 2 版.北京:中国农业科学院, 2011.
ZHAO F, ZHANG H F, ZHANG Z Y. Manual of simulated digestion system for monogastric animal [M]. 2nd ed. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2011. (in Chinese)
- [10] 蒋红卫,夏结来.基于样本变异系数的组间与组内变异统计量[C]//中国卫生统计学术交流大会论文集.武汉:[s.n.], 2006: 1-7.
JIANG H W, XIA J L. Statistics for inter and intra group variation based on coefficient of variation in samples [C]//Proceedings of China health statistics conference. Wuhan: [s.n.], 2006: 1-7. (in Chinese)
- [11] 李仲玉,徐良梅,王洪亮.PARR 6300 氧弹量热仪故障排除及使用中应注意的问题[J].饲料博览, 2009 (9): 28-30.
LI Z Y, XU L M, WANG H L. Troubleshooting and attention in the use for PARR 6300 oxygen bomb calorimeter. [J]. Feed Review, 2009(9): 28-30. (in Chinese)
- [12] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3 版.北京:中国农业大学出版社, 2007.
ZHANG L Y. Feed analysis and quality test technology [M]. 3 ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2007. (in Chinese)
- [13] AZAM F, QAISRANI S N, KHALIQUE A, et al. Exploring nutritive profile, metabolizable energy, protein, and digestible amino acids contents of indigenous protein sources of different locations for male broilers [J]. Poultry Science, 2019, 98(10): 4664-4672.
- [14] ALI ABBASI M, GHAZANFARI S, SHARIFI S D, et al. Influence of dietary plant fats and antioxidant supplementations on performance, apparent metabolizable energy and protein digestibility, lipid oxidation and fatty acid composition of meat in broiler chicken [J]. Veterinary Medicine and Science, 2020, 6(1): 54-68.
- [15] XIE F, LI Y K, ZHAO J B, et al. Comparative digestibility of energy and nutrients in four fibrous ingredients fed to barrows at three different initial body weights [J]. Canadian Journal of Animal Science, 2018, 99(2): 315-325.
- [16] JAWORSKI N W, STEIN H H. Disappearance of nutrients and energy in the stomach and small intestine, cecum, and colon of pigs fed corn-soybean meal diets containing distillers dried grains with solubles, wheat middlings, or soybean hulls [J]. Journal of Animal Science, 2017, 95(2): 727-739.

- [17] MA D L, MA X K, LIU L, et al. Chemical composition, energy, and amino acid digestibility in 7 cottonseed co-products fed to growing pigs [J]. *Journal of Animal Science*, 2018, 96(4): 1338–1349.
- [18] QUEMENEUR K, MONTAGNE L, LEGALL M, et al. Relation between feeding behaviour and energy metabolism in pigs fed diets enriched in dietary fibre and wheat aleurone [J]. *Animals*, 2020, 14(3): 508–519.
- [19] TANG X P, XIANG R, CHEN S J, et al. Effects of fermented cottonseed meal and enzymatic hydrolyzed cottonseed meal on amino acid digestibility and metabolic energy in white leghorn rooster [J]. *Pakistan Journal of Zoology*, 2018, 50(3): 957–962.
- [20] 马艳, 谭卫红, 沈娟章, 等. 新型氧弹量热仪测定谷物的热值 [J]. *生命科学仪器*, 2013, 11(3): 42–44.
MA Y, TAN W H, SHEN J Z, et al. Determination of the heat values of several cereals with bobm-calorimeter [J]. *Life Science Instruments*, 2013, 11(3): 42–44. (in Chinese)
- [21] 娄瑞颖, 刘国华, 张玉萍, 等. 玉米理化品质及其鸡代谢能的变异研究 [J]. *饲料工业*, 2011, 32(16): 34–38.
LOU R Y, LIU G H, ZHANG Y P, et al. Physical and chemical quality of corn and its variation research of metabolizable energy in broilers [J]. *Feed Industry*, 2011, 32(16): 34–38. (in Chinese)
- [22] 李全丰. 中国玉米猪有效营养成分预测方程的构建 [D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2014.
LI Q F. Establish prediction modeling on available nutrients with Chinese corn for pigs [D]. Ph. D. Thesis. Beijing: China Agricultural University. 2014. (in Chinese)
- [23] D'ALFONSO T H, MANBECK H B, ROUSH W B. Partitioning of variance in true metabolizable energy determinations: an example using wheat data [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1999, 80(1): 29–41.

Difference in Two Types of Oxygen Bomb Calorimeter to Determine Gross Energy and Its Effects on Energy Digestibility of Samples

DU Zhongyuan SU Yanfang CHEN Kaixuan ZHANG Hu GAO Qingtao ZHAO Feng*

(State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China)

Abstract: The objective of this experiment was to investigate the difference in the two types of oxygen bomb calorimeter to determine gross energy (GE) and its effects on energy digestibility of samples. A two-sample comparison experimental design was adopted to study the difference in GE and its coefficient of variation for four diets, three feed ingredients and four feces determined with two types of oxygen bomb calorimeters, as well as the difference in the enzymatic hydrolysate gross energy (EHGE) and energy digestibility calculated from the GE of diets, feed ingredients and corresponding residues after simulated digestion. In the determination of intra-day and inter-day variation, the GE of the samples were measured four times daily with once every 3 h from 09:00 to 21:00 and continued to measure for 4 d. In the determination of diet energy digestibility in the simulated digestion, each sample contained 10 replicates. The undigested residues were dried and randomly divided into 2 groups. The two types of oxygen bomb calorimeter were used to measure the GE of each diets or feed ingredients in duplicate, and the GE of each undigested residues only once. The results showed as follows: 1) there were significant differences between the GE measured by the two types of oxygen bomb calorimeter for each of diets and feed ingredients ($P < 0.05$), while no difference was observed between the GE of feces. 2) The smaller intra-day, inter-day and the total coefficients of variation of GE for feces were observed in the oxygen bomb calorimeter type 2 compared with oxygen bomb calorimeter type 1. 3) There were significant differences in the EHGE in each of diet 3 and cottonseed meal and energy digestibilities in each of diet 3 and three feed ingredients calculated from the GE of samples and undigested residues measured by two types of oxygen bomb calorimeter ($P < 0.05$). In conclusion, two types of oxygen bomb calorimeter present a difference in GE measurement for diets and feed ingredients, and present a great difference in the repeatability of fecal GE. Differences in GE measured by two types of oxygen bomb calorimeter lead to differences in EHGE and energy digestibility in some samples, but the extent of this difference is much less than the difference in GE. [Chinese Journal of Animal Nutrition, 2021, 33(2):1128-1136]

Key words: oxygen bomb calorimeter; feed ingredients; feces; gross energy; energy digestibility