

绝食法与无氮饲料法测定黄羽肉鸡内源性氨基酸排泄量及变异的比较研究

任立芹¹ 赵峰^{1*} 谭会泽² 张建智¹ 米宝民¹ 赵江涛² 张宏福¹

(1. 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;

2. 广东温氏集团食品有限公司, 新兴 527439)

摘要: 本试验旨在通过比较黄羽肉鸡在绝食和无氮饲料条件下内源性氨基酸排泄量及其变异的差别, 为鸡饲料可利用氨基酸评定中内源性氨基酸的测定提供参考。采用单因素完全随机设计, 选择 18 周龄健康、体重基本一致的黄羽肉鸡 72 只, 随机分成 3 组, 每组 6 个重复, 每个重复 4 只鸡。分 4 个批次重复测定绝食、强饲 25 g 无氮饲料、强饲 40 g 无氮饲料时内源性氨基酸排泄量。结果表明: 绝食组、25 g 无氮饲料组、40 g 无氮饲料组内源性氨基酸排泄量依次显著增加 ($P < 0.05$)。在内源性氨基酸排泄量的变异上, 绝食条件下, 4 个测定批次间 17 种内源性氨基酸排泄量的总变异系数在 9.74% ~ 19.99%, 其中批内变异系数在 9.97% ~ 16.88%, 批间变异系数在 2.58% ~ 16.23%, 4 个测定批次间内源性苏氨酸、胱氨酸、丝氨酸、脯氨酸排泄量有显著性差异 ($P < 0.05$)。强饲 25 g 无氮饲料条件下, 4 个测定批次间 17 种内源性氨基酸排泄量的总变异系数在 17.77% ~ 31.33%, 其中批内变异系数在 14.99% ~ 28.80%, 批间变异系数在 3.89% ~ 17.04%, 4 个测试批次间内源性精氨酸、甘氨酸、脯氨酸排泄量差异显著 ($P < 0.05$)。强饲 40 g 无氮饲料条件下, 4 个测定批次间 17 种内源性氨基酸排泄量的总变异系数在 16.23% ~ 33.39%, 其中批内变异系数在 17.15% ~ 33.82%, 批间变异系数在 4.19% ~ 16.29%, 4 个测试批次间内源性异亮氨酸和苯丙氨酸排泄量差异显著 ($P < 0.05$)。由此可见, 内源性氨基酸排泄量随强饲量的增加而增加, 强饲 25 与 40 g 无氮饲料条件下的内源性氨基酸排泄量的变异系数非常接近, 且都大于绝食条件下内源性氨基酸排泄量的变异。

关键词: 内源性氨基酸; 绝食法; 无氮饲料法; 黄羽肉鸡

中图分类号: S831

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2012)12-2424-12

目前, 国际上普遍采用氨基酸真消化率或标准氨基酸消化率来表达氨基酸的生物学效价^[1-3]。而氨基酸真消化率都是通过测定氨基酸的表观消化率与内源性氨基酸的排泄量后计算得出。因此, 选择准确测定内源性氨基酸排泄量的方法对氨基酸真消化率的测定非常关键。在鸡饲料氨基酸生物学效价的测定中, Sibbald^[4]将用于鸡饲料代谢能值测定的“排空强饲法”应用于氨基酸真消

化率的测定^[1], 其内源性氨基酸排泄量的测定是采用试验鸡在排空 48 h 基础上, 通过收集与表观氨基酸消化率测定相同时间内的绝食鸡的氨基酸排泄量估测。由于内源性氨基酸的排泄量主要来源于消化液及脱落的肠壁细胞, 绝食状态下内源性粪尿中氨基酸排泄量可能与采食待测饲料条件下内源性损失不同, 因此, 许多学者建议使用无氮饲料 (N-free diet, NFD) 测定内源性氨基酸排泄

收稿日期: 2012-06-01

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30901037); 北京市科技新星计划项目 (2011098); 科技部创新方法工作专项 (2009IM033100)

作者简介: 任立芹 (1983—), 女, 山东滨州人, 博士研究生, 从事动物营养与饲料评定方面的研究。E-mail: rliq0226@sina.com

* 通讯作者: 赵峰, 副研究员, 硕士生导师, E-mail: zsummit@iascaas.net.cn

量^[5-6]。在绝食法与无氮饲料法测定内源性氨基酸排泄量的差异上, Song 等^[2]、黎观红等^[7]、翟少伟等^[8]和 Muztar 等^[9]研究发现, 无氮饲料条件下鸡内源性氨基酸排泄量显著高于禁食鸡。Sibbalid^[1]和 Likuski 等^[10]却发现, 禁食条件下鸡内源性氨基酸排泄量与无氮饲料条件下无显著差异。由此可见, 不同研究者在这 2 种方法的比较上得出了不同的结论。那么, 在这 2 种方法中哪一种方法测定的内源性氨基酸排泄量更稳定? 2 种方法测值的绝对差值有多少? 其引起饲料氨基酸真消化率的变化程度如何? 这些问题的探讨对饲料氨基酸真消化率测定中内源性氨基酸排泄量的准确测定非常重要。为此, 本研究以黄羽肉鸡为试验对象, 通过分析绝食和饲喂无氮饲料条件下内源性氨基酸排泄量及其变异的情况, 为鸡饲料可利用氨基酸评定中内源性氨基酸测定方法的选择提供参考。

1 材料与方 法

1.1 试验动物及管理

采用单因素完全随机设计, 选择健康、体重

(平均 2.8 kg) 基本一致的 18 周龄黄羽肉公鸡(广西土鸡 2 号) 72 只, 随机分成 3 组, 每组 6 个重复, 每个重复 4 只鸡, 分 4 个批次重复测定绝食、强饲 25 g 无氮饲料、强饲 40 g 无氮饲料条件下的内源性氨基酸排泄量。每批次代谢试验完成后, 试验鸡进入 14 d 的恢复期。代谢试验在广东温氏食品有限公司肉鸡试验场进行, 试验鸡单笼饲养于代谢笼中, 饲养管理按动物营养学国家重点实验室常规程序进行。代谢室的温度维持在 25 ℃, 每日光照 12 h。

1.2 试验饲料

试验鸡恢复期试验饲料为玉米-豆粕型商品饲料(代谢能 12.13 MJ/kg, 粗蛋白质 17.05%, 温氏集团食品有限公司生产), 无氮饲料由玉米淀粉(粗蛋白质 0.30%) 与 1% 预混料混合而成。玉米淀粉来源于玉米的加工产物, 由秦皇岛骊骅淀粉股份有限公司生产, 预混料组成同恢复期试验饲料中预混料。

1.3 代谢试验法测定内源性氨基酸排泄量

鸡内源性氨基酸排泄量测定过程参照 Sibbalid^[1,4]代谢试验法进行, 具体过程如表 1 所示。

表 1 鸡内源性氨基酸排泄量的测定程序

Table 1 Procedure of determining endogenous amino acid excretion in chickens

组别 Groups	测定程序 Determining procedure				
	适应期 Adaptation period (72 h)	预试期 Pre-feeding period (24 h)	禁饲期 Fasting period (48 h)	强饲量 Force-feeding intake/g	排泄物收集期 Excreta collection period (48 h)
绝食组 Fasting group	玉米-豆粕型饲料	禁饲	禁饲	0	全收粪
25 g 无氮饲料组 25 g NFD group	玉米-豆粕型饲料	无氮饲料	禁饲	25	全收粪
40 g 无氮饲料组 40 g NFD group	玉米-豆粕型饲料	无氮饲料	禁饲	40	全收粪

排泄物的收集技术参照 GB/T 26437—2010^[11]的方法进行, 每次待集粪袋中的排泄物超过粪袋容积的 1/4 时, 将排泄物无损失地转入相应编号的培养皿中, 待每只试验鸡完成 48 h 的收集期后, 将全部粪样转入 65 ℃烘箱中鼓风干燥。烘干样在天平室回潮 24 h 后称重, 粉碎过 40 目筛制成风干样品。饲料和粪样的氨基酸含量用日立 L-8500A 氨基酸分析仪测定, 同时测定样品的干物质含量。

1.4 数据处理与统计分析

绝食法与无氮饲料法测定黄羽肉鸡内源性氨基酸排泄量的变异系数按下列公式计算:

$$\text{总变异系数}(CV_{\text{total}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^{N_i} \frac{1}{N} (Y_{ij} - \bar{Y})^2}{\bar{Y}^2}};$$

$$\text{批内变异系数}(CV_{\text{within}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^{N_i} \frac{1}{N-G} (Y_{ij} - \bar{Y}_i)^2}{\bar{Y}^2}};$$

$$\text{批间变异系数}(CV_{\text{between}}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^G N_i (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2}{\bar{Y}^2}}$$

式中： Y_{ij} 为第*i*个批次的第*j*个观测值； \bar{Y}_i 为第*i*个批次的均值； \bar{Y} 为样本总均值；*G*为组数；*N*为样本总数； N_i 为第*i*个组样本量。

数据统计分析按照单因素完全随机设计，利用 SAS 9.0 中的 PROC ANOVA 模块对绝食条件下黄羽肉鸡的内源性氨基酸排泄量、无氮饲料条件下内源性氨基酸排泄量数据进行方差分析，其统计模型为：

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

式中： μ 为总平均值； α_i 为组间效应； ε_{ij} 为随机误差。平均值间差异的显著性采用 Duncan 氏法进行多重比较。

2 结果

2.1 绝食法与无氮饲料法测定黄羽肉鸡内源性氨基酸排泄量的比较

从绝食组、25 g 无氮饲料组、40 g 无氮饲料组内源性氨基酸排泄量的变异看(表 2)，3 个组 17 种内源性氨基酸排泄量平均变异系数分别为 13.5%、21.4%、22.2%，绝食组内源性氨基酸排泄量的平均变异系数低于无氮饲料组。在总氨基酸(17 种)的排泄量上，绝食组、25 g 无氮饲料组、40 g 无氮饲料组内源性氨基酸排泄量依次显著增加($P < 0.05$)，其中 25 g 无氮饲料组的总氨基酸排泄量为绝食组的 1.32 倍，40 g 无氮饲料组的总氨基酸排泄量为绝食组的 1.58 倍。17 种氨基酸中有 8 种氨基酸(苏氨酸、组氨酸、精氨酸、缬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、天冬氨酸)的内源性排泄量在强饲 40 g 无氮饲料、强饲 25 g 无氮饲料和绝食条件下依次显著降低($P < 0.05$)，6 种氨基酸(蛋氨酸、赖氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸)的内源性排泄量在强饲 25 和 40 g 无氮饲料条件下差异不显著($P > 0.05$)，但都显著高于绝食条件下的相应值($P < 0.05$)；3 种氨基酸(胱氨酸、甘氨酸、脯氨酸)的内源性排泄量在绝食条件下和强饲 25 g 无氮饲料条件下差异不显著($P > 0.05$)，但都显著低于强饲 40 g 无氮饲料条件下的相应值($P < 0.05$)。

2.2 绝食条件下黄羽肉鸡内源性氨基酸排泄量的变异

绝食条件下，从 4 个批次黄羽肉鸡内源性氨

基酸的含量及排泄量的变异看(表 3)，内源性 17 种氨基酸含量的总变异系数在 10.90% ~ 21.74%，其中批内变异系数在 9.53% ~ 18.47%，批间变异系数在 5.62% ~ 18.57%，这表明批内变异与批间变异比较接近。4 个测定批次间，内源性 14 种氨基酸(赖氨酸、苏氨酸、组氨酸、精氨酸、苯丙氨酸、胱氨酸、丝氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸、脯氨酸、总氨基酸)的含量存在显著性差异($P < 0.05$)。从绝食 48 h 内源性氨基酸的排泄量看，黄羽肉鸡 17 种内源性氨基酸排泄量的总变异系数在 9.74% ~ 19.99%，其中批内变异系数在 9.97% ~ 16.88%，批间变异系数在 2.58% ~ 16.23%，表明批内变异系数大于批间变异系数。4 个测试批次间，内源性苏氨酸、胱氨酸、丝氨酸、脯氨酸的排泄量差异显著($P < 0.05$)，其他 13 种氨基酸的排泄量批间差异不显著($P > 0.05$)。由于 4 个批次间内源性氨基酸 48 h 的排泄量在 6.09 ~ 6.70 g/只 变异，差异不显著($P > 0.05$)^[12]，本试验 4 个测定批次的内源性大多数氨基酸的含量存在显著性差异($P < 0.05$)，而内源性氨基酸的排泄量上仅出现 4 种氨基酸的内源排泄量呈批次间的显著性差异($P < 0.05$)，这表明，批次内重复间内源粪重与其氨基酸含量的乘积所累积的变异所占权重大大超过了批次间内源性氨基酸排泄量的变异。从 17 种内源性氨基酸 48 h 的平均排泄量看，蛋氨酸和组氨酸的平均排泄量在 5 ~ 10 mg/只，异亮氨酸、精氨酸、苯丙氨酸的平均排泄量在 10 ~ 20 mg/只，赖氨酸、苏氨酸、亮氨酸、缬氨酸、丝氨酸、丙氨酸、酪氨酸、脯氨酸的平均排泄量在 20 ~ 30 mg/只，胱氨酸、天冬氨酸的平均排泄量在 30 ~ 40 mg/只，谷氨酸、甘氨酸的平均排泄量在 40 ~ 60 mg/只。

2.3 无氮饲料条件下黄羽肉鸡内源性氨基酸排泄量的变异

强饲 25 g 无氮饲料条件下，从 4 个批次黄羽肉鸡内源性氨基酸的含量及排泄量的变异看(表 4)，内源性 17 种氨基酸含量的总变异系数在 10.66% ~ 27.13%，其中批内变异系数在 7.93% ~ 25.94%，批间变异系数在 2.78% ~ 13.25%，这表明粪样中氨基酸含量的批内变异远大于批间变异。4 个测定批次间，内源性胱氨酸、甘氨酸、脯氨酸含量存在显著性差异($P < 0.05$)。黄羽肉鸡内源性氨基酸 48 h 排泄量的总变异系数

在 17.77% ~ 31.33%, 其中批内变异系数在 14.99% ~ 28.80%, 批间变异系数在 3.89% ~ 17.04%, 这表明批内变异大于批间变异。4 个测定批次间, 内源性精氨酸、胱氨酸、甘氨酸、脯氨酸的排泄量存在显著性差异 ($P < 0.05$)。由于 4 个批次间内源性氨基酸 48 h 的排泄量在 5.74 ~ 6.07 g/只变异, 差异不显著 ($P > 0.05$)^[12], 本试验 4 个测定批次的内源性胱氨酸、甘氨酸、脯氨酸的含量存在显著性差异 ($P < 0.05$), 相应的精氨酸、胱氨酸、甘氨酸、脯氨酸 4 种氨基酸的内源性排泄量

呈批次间的显著性差异 ($P < 0.05$), 这表明, 批次间内源性氨基酸含量的变异对内源性氨基酸排泄量变异影响较大。从 17 种内源性氨基酸 48 h 的平均排泄量看, 蛋氨酸、组氨酸的平均排泄量在 8 ~ 10 mg/只, 异亮氨酸、亮氨酸、赖氨酸、精氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、丝氨酸、脯氨酸的平均排泄量在 20 ~ 30 mg/只, 苏氨酸、亮氨酸、缬氨酸、胱氨酸的平均排泄量在 30 ~ 40 mg/只, 谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸的平均排泄量在 50 ~ 75 mg/只。

表 2 绝食法与无氮饲料法测定试验鸡内源性氨基酸排泄量的比较

Table 2 Comparison of endogenous amino acid excretion of chickens using fasting method and NFD method

氨基酸 Amino acids	绝食组 Fasting group		25 g 无氮饲料组 25 g NFD group		40 g 无氮饲料组 40 g NFD group		统计结果 Statistics	
	平均值 Mean/ (mg/只)	变异系数 CV/%	平均值 Mean/ (mg/只)	变异系数 CV/%	平均值 Mean/ (mg/只)	变异系数 CV/%	SEM	P 值 P-value
蛋氨酸 Met	6.4 ^b	17.69	9.9 ^a	32.00	10.9 ^a	34.11	0.59	<0.001
赖氨酸 Lys	24.9 ^b	11.26	29.8 ^a	21.85	31.4 ^a	24.31	1.23	0.001
苏氨酸 Thr	24.1 ^c	11.60	31.7 ^b	20.07	39.4 ^a	19.87	1.23	<0.001
亮氨酸 Leu	31.0 ^b	14.69	38.3 ^a	20.16	37.9 ^a	26.23	1.53	<0.001
异亮氨酸 Ile	14.5 ^b	13.86	24.5 ^a	20.58	25.5 ^a	25.28	0.99	<0.001
组氨酸 His	7.7 ^c	14.26	9.8 ^b	22.48	12.0 ^a	17.34	0.38	<0.001
精氨酸 Arg	19.1 ^c	12.42	22.9 ^b	19.10	27.1 ^a	23.96	0.97	<0.001
缬氨酸 Val	25.5 ^c	10.19	34.7 ^b	20.24	41.1 ^a	19.13	1.28	<0.001
苯丙氨酸 Phe	16.3 ^b	9.96	27.8 ^a	20.16	28.4 ^a	20.79	0.98	<0.001
酪氨酸 Tyr	20.8 ^b	13.64	27.2 ^a	21.95	28.5 ^a	21.12	1.05	<0.001
胱氨酸 Cys	30.9 ^b	19.05	31.3 ^b	21.63	44.5 ^a	23.19	1.61	<0.001
丝氨酸 Ser	23.6 ^c	13.25	29.9 ^b	18.15	37.2 ^a	21.57	1.20	<0.001
谷氨酸 Glu	56.6 ^c	12.35	74.7 ^b	23.53	88.4 ^a	22.88	3.26	<0.001
甘氨酸 Gly	42.5 ^b	12.12	44.1 ^b	19.34	59.4 ^a	16.58	1.65	<0.001
丙氨酸 Ala	26.5 ^c	13.53	41.7 ^b	22.52	55.0 ^a	22.25	1.87	<0.001
天冬氨酸 Asp	36.4 ^c	11.67	50.1 ^b	23.34	62.5 ^a	20.90	2.13	<0.001
脯氨酸 Pro	25.2 ^b	20.39	26.8 ^b	18.63	37.8 ^a	20.22	1.23	<0.001
总氨基酸 TAA	421.9 ^c	11.25	555.3 ^b	19.71	667.0 ^a	19.49	20.80	<0.001

表内平均值数据为试验鸡 48 h 内源性氨基酸排泄量。同行平均值数据肩标不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

Mean values in the table mean the endogenous amino acid excretion within 48 h. Mean values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$).

强饲 40 g 无氮饲料条件下, 从 4 个批次黄羽肉鸡内源性氨基酸的含量及排泄量的变异看(表 5), 内源性 17 种氨基酸含量的总变异系数在 15.40% ~ 34.21%, 其中批内变异系数在 16.75% ~ 34.73%, 批间变异系数在 1.60% ~ 14.55%, 这表明批内变异远大于批间变异。4 个测定批次间, 内源性 17 种氨基酸及总氨基酸含量

均不存在显著性差异 ($P > 0.05$)。黄羽肉鸡内源性氨基酸 48 h 排泄量的总变异系数在 16.23% ~ 33.39%, 其中批内变异系数在 17.15% ~ 33.82%, 批间变异系数在 4.19% ~ 16.29%, 这表明黄羽肉鸡内源性氨基酸排泄量的批内变异大于批间变异。4 个测定批次间, 内源性异亮氨酸、苯丙氨酸的排泄量存在显著性差异 ($P < 0.05$)。从

17种内源性氨基酸48 h的平均排泄量看,蛋氨酸、组氨酸的平均排泄量在10~20 mg/只,异亮氨酸、精氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸的平均排泄量在20~30 mg/只,赖氨酸、苏氨酸、亮氨酸、丝氨酸、脯氨酸的平均排泄量在30~40 mg/只,缬氨酸、胱氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、天冬氨酸的平均排泄量在40~90 mg/只。

3 讨论

3.1 绝食法和无氮饲料法测定内源性氨基酸排泄量的差异

本研究中,绝食法和无氮饲料法测得17种内源性氨基酸中谷氨酸、甘氨酸、天冬氨酸的排泄量均较高。这是由于内源性氨基酸主要来源于黏液、胰液、肠液、胆汁,这些成分中黏蛋白含天冬氨酸、谷氨酸、苏氨酸、丝氨酸、脯氨酸、甘氨酸较高,胰液和小肠液中天冬氨酸、谷氨酸、丝氨酸的含量较高,而胆汁中甘氨酸是主要氨基酸^[13]。在绝食条件下,除胱氨酸、甘氨酸、脯氨酸的内源性损失与强饲25 g无氮饲料条件下差异不显著外,其他14种氨基酸内源性损失均显著低于25或40 g无氮饲料组的相应值。同时40 g无氮饲料组苏氨酸、组氨酸、精氨酸、缬氨酸、胱氨酸的内源性损失高于25 g无氮饲料组,表明干物质采食量影响内源性氨基酸排泄量。本研究测得黄羽肉鸡在25 g无氮饲料组内源性氨基酸48 h排泄量为555.3 mg/只,比绝食组高133.4 mg/只,40 g无氮饲料组48 h内源性氨基酸排泄量比绝食组高245.1 mg/只。国内外许多研究也表明,绝食条件下鸡内源性氨基酸排泄量显著低于无氮饲料条件下的相应值(表6),但不同研究者所得结果存在一定差异,表明鸡内源性氨基酸的排泄量本身存在较大的变异。Sibbald^[2]指出鸡内源性氨基酸损失随试验鸡体重的增加而增加。Adedokun等^[15]发现5日龄艾维茵肉鸡内源性氨基酸排泄量约为15或21日龄时的2倍。此外,试验鸡的品种、环境温度、排泄物收集时间、无氮饲料组成及强饲量等因素也会导致内源性氨基酸测值的差异。

在绝食法与无氮饲料法测定内源性氨基酸排泄量的差异来源上,无氮饲料可刺激肠道细胞的分泌以及磨损消化道壁,从而导致内源性氨基酸的排泄量不仅比绝食法测值高,而且还随强饲量的增加而增加,这是目前通常选用无氮饲料估测待测饲料条件下其内源性氨基酸排泄量的理论依

据。然而,在本试验中,多批次测定绝食、强饲25 g无氮饲料、强饲40 g无氮饲料条件下17种内源性氨基酸排泄量分别为421.9、555.3和667.0 mg/只,按照强饲量为40~50 g(饲料蛋白质水平约为20%),氨基酸的总摄入量约为8 000 mg推算,内源性氨基酸排泄量对氨基酸消化率的贡献分别为5.3%、6.9%、8.3%。绝食法与无氮饲料法引起的饲料氨基酸消化率的差异可达3%。40 g无氮饲料组与25 g无氮饲料组引起的饲料氨基酸消化率的差异达1.4%。

3.2 内源性氨基酸测定的变异对饲料氨基酸真消化率测定的影响

在内源性氨基酸测定的变异上,目前尚鲜见关于其批次间变异的相关报道。而在生物学法测定鸡饲料代谢能值的变异上,Bourdillon等^[16]报道,欧洲7个实验室采用自由采食-全收集法测定4个肉仔鸡饲料的氮校正表观代谢能(AME_n)的再现性的变异系数为2.92%。这一变异系数高于干物质、粗蛋白质、粗脂肪的重现性变异系数,但低于粗灰分和粗纤维的重现性变异系数。在本试验测定的同时,已得出黄羽肉鸡玉米淀粉饲料强饲量为25 g时,4个测定批次的真代谢能(TME)变异系数为1.60%。当玉米淀粉饲料强饲量为40 g时,4个测定批次的TME的变异系数为4.65%^[12]。本试验中,绝食组、25 g无氮饲料组、40 g无氮饲料组内源性氨基酸排泄量的总变异系数分别为9.74%~19.99%、17.77%~31.33%、16.23%~33.39%。其总变异系数、批内变异系数、批间变异系数均大大高于代谢能值的变异系数,这可能与内源性氨基酸排泄量(每48 h 0.4~0.6 g)比较低,而且鸡个体间在内源性氨基酸排泄量上差异比较大有关。

在饲料强饲量为40~50 g(饲料蛋白质水平约为20%),氨基酸的总摄入量约为8 000 mg的前提下,绝食组4个测定批次间内源性氨基酸排泄量最大相差63.3 mg,25 g无氮饲料组4个测定批次间的内源氨基酸排泄量最大相差119.0 mg,40 g无氮饲料组4个测定批次间的氨基酸排泄量最大相差110.4 mg,则绝食组、25 g无氮饲料组、40 g无氮饲料组的重复测定批次间的差异引起氨基酸消化率的差异分别为0.8%、1.5%和1.4%,表明采用绝食法所测内源性氨基酸损失对饲料氨基酸消化率测定结果的干扰相对较小。

表3 绝食条件下试验鸡内源性氨基酸含量和排泄量

Table 3 The content and excretion of endogenous amino acids of fasting chickens

氨基酸 Amino acids	批次 1 Batch 1				批次 2 Batch 2				批次 3 Batch 3				批次 4 Batch 4				统计结果 Statistics								
	内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		P 值 P-value
	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	SEM	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	SEM	
蛋氨酸 Met	0.1 ±0.0	6.1 ±1.0	0.1 ±0.0	7.1 ±1.5	0.1 ±0.0	6.6 ±1.1	0.1 ±0.0	6.6 ±1.1	0.1 ±0.0	6.6 ±1.1	0.1 ±0.0	5.8 ±0.6	20.36	18.47	11.41	0.01	0.052	17.13	16.88	7.50	0.44	0.225			
赖氨酸 Lys	0.4 ±0.1 ^{ab}	23.8 ±3.2	0.5 ±0.1 ^a	27.2 ±3.4	0.4 ±0.1 ^{ab}	25.1 ±2.0	0.4 ±0.1 ^{ab}	23.7 ±0.9	0.4 ±0.0 ^b	23.7 ±0.9	0.4 ±0.0 ^b	23.7 ±0.9	14.31	12.50	8.64	0.02	0.026	11.05	10.42	5.62	1.06	0.105			
苏氨酸 Thr	0.4 ±0.0 ^a	26.5 ±3.0 ^a	0.4 ±0.1 ^{ab}	24.5 ±2.6 ^{ab}	0.4 ±0.1 ^{bc}	22.3 ±1.8 ^b	0.3 ±0.0 ^c	22.9 ±2.1 ^b	0.3 ±0.0 ^c	22.9 ±2.1 ^b	0.3 ±0.0 ^c	22.9 ±2.1 ^b	14.57	12.05	9.55	0.02	0.009	11.35	9.97	6.77	0.98	0.029			
亮氨酸 Leu	0.4 ±0.0	22.0 ±3.4	0.4 ±0.1	22.1 ±3.9	0.3 ±0.1	20.5 ±2.6	0.3 ±0.0	19.2 ±2.0	0.3 ±0.0	19.2 ±2.0	0.3 ±0.0	19.2 ±2.0	16.98	15.44	9.46	0.02	0.055	14.35	14.43	5.71	1.23	0.318			
异亮氨酸 Ile	0.2 ±0.0	14.8 ±2.2	0.3 ±0.1	15.2 ±2.6	0.2 ±0.0	14.2 ±1.7	0.2 ±0.0	13.8 ±1.6	0.2 ±0.0	13.8 ±1.6	0.2 ±0.0	13.8 ±1.6	15.47	14.99	7.21	0.01	0.170	13.58	14.28	3.79	0.84	0.646			
组氨酸 His	0.1 ±0.0 ^a	8.1 ±1.0	0.1 ±0.0 ^{ab}	7.4 ±1.3	0.1 ±0.0 ^a	8.2 ±0.9	0.1 ±0.0 ^b	7.0 ±0.9	0.1 ±0.0 ^b	7.0 ±0.9	0.1 ±0.0 ^b	7.0 ±0.9	16.66	14.65	9.93	0.01	0.030	13.94	13.51	6.48	0.42	0.172			
精氨酸 Arg	0.3 ±0.0 ^a	20.8 ±3.0	0.3 ±0.1 ^{ab}	19.2 ±2.9	0.3 ±0.0 ^{ab}	18.1 ±1.4	0.3 ±0.0 ^b	18.3 ±1.1	0.3 ±0.0 ^b	18.3 ±1.1	0.3 ±0.0 ^b	18.3 ±1.1	14.76	13.16	8.57	0.02	0.038	12.17	11.78	5.71	0.92	0.166			
缬氨酸 Val	0.4 ±0.03	26.5 ±3.0	0.4 ±0.1	25.6 ±2.9	0.4 ±0.0	24.8 ±2.2	0.4 ±0.0	25.1 ±2.7	0.4 ±0.0	25.1 ±2.7	0.4 ±0.0	25.1 ±2.7	11.07	10.44	5.62	0.02	0.107	9.97	10.54	2.58	1.10	0.701			
苯丙氨酸 Phe	0.3 ±0.0 ^a	17.0 ±2.1	0.3 ±0.0 ^a	16.6 ±1.5	0.3 ±0.0 ^{ab}	16.0 ±1.7	0.2 ±0.0 ^b	15.7 ±1.2	0.2 ±0.0 ^b	15.7 ±1.2	0.2 ±0.0 ^b	15.7 ±1.2	10.90	9.53	6.57	0.01	0.026	9.74	10.11	3.09	0.67	0.537			
酪氨酸 Tyr	0.4 ±0.0	22.6 ±2.1	0.4 ±0.1	20.8 ±3.3	0.3 ±0.1	19.3 ±2.1	0.3 ±0.1	20.5 ±3.2	0.3 ±0.1	20.5 ±3.2	0.3 ±0.1	20.5 ±3.2	15.50	14.57	7.95	0.02	0.100	13.33	13.18	5.74	1.12	0.241			
胱氨酸 Cys	0.6 ±0.1 ^a	37.9 ±4.80 ^a	0.5 ±0.1 ^b	31.3 ±5.2 ^b	0.4 ±0.0 ^c	26.3 ±2.4 ^b	0.4 ±0.0 ^c	27.9 ±2.9 ^b	0.4 ±0.0 ^c	27.9 ±2.9 ^b	0.4 ±0.0 ^c	27.9 ±2.9 ^b	21.27	14.00	17.01	0.03	<0.001	18.64	12.99	14.38	1.64	<0.001			
丝氨酸 Ser	0.4 ±0.0 ^a	26.9 ±3.74 ^a	0.4 ±0.1 ^a	23.5 ±1.9 ^b	0.4 ±0.0 ^{ab}	21.7 ±1.7 ^b	0.3 ±0.0 ^b	22.3 ±2.3 ^b	0.3 ±0.0 ^b	22.3 ±2.3 ^b	0.3 ±0.0 ^b	22.3 ±2.3 ^b	14.49	10.66	10.74	0.02	0.001	12.97	10.73	8.50	1.03	0.009			
谷氨酸 Glu	1.0 ±0.1 ^a	60.4 ±8.27	1.0 ±0.2 ^a	58.8 ±8.3	0.9 ±0.1 ^{ab}	53.2 ±5.4	0.8 ±0.1 ^b	54.0 ±3.7	0.8 ±0.1 ^b	54.0 ±3.7	0.8 ±0.1 ^b	54.0 ±3.7	14.50	12.84	8.55	0.05	0.033	12.09	11.83	5.44	2.73	0.201			

续表3

氨基酸 Amino acids	批次1 Batch 1		批次2 Batch 2		批次3 Batch 3		批次4 Batch 4		统计结果 Statistics									
	内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量					
	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	SEM	P值 P-value	SEM	P值 P-value			
甘氨酸 Gly	0.8 ±0.1 ^a	46.8 ±6.86	0.7 ±0.1 ^b	41.1 ±3.9	0.6 ±0.1 ^b	39.4 ±4.0	0.6 ±0.0 ^b	42.7 ±2.8	12.29	10.32	7.89	0.03	0.012	11.87	10.93	6.43	1.90	0.069
丙氨酸 Ala	0.5 ±0.1 ^a	28.4 ±3.68	0.5 ±0.1 ^a	27.5 ±4.6	0.4 ±0.1 ^{ab}	25.0 ±2.7	0.4 ±0.0 ^b	25.0 ±2.5	15.51	14.03	8.75	0.02	0.049	13.23	13.07	5.72	1.41	0.237
天冬氨酸 Asp	0.7 ±0.1 ^a	39.5 ±4.69	0.6 ±0.1 ^a	37.1 ±5.1	0.6 ±0.1 ^{ab}	34.9 ±3.0	0.5 ±0.1 ^b	34.4 ±2.6	14.66	12.78	8.88	0.03	0.025	11.43	10.95	5.54	1.63	0.139
脯氨酸 Pro	0.5 ±0.1 ^a	32.1 ±3.87 ^a	0.4 ±0.1 ^b	24.1 ±2.4 ^b	0.4 ±0.1 ^b	21.5 ±2.9 ^b	0.3 ±0.0 ^b	23.1 ±3.5 ^b	21.74	12.38	18.57	0.02	<0.001	19.99	12.78	16.23	1.31	<0.001
总氨基酸 TAA	7.6 ±0.7 ^a	460.3 ±54.6	7.1 ±1.0 ^{ab}	429.0 ±49.6	6.4 ±0.7 ^{bc}	397.0 ±31.5	6.0 ±0.5 ^c	401.4 ±29.3	13.47	11.06	8.92	0.03	0.008	11.01	10.12	6.00	17.43	0.065

CEAA表示每克内源性氨基酸含量;EAAE表示48 h内源性氨基酸排泄量。表中数据为平均值±标准差。CV_{total}为总变异系数,CV_{within}为批内变异系数,CV_{between}为批间变异系数。下表同。

CEAA means endogenous amino acid content per gram; EAAE means endogenous amino acid excretion within 48 h. Values in the table is mean±SD. CV_{total} means the total coefficient of variation; CV_{within} means the coefficient of variation within batches; CV_{between} means the coefficient of variation between groups. The same as below.

表4 强饲25 g无氮饲料条件下试验鸡内源性氨基酸的含量和排泄量

氨基酸 Amino acids	批次1 Batch 1		批次2 Batch 2		批次3 Batch 3		批次4 Batch 4		统计结果 Statistics									
	内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸含量					
	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	SEM	P值 P-value	SEM	P值 P-value			
蛋氨酸 Met	0.2 ±0.0	12.6 ±3.1	0.2 ±0.1	10.2 ±3.1	0.1 ±0.0	8.4 ±2.1	0.2 ±0.1	8.6 ±3.1	27.13	25.94	13.25	0.02	0.134	31.33	28.80	17.04	1.17	0.066
赖氨酸 Lys	0.5 ±0.1	33.7 ±7.6	0.5 ±0.1	31.5 ±6.8	0.5 ±0.1	26.4 ±5.3	0.5 ±0.1	27.8 ±4.7	16.38	16.25	6.94	0.03	0.256	21.39	20.85	9.77	2.54	0.188

续表 4

氨基酸 Amino acids	批次 1 Batch 1				批次 2 Batch 2				批次 3 Batch 3				批次 4 Batch 4				统计结果 Statistics								
	内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量				内源性氨基酸排泄量				
	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	SEM	P 值 P-value	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	SEM
苏氨酸 Thr	0.6 ±0.1	35.7 ±9.5	0.5 ±0.1	32.6 ±5.3	0.5 ±0.0	28.6 ±4.1	0.5 ±0.1	30.0 ±4.2	0.5 ±0.1	28.6 ±4.1	0.5 ±0.1	30.0 ±4.2	0.5 ±0.1	30.0 ±4.2	12.59	12.64	5.05	0.03	0.310	0.234	19.64	19.39	8.52	2.51	0.234
亮氨酸 Leu	0.6 ±0.1	37.6 ±10.6	0.7 ±0.1	40.3 ±9.3	0.6 ±0.1	36.3 ±5.4	0.7 ±0.1	39.1 ±6.1	0.6 ±0.1	36.3 ±5.4	0.7 ±0.1	39.1 ±6.1	0.7 ±0.1	39.1 ±6.1	15.91	16.68	4.59	0.04	0.620	0.847	19.73	21.19	3.89	3.32	0.847
异亮氨酸 Ile	0.4 ±0.1	25.2 ±7.6	0.4 ±0.1	25.4 ±5.5	0.4 ±0.0	23.0 ±3.4	0.4 ±0.1	24.4 ±3.7	0.4 ±0.0	23.0 ±3.4	0.4 ±0.1	24.4 ±3.7	0.4 ±0.1	24.4 ±3.7	14.60	15.71	2.78	0.03	0.860	0.852	20.15	21.65	3.92	2.16	0.852
组氨酸 His	0.2 ±0.0	10.9 ±2.8	0.2 ±0.0	10.4 ±2.4	0.2 ±0.0	8.8 ±1.5	0.2 ±0.0	9.0 ±1.6	0.2 ±0.0	8.8 ±1.5	0.2 ±0.0	9.0 ±1.6	0.2 ±0.0	9.0 ±1.6	15.84	15.95	6.23	0.01	0.328	0.271	22.01	21.91	9.19	0.87	0.271
精氨酸 Arg	0.4 ±0.1	26.7 ±5.7 ^a	0.4 ±0.0	23.4 ±2.7 ^{ab}	0.4 ±0.0	20.1 ±2.9 ^b	0.4 ±0.1	21.6 ±3.4 ^b	0.4 ±0.0	20.1 ±2.9 ^b	0.4 ±0.1	21.6 ±3.4 ^b	0.4 ±0.1	21.6 ±3.4 ^b	13.69	12.74	7.21	0.02	0.084	0.044	18.70	16.80	10.70	1.57	0.044
缬氨酸 Val	0.6 ±0.1	38.8 ±10.8	0.6 ±0.1	36.2 ±5.6	0.5 ±0.0	31.2 ±4.1	0.5 ±0.1	32.6 ±4.3	0.5 ±0.0	31.2 ±4.1	0.5 ±0.1	32.6 ±4.3	0.5 ±0.1	32.6 ±4.3	12.51	12.46	5.21	0.03	0.273	0.237	19.82	19.58	8.56	2.77	0.237
苯丙氨酸 Phe	0.4 ±0.0	25.2 ±7.7	0.5 ±0.1	29.6 ±6.7	0.5 ±0.0	27.0 ±3.4	0.5 ±0.1	29.4 ±3.7	0.5 ±0.0	27.0 ±3.4	0.5 ±0.1	29.4 ±3.7	0.5 ±0.1	29.4 ±3.7	16.12	14.67	8.97	0.03	0.055	0.508	19.74	20.43	6.46	2.32	0.508
酪氨酸 Tyr	0.4 ±0.0	24.1 ±5.7	0.5 ±0.1	30.3 ±7.1	0.4 ±0.1	25.6 ±5.6	0.5 ±0.1	28.9 ±4.6	0.4 ±0.1	25.6 ±5.6	0.5 ±0.1	28.9 ±4.6	0.5 ±0.1	28.9 ±4.6	19.89	18.41	10.64	0.03	0.075	0.257	21.49	21.32	9.10	2.37	0.257
胱氨酸 Cys	0.6 ±0.1 ^a	38.2 ±10.4 ^a	0.5 ±0.0 ^b	30.3 ±2.2 ^b	0.5 ±0.0 ^b	28.0 ±3.4 ^b	0.5 ±0.1 ^b	28.7 ±2.9 ^b	0.5 ±0.0 ^b	28.0 ±3.4 ^b	0.5 ±0.1 ^b	28.7 ±2.9 ^b	0.5 ±0.1 ^b	28.7 ±2.9 ^b	13.71	11.19	9.15	0.02	0.007	0.023	21.18	18.37	12.93	2.35	0.023
丝氨酸 Ser	0.5 ±0.1	34.0 ±8.6	0.5 ±0.0	30.4 ±2.8	0.5 ±0.0	27.1 ±2.6	0.5 ±0.1	28.0 ±3.3	0.5 ±0.0	27.1 ±2.6	0.5 ±0.1	28.0 ±3.3	0.5 ±0.1	28.0 ±3.3	11.42	11.01	5.42	0.02	0.156	0.110	17.77	16.79	8.98	2.05	0.110
谷氨酸 Glu	1.4 ±0.1	87.5 ±24.9	1.3 ±0.2	76.1 ±15.9	1.2 ±0.1	67.2 ±10.9	1.1 ±0.2	68.2 ±10.8	1.2 ±0.1	67.2 ±10.9	1.1 ±0.2	68.2 ±10.8	1.1 ±0.2	68.2 ±10.8	14.70	14.01	7.26	0.07	0.126	0.160	23.03	22.24	10.88	6.79	0.160
甘氨酸 Gly	0.8 ±0.1 ^a	51.7 ±12.4 ^a	0.8 ±0.0 ^a	45.1 ±3.3 ^{ab}	0.7 ±0.0 ^b	38.9 ±5.5 ^b	0.7 ±0.1 ^b	40.9 ±4.9 ^b	0.7 ±0.0 ^b	38.9 ±5.5 ^b	0.7 ±0.1 ^b	40.9 ±4.9 ^b	0.7 ±0.1 ^b	40.9 ±4.9 ^b	10.66	7.93	7.82	0.02	0.001	0.033	18.93	16.75	11.16	3.02	0.033
丙氨酸 Ala	0.8 ±0.1	48.3 ±12.7	0.7 ±0.1	43.3 ±8.7	0.7 ±0.1	37.5 ±6.2	0.6 ±0.1	37.8 ±6.0	0.7 ±0.1	37.5 ±6.2	0.6 ±0.1	37.8 ±6.0	0.6 ±0.1	37.8 ±6.0	15.06	14.46	7.25	0.04	0.145	0.143	22.05	21.15	10.64	3.60	0.143

续表 4

氨基酸 Amino acids	批次 1 Batch 1		批次 2 Batch 2		批次 3 Batch 3		批次 4 Batch 4		统计结果 Statistics									
	内源性氨基酸含量 CEAA/ %		内源性氨基酸含量 CEAA/ %		内源性氨基酸含量 CEAA/ %		内源性氨基酸含量 CEAA/ %		内源性氨基酸含量 CEAA		内源性氨基酸含量 EAAE		P 值 P-value					
	内源性氨基酸 含量 CEAA/ %	内源性氨基酸 排泄量 EAAE/ (mg/只)	内源性氨基酸 含量 CEAA/ %	内源性氨基酸 排泄量 EAAE/ (mg/只)	内源性氨基酸 含量 CEAA/ %	内源性氨基酸 排泄量 EAAE/ (mg/只)	内源性氨基酸 含量 CEAA/ %	内源性氨基酸 排泄量 EAAE/ (mg/只)	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	P 值 P-value			
天冬氨酸 Asp	0.9 ±0.1	58.2 ±17.2	0.9 ±0.1	51.4 ±9.7	0.8 ±0.1	43.9 ±6.9	0.8 ±0.1	47.1 ±7.3	15.12	14.74	6.91	0.05	0.188	22.85	22.12	10.70	4.53	0.167
脯氨酸 Pro	0.5 ±0.1 ^a	31.6 ±7.1 ^a	0.5 ±0.0 ^{ab}	27.6 ±1.5 ^{ab}	0.4 ±0.1 ^b	23.2 ±2.8 ^b	0.4 ±0.1 ^b	24.6 ±2.1 ^b	13.48	11.33	8.64	0.02	0.013	18.24	14.99	12.05	1.64	0.008
总氨基酸 TAA	9.7 ±0.7	620.1 ±161.7	9.5 ±1.3	573.7 ±93.7	8.7 ±0.7	501.1 ±71.6	8.7 ±0.7	526.3 ±71.5	11.90	11.91	4.83	0.44	0.297	19.30	19.13	8.21	43.37	0.252

表 5 强饲 40 g 无氮饲料条件下试验鸡内源性氨基酸的含量和排泄量
Table 5 The content and excretion of endogenous amino acids of chickens forced feeding 40 g NFD

氨基酸 Amino acids	批次 1 Batch 1		批次 2 Batch 2		批次 3 Batch 3		批次 4 Batch 4		统计结果 Statistics									
	内源性氨基酸含量 CEAA/ %		内源性氨基酸含量 CEAA/ %		内源性氨基酸含量 CEAA/ %		内源性氨基酸含量 CEAA/ %		内源性氨基酸含量 CEAA		内源性氨基酸含量 EAAE		P 值 P-value					
	内源性氨基酸 含量 CEAA/ %	内源性氨基酸 排泄量 EAAE/ (mg/只)	内源性氨基酸 含量 CEAA/ %	内源性氨基酸 排泄量 EAAE/ (mg/只)	内源性氨基酸 含量 CEAA/ %	内源性氨基酸 排泄量 EAAE/ (mg/只)	内源性氨基酸 含量 CEAA/ %	内源性氨基酸 排泄量 EAAE/ (mg/只)	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	P 值 P-value			
蛋氨酸 Met	0.1 ±0.0	11.1 ±2.6	0.1 ±0.0	8.6 ±3.3	0.2 ±0.0	12.1 ±2.5	0.2 ±0.1	11.9 ±5.5	34.21	34.73	12.86	0.02	0.374	33.39	33.82	12.72	1.51	0.360
赖氨酸 Lys	0.4 ±0.1	31.6 ±4.5	0.4 ±0.1	26.8 ±6.3	0.4 ±0.1	33.7 ±6.2	0.4 ±0.1	33.6 ±11.5	26.94	27.73	9.21	0.04	0.467	23.80	24.19	8.87	3.10	0.382
苏氨酸 Thr	0.5 ±0.1	42.2 ±6.4	0.5 ±0.1	36.6 ±8.9	0.5 ±0.1	38.1 ±4.7	0.5 ±0.1	40.7 ±10.9	20.43	22.11	3.15	0.04	0.921	19.45	20.43	5.52	3.29	0.633
亮氨酸 Leu	0.5 ±0.1	39.3 ±6.9	0.4 ±0.2	29.2 ±8.6	0.5 ±0.1	39.7 ±6.0	0.6 ±0.1	43.3 ±12.8	29.23	29.00	12.40	0.06	0.255	25.68	23.68	13.85	3.66	0.071
异亮氨酸 Ile	0.3 ±0.1	26.7 ±4.3 ^a	0.3 ±0.1	18.7 ±5.9 ^b	0.3 ±0.1	26.7 ±3.7 ^a	0.4 ±0.1	30.1 ±6.4 ^a	27.94	26.13	14.55	0.03	0.091	24.75	20.40	16.29	2.13	0.009

续表 5

氨基酸 Amino acids	批次 1 Batch 1				批次 2 Batch 2				批次 3 Batch 3				批次 4 Batch 4				统计结果 Statistics							
	内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量		内源性氨基酸排泄量		内源性氨基酸含量 CEAA				内源性氨基酸排泄量 EAAE			
	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CEAA/ %	EAAE/ (mg/只)	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	SEM	P 值 P-value	CV _{total}	CV _{within}	CV _{between}	SEM	P 值 P-value
组氨酸 His	0.2 ±0.0	12.7 ±1.3	0.2 ±0.0	11.1 ±2.1	0.2 ±0.0	12.0 ±1.3	0.2 ±0.0	12.0 ±3.2	0.2 ±0.0	12.0 ±3.2	0.2 ±0.0	12.0 ±3.2	0.2 ±0.0	12.0 ±3.2	19.54	21.22	2.56	0.01	0.949	16.98	17.90	4.60	0.87	0.668
精氨酸 Arg	0.3 ±0.1	28.2 ±4.8	0.3 ±0.1	22.6 ±6.5	0.4 ±0.1	27.9 ±3.2	0.4 ±0.1	29.8 ±9.2	0.4 ±0.1	29.8 ±9.2	0.4 ±0.1	29.8 ±9.2	0.4 ±0.1	29.8 ±9.2	27.13	28.22	8.50	0.04	0.549	23.46	23.30	9.90	2.58	0.260
缬氨酸 Val	0.5 ±0.1	42.5 ±5.0 ^a	0.5 ±0.1	34.7 ±7.4 ^b	0.6 ±0.1	42.7 ±4.7 ^{ab}	0.6 ±0.1	44.4 ±10.7 ^a	0.6 ±0.1	44.4 ±10.7 ^a	0.6 ±0.1	44.4 ±10.7 ^a	0.6 ±0.1	44.4 ±10.7 ^a	20.70	20.55	8.77	0.04	0.256	18.73	17.92	9.11	3.01	0.137
苯丙氨酸 Phe	0.4 ±0.1	31.3 ±2.9	0.3 ±0.1	22.7 ±4.9	0.4 ±0.0	28.1 ±2.6	0.4 ±0.1	31.4 ±7.8	0.4 ±0.1	31.4 ±7.8	0.4 ±0.1	31.4 ±7.8	0.4 ±0.1	31.4 ±7.8	23.12	23.30	9.07	0.03	0.331	20.35	17.61	12.48	2.04	0.022
酪氨酸 Tyr	0.4 ±0.1	32.6 ±2.2	0.3 ±0.1	26.2 ±5.4	0.3 ±0.0	26.3 ±4.1	0.4 ±0.1	29.0 ±9.1	0.4 ±0.1	29.0 ±9.1	0.4 ±0.1	29.0 ±9.1	0.4 ±0.1	29.0 ±9.1	19.98	21.30	4.63	0.03	0.770	20.68	20.37	9.05	2.37	0.225
胱氨酸 Cys	0.5 ±0.1	47.3 ±8.9	0.6 ±0.1	48.3 ±15.0	0.5 ±0.1	39.7 ±4.9	0.5 ±0.1	42.5 ±10.0	0.5 ±0.1	42.5 ±10.0	0.5 ±0.1	42.5 ±10.0	0.5 ±0.1	42.5 ±10.0	19.76	20.27	6.93	0.05	0.442	22.70	23.32	7.90	4.23	0.450
丝氨酸 Ser	0.5 ±0.1	39.5 ±7.4	0.5 ±0.1	36.5 ±9.6	0.5 ±0.1	35.3 ±4.7	0.5 ±0.1	37.6 ±10.8	0.5 ±0.1	37.6 ±10.8	0.5 ±0.1	37.6 ±10.8	0.5 ±0.1	37.6 ±10.8	21.31	23.28	1.60	0.04	0.990	21.12	22.67	4.19	3.45	0.844
谷氨酸 Glu	1.1 ±0.3	91.5 ±17.6	1.0 ±0.3	77.6 ±17.6	1.2 ±0.2	89.6 ±12.9	1.2 ±0.3	94.9 ±29.9	1.2 ±0.3	94.9 ±29.9	1.2 ±0.3	94.9 ±29.9	1.2 ±0.3	94.9 ±29.9	23.76	24.96	6.73	0.11	0.634	22.40	23.17	7.35	8.36	0.506
甘氨酸 Gly	0.7 ±0.1	63.6 ±4.4	0.8 ±0.1	59.3 ±14.9	0.7 ±0.1	57.7 ±3.4	0.7 ±0.1	57.0 ±12.7	0.7 ±0.1	57.0 ±12.7	0.7 ±0.1	57.0 ±12.7	0.7 ±0.1	57.0 ±12.7	15.40	16.75	1.83	0.05	0.962	16.23	17.15	4.28	4.16	0.687
丙氨酸 Ala	0.7 ±0.2	57.8 ±9.8	0.6 ±0.1	45.0 ±9.3	0.8 ±0.1	58.3 ±5.7	0.7 ±0.2	58.9 ±17.6	0.7 ±0.2	58.9 ±17.6	0.7 ±0.2	58.9 ±17.6	0.7 ±0.2	58.9 ±17.6	24.07	23.97	10.03	0.07	0.272	21.78	20.88	10.54	4.68	0.141
天冬氨酸 Asp	0.8 ±0.2	66.3 ±10.0	0.7 ±0.2	53.9 ±12.1	0.8 ±0.1	62.7 ±7.7	0.9 ±0.2	67.2 ±18.7	0.9 ±0.2	67.2 ±18.7	0.9 ±0.2	67.2 ±18.7	0.9 ±0.2	67.2 ±18.7	22.25	23.12	7.04	0.07	0.539	20.46	20.44	8.40	5.22	0.286
脯氨酸 Pro	0.5 ±0.2	42.0 ±9.1	0.5 ±0.1	37.5 ±7.8	0.5 ±0.0	34.8 ±2.2	0.5 ±0.1	37.1 ±9.4	0.5 ±0.1	37.1 ±9.4	0.5 ±0.1	37.1 ±9.4	0.5 ±0.1	37.1 ±9.4	22.62	24.45	3.65	0.05	0.910	19.79	20.35	6.84	3.14	0.457
总氨基酸 TAA	8.1 ±2.1	705.9 ±97.1	7.7 ±1.9	595.5 ±133.3	8.5 ±1.0	665.4 ±73.9	8.9 ±1.7	701.2 ±189.0	8.9 ±1.7	701.2 ±189.0	8.9 ±1.7	701.2 ±189.0	8.9 ±1.7	701.2 ±189.0	19.81	20.94	5.20	0.71	0.691	19.08	19.61	6.62	53.39	0.453

表 6 试验鸡内源性氨基酸排泄量的比较

Table 6 Comparison of endogenous amino acid excretion of chickens

品种 Species	体重 Body weight/kg	无氮饲料喂量 NFD intake/g	内源性氨基酸排泄量 Endogenous amino acid excretion	文献 Reference
黄羽肉鸡 Yellow-feathered broilers	2.8	0 25 40	每 48 h 内 421.9/(mg/只) 每 48 h 内 555.3/(mg/只) 每 48 h 内 667.0/(mg/只)	本研究
白色来航鸡 Single Comb White Leghorn		0 50	每 48 h 内 573.6/(mg/只) 每 48 h 内 706.4/(mg/只)	Song 等 ^[2]
去盲肠泰和公鸡 Caecectomized Taihe rooster	1.7 ~ 1.8	0 50	每 36 h 内 68.9/(mg/只) 每 36 h 内 257.0/(mg/只)	黎观红等 ^[7]
海兰褐公鸡 Hy-Line Brown rooster	3.0	0 50	每 48 h 内 538.5/(mg/只) 每 48 h 内 724.7/(mg/只)	翟少伟等 ^[8]
白色来航鸡 Single Comb White Leghorn		0 60	每 48 h 内 297.1/(mg/只) 每 48 h 内 599.2/(mg/只)	Parsons 等 ^[14]

4 结 论

① 绝食组、25 g 无氮饲料组、40 g 无氮饲料组内源性氨基酸排泄量依次增加,3 个组内源性氨基酸排泄量总变异系数均较大,批内变异系数均大于批间变异系数。

② 采用绝食法测定的内源性氨基酸排泄量对饲料氨基酸真消化率测定结果的干扰小于无氮饲料法。

参考文献:

- [1] SIBBALD I R. A bioassay for available amino acids and true metabolizable energy in feeding stuffs [J]. Poultry Science, 1979, 58: 668 - 673.
- [2] SONG G L, LI D F, PIAO X S, et al. Comparisons of amino acid availability by different methods and metabolizable energy determination of a Chinese variety of high oil corn [J]. Poultry Science, 2003, 82: 1017 - 1023.
- [3] KLUTH H, RODEHUTSCORD M. Effect of inclusion of cellulose in the diet on the inevitable endogenous amino acid losses in the ileum of broiler chickens [J]. Poultry Science, 2009, 88: 1199 - 1205.
- [4] SIBBALD I R. A bioassay for true metabolizable energy in feedstuffs [J]. Poultry Science, 1976, 55: 303 - 308.
- [5] MCNAB J M, FISHER C. The choice between apparent and true metabolizable energy systems-recent evidence [C] // Proceedings of the 3rd European symposium on poultry nutrition. Edinburgh: [n. s.], 1981:

45 - 55.

- [6] ENGSTER H M, CAVE N A, LIKUSKI H, et al. A collaborative study to evaluate a precision-fed rooster assay for true amino acid availability in feed ingredients [J]. Poultry Science, 1985, 64: 487 - 498.
- [7] 黎观红, 瞿明仁, 朱年华, 等. 泰和鸡内源氨基酸排泄量的研究 [J]. 动物营养学报, 2002, 4 (1): 42 - 44.
- [8] 翟少伟, 曹平华. 两种常用方法测定鸡内源氨基酸损失量的比较研究 [J]. 西北农业学报, 2003, 12 (2): 10 - 13.
- [9] MUZTAR A J, SLINGER S J. Effect of level of dietary fiber on nitrogen and amino acid excretion in the fasted mature rooster [J]. Nutrition Reports International, 1980, 22: 863 - 868.
- [10] LIKUSKI H J A, DORRELL H G. A bioassay for rapid determination of amino acid availability values [J]. Poultry Science, 1978, 57: 1658 - 1660.
- [11] 全国饲料工业标准化技术委员会. GB/T 26437—2010 畜禽饲料有效性与安全性评价——强饲法测定鸡饲料表观代谢能技术规程 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [12] REN L Q, TAN H Z, ZHAO F, et al. Applicability of corn starch as basal diet in determining the true metabolizable energy of protein feedstuffs in Chinese yellow chickens [J]. Poultry Science, 2012, 91: 1394 - 1399.
- [13] CHUNG T K, BAKER D H. Apparent and true amino acid digestibility of a crystalline amino acid mixture and of casein; comparison of values obtained with ileal-cannulated pigs and cecectomized cockerels [J]. Journal of Animal Science, 1992, 70: 3781 - 3790.

- [14] PARSONS C M, POTTER L M, BROWN R D. Effects of dietary carbohydrate and of intestinal microflora on excretion of endogenous amino acids by poultry[J]. Poultry Science, 1983, 62: 483–489.
- [15] ADEDOKUN S A, LILBURN M S, PARSONS C M, et al. Endogenous amino acid flow in broiler chicks is affected by the age of birds and method of estimation [J]. Poultry Science, 2007, 86: 2590–2597.
- [16] BOURDILLON A, CARRE B, CONAN L, et al. European reference method for the *in vivo* determination of metabolisable energy with adult cockerels; reproducibility, effect of food intake and comparison with individual laboratory methods[J]. British Poultry Science, 1990, 31(3): 557–565.

A Comparative Study of Fasting Method and Nitrogen-Free Diet Method for Determining Endogenous Amino Acid Excretion in Yellow-Feathered Chickens

REN Liqin¹ ZHAO Feng^{1*} TAN Huize² ZHANG Jianzhi¹ MI Baomin¹
ZHAO Jiangtao² ZHANG Hongfu¹

(1. State Key Laboratory of Animal Nutrition, Institute of Animal Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China; 2. Wen's Foodstuffs Group Corporation Co., Ltd., Guangzhou 527439, China)

Abstract: This experiment was conducted to compare the excretion and variation of endogenous amino acids (EAA) in yellow-feathered chickens under fasting and nitrogen-free diet (NFD) to evaluate the methods for the EAA determination in the measurement of the digestible amino acids of ingredients. Using a single factor completely randomized design, a total of 72 adult roosters aged 15 weeks were randomly selected according to their initial body weight and divided into 3 groups with 6 replicates per group and 4 roosters per replicate. The same experiment was repeated 4 batches to determine the EAA excretion under fasting, 25 g NFD, and 40 g NFD, respectively. The results showed as follows: the EAA excretion was increased significantly from the groups of fasting, 25 g NFD to 40 g NFD ($P < 0.05$). In the fasting group, the total coefficient of variation (CV_{total}), intragroup coefficient of variation (CV_{within}), and intergroup coefficient of variation ($CV_{between}$) of the EAA excretion of 17 amino acids among among 4 batches were from 9.74% to 19.99%, from 9.97% to 16.88%, and from 2.58% to 16.23%, respectively. The differences of EAA excretion of threonine, cystine, serine and proline among 4 batches were significant ($P < 0.05$). In the 25 g NFD group, the CV_{total} , CV_{within} , and $CV_{between}$ of the EAA excretion of 17 amino acids among 4 batches were from 17.77% to 31.33%, from 14.99% to 28.80%, and from 3.89% to 17.04%, respectively. The differences of EAA excretion of arginine, glycine and proline among 4 batches were significant ($P < 0.05$). In the 40 g NFD group, the CV_{total} , CV_{within} , and $CV_{between}$ of the EAA excretion of 17 amino acids among 4 batches were from 16.23% to 33.39%, from 17.15% to 33.82%, and from 4.19% to 16.29%, respectively. The differences of EAA excretion of isoleucine and phenylalanine among 4 batches were significant ($P < 0.05$). It can be concluded that the excretion of EAA increases with the increasing amount of force-fed diet. The variation coefficients of the 25 and 40 g force-fed group are similar, and are both larger than those of fasting group. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(12): 2424-2435]

Key words: endogenous amino acids; fasting method; nitrogen-free diet method; yellow-feathered chicken