动物营养学报 2019,31(3):1127-1137
*Chinese Journal of Animal Nutrition*

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2019.03.018

# 不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡生产性能、蛋品质、养分表观利用率及肠道形态的影响

刘　攀　王建萍　白世平　曾秋凤　丁雪梅*　张克英*

(四川农业大学动物营养研究所,动物抗病营养教育部重点实验室,农业部(区域性)重点实验室,成都 611130)

**摘　要:** 本试验旨在研究不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白(ESM)对蛋鸡生产性能、蛋品质、养分表观利用率及肠道形态的影响。试验采用3×2双因子设计,3种饲粮营养水平,分别为正对照[PC,代谢能(ME)水平为11.22 MJ/kg,粗蛋白质(CP)水平为15.5%]、负对照1(NC1,ME水平为11.01 MJ/kg,CP水平为15.0%)和负对照2(NC2,ME水平为10.80 MJ/kg,CP水平为14.5%);2种大豆酶解蛋白添加水平(0和5 g/kg)。选择52周龄罗曼粉壳蛋鸡1 200只,随机分为6个组,每组10个重复,每个重复20只鸡。试验期为12周。结果表明:1)随着饲粮营养水平的降低,蛋鸡的平均产蛋率呈降低趋势($P=0.07$),料蛋比呈升高趋势($P=0.06$);随着大豆酶解蛋白添加水平的增加,料蛋比呈降低趋势($P=0.05$),合格蛋率显著增加($P<0.05$)。2)随着饲粮营养水平的降低,蛋黄颜色呈降低趋势($P=0.09$);随着大豆酶解蛋白添加水平的增加,蛋黄颜色极显著升高($P<0.01$)。饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平的交互作用对蛋白高度和哈氏单位有显著影响($P<0.05$),表现为在NC1饲粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著提高蛋白高度和哈氏单位($P<0.05$)。3)PC组蛋鸡的粗脂肪表观利用率显著高于NC1和NC2组($P<0.05$);随着大豆酶解蛋白添加水平的增加,CP和粗脂肪表观利用率显著升高($P<0.05$)。饲粮营养水平和大豆酶解蛋白的交互作用对蛋鸡的总能表观利用率有显著影响($P<0.05$),表现为在PC饲粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著提高总能表观利用率($P<0.05$)。4)随着饲粮营养水平的降低,空肠隐窝深度呈升高趋势($P=0.06$),空肠绒隐比显著降低($P<0.05$);随着大豆酶解蛋白添加水平的增加,十二指肠绒毛高度呈升高趋势($P=0.09$),十二指肠绒隐比显著升高($P<0.05$)。饲粮营养水平和大豆酶解蛋白的交互作用对蛋鸡的空肠绒毛高度和绒隐比有极显著影响($P<0.01$),表现为在NC2饲粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著提高空肠绒毛高度和绒隐比($P<0.05$)。由此可见,饲粮中添加大豆酶解蛋白可以通过改善肠道形态、提高饲粮CP和粗脂肪利用率来促进蛋鸡生产性能和蛋品质的提高,部分缓解了饲粮营养水平降低带来的不利影响。

**关键词:** 营养水平;大豆酶解蛋白;蛋鸡;蛋品质;生产性能;肠道形态

**中图分类号:**S831　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1006-267X(2019)03-1127-11

随着我国畜禽养殖规模的扩大,饲料原料特别是蛋白质原料的短缺问题日益突出。为了缓解我国蛋白质饲料资源不足的压力和保证畜牧行业的可持续发展,运用现代科学技术提高蛋白质饲

**收稿日期:**2018-08-09

**基金项目:**四川省重点研发计划(2018NZ0009);"十三五"育种攻关计划项目(2016NYZ0052)

**作者简介:**刘　攀(1994—),男,四川攀枝花人,硕士研究生,从事家禽营养研究。E-mail:liupan1210@foxmial.com

* **通信作者:**丁雪梅,副教授,硕士生导师,E-mail:dingxuemei0306@163.com;张克英,教授,博士生导师,E-mail:zkeying@sicau.edu.cn

料的利用效率和开发新型蛋白质饲料资源成为近年来的研究热点之一[1]。

蛋白酶解技术是对蛋白质资源进行高效转化利用的一种新兴工艺技术。大豆蛋白经酶降解后,其中的绝大部分抗营养因子去除,同时释放出部分小肽,小肽在动物肠道中可迅速吸收转化。与完整的蛋白质相比,小肽具有更高的利用效率,可更加高效地满足动物对氨基酸的需求[2]。某些小肽具有特殊的生理作用,能够直接被吸收,参与机体的生理活动和代谢调节[3],从而提高动物的生产性能。陈小莺等[4]研究发现,饲粮中添加大豆肽可提高蛋鸡的产蛋率和饲料转化效率,对血浆蛋白质代谢指标可产生积极影响,改善体内蛋白质代谢。肠道发育尤其是肠黏膜的正常结构和功能是保证营养物质充分消化和吸收的基本条件。陈宝江[5]研究发现,寡肽可促进小肠绒毛发育,提高小肠细胞生成率,提高肠道对营养物质的吸收利用。大豆酶解蛋白(enzymolytic soybean meal,ESM)的主要成分为小肽,有关大豆酶解蛋白的应用研究多见于常规饲粮,在低营养水平饲粮中添加大豆酶解蛋白对产蛋鸡肠道健康、饲料利用效率的影响则鲜见研究。本试验通过在适当降低能量和粗蛋白质(CP)水平的蛋鸡饲粮中添加大豆酶解蛋白,探索是否可改善蛋鸡的饲料利用效率和肠道形态,从而减轻降低营养水平所带来的不利影响,达到维持高生产性能的目的,为蛋鸡生产实践中大豆酶解蛋白的科学合理使用提供相应的数据支持和理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计与试验动物

试验采用 3×2 双因子设计,3 种饲粮营养水平,分别为正对照[PC,代谢能(ME)水平为 11.22 MJ/kg,CP 水平为 15.5%]、负对照 1(NC1,ME 水平为 11.01 MJ/kg,CP 水平为 15.0%)和负对照 2(NC2,ME 水平为 10.08 MJ/kg,CP 水平为 14.5%);2 种大豆酶解蛋白添加水平(0 和 5 g/kg)。选择 52 周龄罗曼粉壳蛋鸡 1 200 只,随机分为 6 个组,每组 10 个重复,每个重复 20 只鸡。试验期为 12 周。试验设计见表 1。

### 1.2 大豆酶解蛋白

本试验所用大豆酶解蛋白由成都美溢德生物技术有限公司提供,其中 CP 含量≥46%,使用三氯乙酸沉淀法测得其酸溶蛋白含量(即肽含量)≥28.5%,生物活性肽(如抗氧化肽和免疫调节肽)占 CP 的 15%以上,且原料中的抗营养因子含量有效降低。大豆酶解蛋白的营养成分和抗营养因子含量见表 2。

**表 1 试验设计**

Table 1 Experimental design

| 组别 Groups | 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels/(g/kg) |
|---|---|---|
| 1 | PC | 0 |
| 2 | NC1 | 0 |
| 3 | NC2 | 0 |
| 4 | PC | 5 |
| 5 | NC1 | 5 |
| 6 | NC2 | 5 |

**表 2 大豆酶解蛋白的营养成分和抗营养因子含量**

Table 2 The contents of nutrient composition and antinutritional factors of ESM

| 项目 Items | 含量 Content |
|---|---|
| 干物质 DM/% | 92.00 |
| 粗蛋白质 CP/% | ≥46.00 |
| 粗脂肪 EE/% | 2.50 |
| 粗灰分 Ash/% | ≤15.00 |
| 酸溶蛋白 Acid-soluble protein/% | ≥28.50 |
| 无氮浸出物 Nitrogen-free extract/% | ≤2.00 |
| 钙 Ca/% | 0.33 |
| 磷 P/% | 0.10 |
| 胰蛋白酶抑制因子 Trypsin inhibitors/(mg/g) | ≤2.00 |
| 大豆球蛋白 Glycinin/(mg/g) | ≤6.00 |
| β-伴球蛋白 β-conglycinin/(mg/g) | ≤3.00 |
| 脲酶 Urease/(mg/kg) | ≤0.30 |

### 1.3 试验饲粮

基础饲粮为玉米-豆粕型饲粮,参照《鸡饲养标准》(NY/T 33—2004)结合罗曼商品蛋鸡养殖手册配制。3 种营养水平饲粮的必需氨基酸水平保持一致,试验饲粮以粉料饲喂,其组成及营养水平见表 3。

**表 3　试验饲粮组成及营养水平(风干基础)**

Table 3　Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)　%

| 项目 Items | 组别 Groups | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 原料 Ingredients | | | | | | |
| 玉米 Corn | 61.75 | 63.47 | 64.37 | 61.73 | 63.49 | 64.38 |
| 豆粕 Soybean meal | 20.46 | 18.88 | 17.38 | 19.92 | 18.32 | 16.85 |
| 豆油 Soybean oil | 2.10 | 1.30 | 0.78 | 2.10 | 1.29 | 0.76 |
| 玉米蛋白粉 Corn protein powder | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| 粒状石粉 Grainy limestone | 7.44 | 7.44 | 7.46 | 7.44 | 7.44 | 7.46 |
| 粉状石粉 Powdery limestone | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 | 2.00 |
| 磷酸氢钙 $CaHPO_4$ | 1.00 | 1.01 | 1.02 | 1.00 | 1.01 | 1.02 |
| 食盐 NaCl | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 | 0.20 |
| *L*-赖氨酸硫酸盐 *L*-Lys·$H_2SO_4$(70%) | 0.04 | 0.10 | 0.18 | 0.04 | 0.10 | 0.17 |
| *DL*-蛋氨酸 *DL*-Met (99%) | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.06 | 0.07 | 0.08 |
| *L*-色氨酸 *L*-Trp (98%) | | | 0.01 | | | 0.01 |
| 氯化胆碱 Choline chloride | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 | 0.10 |
| 维生素预混料 Vitamin premix[1)] | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 矿物质预混料 Mineral premix[2)] | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 |
| 统糠 Rice bran | 1.20 | 1.78 | 2.77 | 1.26 | 1.83 | 2.82 |
| 大豆酶解蛋白 ESM | | | | 0.50 | 0.50 | 0.50 |
| 合计 Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 营养水平 Nutrient levels[3)] | | | | | | |
| 代谢能 ME/(MJ/kg) | 11.22 | 11.01 | 10.08 | 11.22 | 11.01 | 10.08 |
| 粗蛋白质 CP | 15.51 | 15.01 | 14.50 | 15.50 | 15.00 | 14.50 |
| 钙 Ca | 4.00 | 4.00 | 4.01 | 4.00 | 4.02 | 4.02 |
| 有效磷 AP | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| 赖氨酸 Lys | 0.74 | 0.73 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| 蛋氨酸 Met | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 |
| 苏氨酸 Thr | 0.59 | 0.57 | 0.55 | 0.59 | 0.57 | 0.55 |
| 色氨酸 Trp | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.15 | 0.16 |
| 蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys | 0.59 | 0.58 | 0.57 | 0.59 | 0.58 | 0.57 |

[1)] 维生素预混料为每千克饲粮提供 The vitamin premix provided the following per kilogram of diets: VA 9 950 IU, $VB_1$ 37.7 mg, $VB_2$ 12 mg, *D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 18.2 mg, $VB_6$ 7.55 mg, $VB_{12}$ 0.5 mg, $VD_3$ 5 000 IU, VE 70 IU, $VK_3$ 4.47 mg, 生物素 biotin 4 mg, VC 195 mg, 烟酸 niacin acid 70.35 mg。

[2)] 矿物质预混料为每千克饲粮提供 The mineral premix provided the following per kilogram of diets: Cu (as copper sulfate) 9.6 mg, Fe (as ferrous sulfate) 64 mg, Mn (as manganese sulfate) 121.5 mg, Zn (as zinc sulfate) 57 mg, I (as potassium iodide) 0.60 mg, Se (as sodium selenite) 0.36 mg。

[3)] 营养水平为计算值。Nutrient levels were calculated values.

### 1.4　饲养管理

所有试验鸡均采用 3 层阶梯式笼养,每笼 5 只鸡,连续 4 笼为 1 个重复。预试期各组试验鸡饲喂相同的饲粮,2 周后根据产蛋率和笼位,采用完全随机区组试验设计分配到各组。每天饲喂 2 次(07:00、14:00),自由采食和饮水,人工光照 16 h/d。以周为单位统计采食量,每天收集并记录各重复的产蛋数和产蛋总重。每天清粪 1 次,参照常规免疫程序接种鸡群。

### 1.5　测定指标与方法

#### 1.5.1　生产性能

每天以重复为单位观察记录试验鸡的产蛋总数和总重、合格蛋数量、不合格蛋(沙壳、破壳、软壳、脏蛋、畸形、大蛋、小蛋)数量、死亡情况等,参

照《家禽生产性能名词术语和度量统计方法》(NY/T 823—2004)计算平均产蛋率、平均日采食量、平均蛋重、料蛋比、合格蛋率。

1.5.2 蛋品质

于试验第 12 周采集蛋样,每个重复采取 3 枚蛋,每组 30 枚(共 180 枚)进行蛋品质测定。蛋壳强度采用蛋壳强度测定仪(ETG-1601A 型)测定;蛋壳厚度采用游标卡尺测定;蛋白高度、蛋黄颜色、哈氏单位采用蛋品质自动分析仪(EMT-5200 型)测定。

1.5.3 养分表观利用率

试验结束时,每个重复挑选 1 只健康状况良好、体重中等的试验鸡,采用三氧化二铬($Cr_2O_3$)指示剂法收集排泄物。预试期 3 d,正试期 4 d。正试期间每天收集的排泄物于-20 ℃冰箱保存。全部排泄物收集完毕后,取出同一只试验鸡的排泄物,混匀后置 65 ℃烘箱中烘至恒重,室温下回潮 24 h,粉碎过 40 mm 筛,装袋密封保存待测。

测定饲粮和排泄物的总能、CP、粗脂肪和干物质含量。总能含量的测定采用氧弹式测热仪;CP 含量的测定采用凯氏定氮法;粗脂肪含量的测定采用索氏抽提法;干物质含量的测定采用 105 ℃烘箱法。根据饲粮和排泄物中养分和指示剂含量计算养分表观利用率,公式如下:

养分表观利用率(%)=[1-(饲粮中指示剂含量/排泄物中指示剂含量×排泄物中养分含量/饲粮中养分含量)]×100。

1.5.4 肠道形态

于第 12 周试验结束当日早晨喂料前,每组随机选取 6 只试验鸡进行屠宰,酒精消毒后剖开腹腔,分离各肠段,取十二指肠、空肠中段,置于 10%中性甲醛溶液中固定,冲洗后脱水包埋组织块于石蜡中,采用 Leica-RM2235 切片机将组织切成 5 μm厚的薄片,苏木精-伊红(HE)常规染色,显微成像系统对组织样品拍照,采用 Image-Pro-Plus 图像分析软件测量肠道绒毛高度、隐窝深度,并计算绒毛高度和隐窝的比值(绒隐比)。

### 1.6 数据统计分析

采用 SAS 9.2 软件的 GLM 程序对数据进行双因素方差分析,分别检验饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平为主效应的差异显著性,同时分析交互作用;采用 Duncan 氏法比较各组平均值间的差异显著性。以 $P<0.05$ 为各项数据差异显著性标准,$0.05\leq P<0.10$ 为差异有显著趋势标准,$P>0.10$ 为差异不显著标准。所有结果采用平均值和均值标准误(SEM)表示。

## 2 结 果

### 2.1 生产性能

由表 4 可见,饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平对蛋鸡的平均日采食量和平均蛋重无显著影响($P>0.10$);随着饲粮营养水平的降低,平均产蛋率呈降低趋势($P=0.07$),料蛋比呈升高趋势($P=0.06$);随着大豆酶解蛋白添加水平的增加,料蛋比呈降低趋势($P=0.05$),合格蛋率显著升高($P<0.05$)。饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平的交互作用对蛋鸡的平均产蛋率、平均日采食量、平均蛋重、料蛋比和合格蛋率均无显著影响($P>0.10$)。

### 2.2 蛋品质

由表 5 可见,饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平对蛋壳强度、蛋白高度、哈氏单位和蛋壳厚度均无显著影响($P>0.10$);随着饲粮营养水平的降低,蛋黄颜色呈降低趋势($P=0.09$);随着大豆酶解蛋白添加水平的增加,蛋黄颜色极显著升高($P<0.01$),蛋壳强度也升高($P=0.10$)。饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平的交互作用对蛋白高度和哈氏单位有显著影响($P<0.05$),表现为在 NC1 饲粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著提高蛋白高度和哈氏单位($P<0.05$),对其他指标无显著交互作用($P>0.10$)。

### 2.3 养分表观利用率

由表 6 可见,饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平对蛋鸡的总能表观利用率无显著影响($P>0.10$);PC 组的粗脂肪表观利用率显著高于 NC1 和 NC2 组($P<0.05$);随着大豆酶解蛋白添加水平的增加,CP 和粗脂肪表观利用率显著升高($P<0.05$),干物质表观利用率呈升高趋势($P=0.09$)。饲粮营养水平和大豆酶解蛋白的交互作用对蛋鸡的总能表观利用率有显著影响($P<0.05$),表现为在 PC 饲粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著提高总能表观利用率($P<0.05$),对其他指标无显著交互作用($P>0.10$)。

**表 4　不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡生产性能的影响**

Table 4　Effects of different nutrient level diets supplemented with ESM on performance of laying hens

| 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels/(g/kg) | 平均产蛋率 Average laying rate/% | 平均日采食量 ADFI/g | 平均蛋重 Average egg weight/g | 料蛋比 F/G | 合格蛋率 Qualified egg rate/% |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC | 0 | 89.32 | 119.91 | 64.72 | 2.07 | 94.91 |
| NC1 | 0 | 87.96 | 119.38 | 64.66 | 2.10 | 95.02 |
| NC2 | 0 | 87.39 | 118.40 | 64.10 | 2.12 | 94.74 |
| PC | 5 | 89.63 | 119.41 | 64.74 | 2.06 | 95.63 |
| NC1 | 5 | 88.65 | 120.25 | 65.20 | 2.08 | 95.22 |
| NC2 | 5 | 88.69 | 119.01 | 64.46 | 2.08 | 95.92 |
| SEM | | 0.65 | 1.11 | 0.33 | 0.01 | 0.42 |
| PC | | 89.47 | 119.66 | 64.73 | 2.07 | 95.27 |
| NC1 | | 88.31 | 119.81 | 64.93 | 2.09 | 95.12 |
| NC2 | | 88.04 | 118.71 | 64.28 | 2.10 | 95.33 |
| | 0 | 88.22 | 119.23 | 64.49 | 2.10 | $94.89^{b}$ |
| | 5 | 88.99 | 119.56 | 64.80 | 2.07 | $95.59^{a}$ |
| *P* 值 *P*-value | | | | | | |
| 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | | 0.07 | 0.56 | 0.14 | 0.06 | 0.87 |
| 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels | | 0.15 | 0.72 | 0.26 | 0.05 | 0.04 |
| 饲粮营养水平×大豆酶解蛋白添加水平 Nutrient levels in diet× ESM supplemental levels | | 0.75 | 0.81 | 0.73 | 0.81 | 0.51 |

同列数据肩标无字母或相同字母表示差异有显著趋势或差异不显著($0.05 \leqslant P<0.10$ 或 $P>0.10$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。

In the same column, values with no letter or the same letter superscripts mean trend of significant difference or no significant difference ($0.05 \leqslant P<0.10$ or $P>0.10$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$). The same as below.

**表 5　不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡蛋品质的影响**

Table 5　Effects of different nutrient level diets supplemented with ESM on egg quality of laying hens

| 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels/(g/kg) | 蛋壳强度 Eggshell strength/($kg/cm^2$) | 蛋白高度 Albumen height/mm | 蛋黄颜色 Yolk color | 哈氏单位 Haugh unit | 蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| PC | 0 | 4.09 | $7.47^{a}$ | 13.04 | $84.84^{ab}$ | 0.396 |
| NC1 | 0 | 4.12 | $6.94^{b}$ | 12.77 | $81.82^{b}$ | 0.401 |
| NC2 | 0 | 4.20 | $7.32^{ab}$ | 12.86 | $84.16^{ab}$ | 0.392 |
| PC | 5 | 4.32 | $7.29^{ab}$ | 13.14 | $83.55^{ab}$ | 0.394 |
| NC1 | 5 | 4.31 | $7.50^{a}$ | 13.00 | $85.15^{a}$ | 0.397 |
| NC2 | 5 | 4.31 | $7.03^{ab}$ | 13.16 | $81.96^{b}$ | 0.392 |
| SEM | | 0.12 | 0.17 | 0.10 | 1.14 | 0.005 |
| PC | | 4.20 | 7.38 | 13.09 | 84.20 | 0.395 |
| NC1 | | 4.25 | 7.22 | 12.88 | 83.48 | 0.399 |

续表 5

| 饲粮营养水平 Nutrients levels in diet | 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels/(g/kg) | 蛋壳强度 Eggshell strength/(kg/cm²) | 蛋白高度 Albumen height/mm | 蛋黄颜色 Yolk color | 哈氏单位 Haugh unit | 蛋壳厚度 Eggshell thickness/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| NC2 | | 4.31 | 7.17 | 13.01 | 83.06 | 0.392 |
| | 0 | 4.16 | 7.24 | 12.89$^{Bb}$ | 83.61 | 0.396 |
| | 5 | 4.31 | 7.27 | 13.10$^{Aa}$ | 83.55 | 0.394 |
| *P* 值 *P*-value | | | | | | |
| 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | | 0.89 | 0.45 | 0.09 | 0.60 | 0.40 |
| 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels | | 0.10 | 0.82 | <0.01 | 0.95 | 0.64 |
| 饲粮营养水平×大豆酶解蛋白添加水平 Nutrient levels in diet× ESM supplemental levels | | 0.86 | 0.03 | 0.57 | 0.04 | 0.92 |

**表 6 不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡养分表观利用率的影响**

Table 6 Effects of different nutrient level diets supplemented with ESM on nutrient apparent availability of laying hens %

| 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels/(g/kg) | 干物质 DM | 总能 GE | 粗脂肪 EE | 粗蛋白质 CP |
|---|---|---|---|---|---|
| PC | 0 | 70.66 | 81.24$^{b}$ | 85.97 | 33.45 |
| NC1 | 0 | 69.60 | 81.39$^{b}$ | 83.56 | 29.27 |
| NC2 | 0 | 71.66 | 83.13$^{ab}$ | 85.34 | 32.42 |
| PC | 5 | 72.17 | 83.91$^{a}$ | 89.26 | 39.87 |
| NC1 | 5 | 72.19 | 82.58$^{ab}$ | 86.45 | 36.28 |
| NC2 | 5 | 72.01 | 81.05$^{b}$ | 84.66 | 37.25 |
| SEM | | 1.07 | 0.83 | 1.10 | 3.01 |
| PC | | 71.41 | 82.57 | 87.62$^{a}$ | 36.66 |
| NC1 | | 70.89 | 81.99 | 85.01$^{b}$ | 36.83 |
| NC2 | | 71.83 | 82.09 | 85.02$^{b}$ | 32.78 |
| | 0 | 70.64 | 81.92 | 84.96$^{b}$ | 31.71$^{b}$ |
| | 5 | 72.12 | 82.51 | 86.80$^{a}$ | 37.80$^{a}$ |
| *P* 值 *P*-value | | | | | |
| 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | | 0.68 | 0.76 | 0.03 | 0.44 |
| 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels | | 0.09 | 0.39 | 0.04 | 0.02 |
| 饲粮营养水平×大豆酶解蛋白添加水平 Nutrient levels in diet×ESM supplemental levels | | 0.59 | 0.02 | 0.15 | 0.93 |

## 2.4 肠道形态

由表 7 可见,饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平对蛋鸡的十二指肠隐窝深度无显著影响($P>0.10$)。饲粮营养水平对十二指肠肠道形态无显著影响($P>0.10$);但随着饲粮营养水平的降低,空肠隐窝深度呈升高趋势($P=0.06$),空肠绒隐比显著降低($P<0.05$)。随着大豆酶解蛋白添加水平的增加,十二指肠绒毛高度呈升高趋势($P=0.09$),十二指肠绒隐比显著升高($P<0.05$)。饲粮营养水平和大豆酶解蛋白的交互作用对蛋鸡的十

二指肠形态无显著影响($P>0.10$),对空肠绒毛高度和绒隐比有极显著影响($P<0.01$),表现为在NC2饲粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著提高空肠绒毛高度和绒隐比($P<0.05$),而在PC和NC1饲粮营养水平时添加则无显著影响($P>0.10$)。

**表7　不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡十二指肠和空肠形态的影响**

Table 7　Effects of different nutrient level diets supplemented with ESM on duodenum and jejunum morphology of laying hens

| 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels/(g/kg) | 十二指肠 Duodenum | | | 空肠 Jejunum | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 绒毛高度 Villous height/μm | 隐窝深度 Crypt depth/μm | 绒隐比 V/C | 绒毛高度 Villous height/μm | 隐窝深度 Crypt depth/μm | 绒隐比 V/C |
| PC | 0 | 1 064.11 | 174.93 | 6.37 | 1 252.65$^{Aab}$ | 146.94 | 8.61$^{Aa}$ |
| NC1 | 0 | 1 130.17 | 195.74 | 6.34 | 1 095.62$^{ABabc}$ | 175.54 | 6.54$^{ABb}$ |
| NC2 | 0 | 1 151.04 | 184.12 | 6.35 | 974.66$^{Bc}$ | 260.08 | 4.60$^{Bc}$ |
| PC | 5 | 1 103.75 | 179.75 | 6.40 | 1 034.55$^{Bc}$ | 159.11 | 6.83$^{ABab}$ |
| NC1 | 5 | 1 319.78 | 157.48 | 8.48 | 1 056.01$^{ABbc}$ | 171.18 | 6.29$^{ABbc}$ |
| NC2 | 5 | 1 291.29 | 170.29 | 7.71 | 1 286.01$^{Aa}$ | 179.99 | 7.26$^{Aab}$ |
| SEM | | 85.51 | 17.57 | 0.68 | 71.23 | 27.70 | 0.62 |
| PC | | 1 083.93 | 177.34 | 6.39 | 1 143.60 | 153.03 | 7.72$^{a}$ |
| NC1 | | 1 224.97 | 176.61 | 7.41 | 1 075.82 | 173.36 | 6.42$^{b}$ |
| NC2 | | 1 221.16 | 177.20 | 7.03 | 1 107.64 | 194.19 | 5.93$^{b}$ |
| | 0 | 1 115.11 | 184.93 | 6.35$^{b}$ | 1 125.52 | 170.09 | 6.58 |
| | 5 | 1 238.26 | 169.17 | 7.53$^{a}$ | 1 238.26 | 169.17 | 6.79 |
| *P* 值 *P*-value | | | | | | | |
| 饲粮营养水平 Nutrient levels in diet | | 0.19 | 0.99 | 0.33 | 0.61 | 0.06 | 0.02 |
| 大豆酶解蛋白添加水平 ESM supplemental levels | | 0.09 | 0.28 | 0.04 | 0.76 | 0.30 | 0.69 |
| 饲粮营养水平×大豆酶解蛋白添加水平 Nutrient levels in diet× ESM supplemental levels | | 0.67 | 0.48 | 0.31 | <0.01 | 0.22 | <0.01 |

## 3　讨　论

### 3.1　不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡生产性能的影响

蛋鸡饲粮营养摄入不足可能降低其生产性能。黄保华等[6]研究发现,44~60周龄时,16.0% CP组海兰白蛋鸡的料蛋比显著低于15.3% CP组,产蛋率无显著差异。ME对蛋鸡生产性能的影响主要体现在采食量上,从而导致各养分的摄入量出现差异[7]。本试验结果表明,随着饲粮营养水平的降低,蛋鸡的平均产蛋率呈降低趋势,料蛋比呈升高趋势,与前人的研究结果基本一致。但不同营养水平饲粮对蛋鸡的平均日采食量和平均蛋重无显著影响,这可能与本试验饲粮的ME降低梯度偏小及试验饲粮组成不同等有关。

本试验发现,饲粮中添加大豆酶解蛋白降低了蛋鸡的料蛋比,显著提高了合格蛋率,对其他指标无显著影响。吴俊峰等[8]研究发现,在等氮水平下,54周龄海兰褐蛋鸡饲粮中添加2.5%发酵豆粕,产蛋率极显著提高3.87%,料蛋比和破软蛋率降低。陈虹等[9]研究发现,饲粮中添加120 mg/kg大豆肽,海兰灰蛋鸡的料蛋比比对照组显著降低5.77%。本试验结果与前人研究较一致,以小肽作为动物的蛋白质来源不仅可被直接吸收,而且能够参与机体的生理活动和代谢调节,进而提高蛋鸡的生产性能。次品蛋的产生多与疾病、应激和营养等因素有关[10]。大豆酶解蛋白对合格蛋率的改善作用推测是由于其提高了蛋鸡对养分的利用

效率及改善了肠道和产道的健康,具体原因需要进一步研究。

### 3.2 不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡蛋品质的影响

鸡蛋品质是蛋鸡生产中极为重要的一部分,也是影响鸡蛋消费的重要因素。蛋壳强度越大,鸡蛋在运输过程中越不容易破损;蛋白高度和哈氏单位是反映鸡蛋蛋白品质的重要指标,哈氏单位越大表明蛋白的黏稠度越高,则蛋白品质越好[11];蛋黄颜色也是影响消费者选购鸡蛋的一个重要因素,一般来说,消费者更加青睐蛋黄颜色深的鸡蛋。

本试验发现,饲粮营养水平对蛋壳强度、蛋壳厚度、蛋白高度及哈氏单位均无显著影响,而蛋黄颜色随着饲粮营养水平的降低呈降低趋势。Li等[12]研究表明,饲粮 CP 和 ME 水平对蛋鸡的蛋壳质量无显著影响。研究也表明,蛋白高度主要受蛋鸡所处环境及鸡蛋贮存环境和时间的影响较大,饲粮营养水平对蛋白高度的影响较小[11]。齐明星等[13]研究发现,饲粮较高 CP 水平(16.0%)能显著提高绿壳蛋鸡产蛋后期鸡蛋的哈氏单位,而 15.5%和 15.0% CP 水平间无显著差异;蛋黄颜色随饲粮 ME 水平的增加显著加深。本试验发现,饲粮营养水平对哈氏单位无显著影响,原因可能是 CP 水平设定、试验动物及饲粮组成的不同,而在蛋黄颜色上的研究结果与前人的研究类似,分析原因可能是由于饲粮营养水平降低减少了油脂的用量,从而减少了蛋鸡对脂溶性色素的摄入,造成了蛋黄颜色的降低。

本试验发现,饲粮中添加大豆酶解蛋白极显著提高蛋黄颜色,对其他指标无显著影响。陈亮等[14]研究表明,蛋鸡饲粮中添加 0.6%~0.9%大豆酶解蛋白,蛋黄颜色显著高于对照组。饲粮中红色和黄色色素的主要来源类胡萝卜素容易被氧化,一方面,由于大豆肽具有抗氧化活性[15],可以保护饲粮中的类胡萝卜素不被氧化;另一方面,大豆酶解蛋白提高了粗脂肪的利用效率,从而促进了脂溶性色素在蛋黄中的沉积。

### 3.3 不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡养分表观利用率的影响

研究表明,一定范围内,随着饲粮营养水平的降低,饲粮的养分利用率呈先降低又逐渐升高趋势,其中,粗脂肪利用率的变化程度较大[16]。本试验发现,PC 组蛋鸡的粗脂肪表观利用率显著高于 NC1 和 NC2 组,而其他指标间无显著差异。这可能是由于本试验中试验动物的种类及试验饲粮组成等不同,只有变化程度较大的粗脂肪利用率达到了显著水平。

大豆蛋白经酶分解后,产生各种多肽和少量游离氨基酸的混合物,多肽在动物肠道中可被迅速吸收转化,部分生物活性小肽能够刺激内源消化酶的产生,从而促进养分的吸收。张丽[17]在蛋鹌鹑饲粮中添加小肽营养素,发现提高了饲粮中 CP 和粗脂肪表观消化率。孙崇源[18]研究发现,饲粮中添加 0.5%和 1.0%小肽(脱皮豆粕以及动物蛋白质为原材料,蛋白酶水解生产加工得到)也可提高肉用仔鸡的 CP 和粗脂肪表观利用率。本试验发现,饲粮中添加大豆酶解蛋白可显著提高 CP 和粗脂肪表观利用率,与前人的研究结果一致,这可能与小肽提高了肠道中消化酶的活性有关,小肽可能通过提高饲粮 CP 和粗脂肪的消化利用率来促进家禽生产性能的提高。

### 3.4 不同营养水平饲粮添加大豆酶解蛋白对蛋鸡肠道形态的影响

家禽小肠黏膜绒毛高度和隐窝深度是评价小肠消化吸收功能的重要指标。小肠绒毛高度越高,与食糜接触的表面积越大,则表明肠道的吸收功能越强[19];隐窝深度则是反映肠上皮细胞增殖率和成熟度的重要指标,隐窝变浅则表明细胞增殖率上升,分泌功能增强[20]。肠绒隐比可综合反映小肠的功能状况,比值升高表明肠道形态较好,消化吸收功能增强,比值降低则表明黏膜受损,消化吸收功能降低[21]。

本试验发现,饲粮营养水平对蛋鸡的十二指肠形态无显著影响,但随着饲粮营养水平的降低,空肠绒隐比显著降低。Zhang 等[22]报道认为,饲粮中仅添加赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸和色氨酸,CP 水平降低至一定程度时,仔猪的十二指肠、空肠、回肠绒毛高度显著降低。李宗锐[23]研究发现,饲粮 CP 水平降低 2%可显著降低 42 日龄肉鸡的十二指肠和空肠绒毛高度和绒隐比。饲粮蛋白质和氨基酸可直接参与肠上皮细胞代谢或刺激胃肠激素分泌来影响肠道形态[24],蛋白质摄入不足可能会影响蛋鸡的肠道形态。

本试验发现,饲粮中添加大豆酶解蛋白可提高蛋鸡的十二指肠绒毛高度和绒隐比,在 NC2 饲

粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著提高空肠绒毛高度和绒隐比。Xu 等[25]研究发现,饲粮中添加发酵豆粕可显著提高蛋鸡的十二指肠和空肠绒毛高度和绒隐比。沈一茹等[26]试验表明,饲粮中添加大豆酶解蛋白可显著改善 21 日龄肉鸡的肠绒毛高度和隐窝深度,促进肉仔鸡的肠道发育。大豆酶解蛋白对肠道形态的影响主要体现在 2 个方面:一是大豆蛋白经过降解消除了大部分抗营养因子,降低了抗营养因子对肠壁的破坏作用;二是小肽的吸收有利于家禽肠道黏膜组织细胞的发育,同时一些活性小肽有神经递质样作用,刺激肠道激素受体,进而促进小肠发育。

## 4　结　论

① 饲粮营养水平降低可使蛋鸡的平均产蛋率、蛋黄颜色和粗脂肪利用率呈降低趋势,料蛋比和空肠隐窝深度呈升高趋势,空肠的绒隐比显著降低。

② 饲粮中添加大豆酶解蛋白可显著降低蛋鸡的料蛋比,显著提高合格蛋率、CP 和粗脂肪表观利用率及十二指肠绒隐比,极显著提高蛋黄颜色。

③ 饲粮营养水平和大豆酶解蛋白添加水平的交互作用对蛋鸡的蛋白高度、哈氏单位、总能表观利用率、空肠绒毛高度和绒隐比有显著影响;在 NC1 饲粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著提高蛋白品质,在 NC2 饲粮营养水平时添加大豆酶解蛋白可显著改善空肠形态。

**参考文献:**


[1] 张宇婷,张荣飞,晨光.酶解蛋白在畜牧生产中的应用及发展趋势[J].饲料广角,2015(23):42-45.

[2] OLUKOSI O A,XIAO W W,JIA J.Peptide supplementation to nutrient-adequate diets enhanced internal egg quality during storage in hens at peak production [J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2018,98(5):1850-1855.

[3] 赵芳芳.大豆肽的生物学功能研究[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2004:49-51.

[4] 陈小莺,张日俊.大豆生物活性肽对蛋鸡生产性能和蛋白质代谢的影响及调控机理[J].饲料工业,2005,26(23):33-36.

[5] 陈宝江.小肽的营养与应用[J].中国饲料,2004(5):34-36.

[6] 黄保华,张桂芝,石天虹,等.不同营养水平对蛋鸡 19~72 周龄生产性能的影响[J].山东家禽,2000(1):10-13.

[7] ZHU C,JIANG Z Y,JIANG S Q,et al.Maternal energy and protein affect subsequent growth performance,carcass yield,and meat color in Chinese yellow broilers[J].Poultry Science,2012,91(8):1869-1878.

[8] 吴俊锋,詹凯,曹君平,等.枯草芽孢杆菌及其发酵豆粕对蛋鸡生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J].中国家禽,2012,34(1):22-26.

[9] 陈虹,侯伟革.蛋鸡日粮添加大豆生物活性肽的应用效果[J].畜牧与兽医,2012,44(12):109-110.

[10] 金淑艳.异常鸡蛋产生的原因[J].养殖技术顾问,2014(11):20.

[11] BENABDELJELIL K,JENSEN L S.Effectiveness of ascorbic acid and chromium in counteracting the negative effects of dietary vanadium on interior egg quality [J].Poultry Science,1990,69(5):781-786.

[12] Li F,Zhang L M,Wu X H,et al.Effects of metabolizable energy and balanced protein on egg production,quality,and components of *Lohmann* brown laying hens[J].The Journal of Applied Poultry Research,2013,22(1):36-46.

[13] 齐明星,丁科,李兰兰,等.饲粮不同代谢能、粗蛋白质水平对新杨绿壳蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2017,29(4):1159-1166.

[14] 陈亮,肖伟伟.大豆酶解蛋白对蛋鸡产蛋性能和蛋品质的影响[J].中国家禽,2016,38(10):70-72.

[15] 荣建华,李小定,谢笔钧.大豆肽体外抗氧化效果的研究[J].食品科学,2002,23(11):118-120.

[16] 倪志勇,张克英,左绍群,等.不同营养水平饲粮中添加饲用复合酶对肉鸡生产性能的影响研究[J].四川农业大学学报,2001,19(1):80-85.

[17] 张丽.小肽营养素对蛋鹌鹑生产性能、营养物质消化率及免疫机能的影响[D].硕士学位论文.保定:河北农业大学,2007:15-16.

[18] 孙崇源.小肽和半胱胺对肉用仔鸡生产性能的影响及机理研究[D].硕士学位论文.邯郸:河北工程大学,2015:25-26.

[19] CUMMINGS J H,MACFARLANE G T.Collaborative JPEN-clinical nutrition scientific publications role of intestinal bacteria in nutrient metabolism[J].Journal of Parenteral and Enteral Nutrition,1997,21(6):357-365.

[20] 成令忠,钟翠平,蔡文琴.现代组织学[M].上海:上海科学技术文献出版社,2003:798-802.

[21] 景翠,李福彬,赵驻军,等.日粮添加地衣芽孢杆菌对

蛋鸡肠道菌群与形态结构的影响[J].中国家禽,2012,34(4):18-20.

[22] ZHANG S H,QIAO S Y,REN M,et al.Supplementation with branched-chain amino acids to a low-protein diet regulates intestinal expression of amino acid and peptide transporters in weanling pigs [J]. Amino Acids,2013,45(5):1191-1205.

[23] 李宗锐.不同蛋白质水平饲粮添加蛋白酶对肉鸡生产性能和消化生理的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2015:35-36.

[24] BAKER D H,AUMAITRE A,LEE B D,et al.Recent advances in use of the ideal protein concept for swine feed formulation [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2000,13(4):294-301.

[25] XU F Z,LI L M,LIU H J,et al.Effects of fermented soybean meal on performance,serum biochemical parameters and intestinal morphology of laying hens[J]. Journal of Animal and Veterinary Advances,2012,11(5):649-654.

[26] 沈一茹,张珊,赵旭,等.大豆酶解蛋白对肉鸡生产性能、肉品质、肠道和免疫器官发育的影响[J].中国家禽,2016,38(8):30-35.

# Effects of Different Nutrient Level Diets Supplemented with Enzymolytic Soybean Meal on Performance, Egg Quality, Nutrient Apparent Availability and Intestinal Morphology of Laying Hens

LIU Pan WANG Jianping BAI Shiping ZENG Qiufeng DING Xuemei* ZHANG Keying*

(*Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education*, *Regional Key Laboratory for Ministry of Agriculture*, *Institute of Animal Nutrition*, *Sichuan Agricultural University*, *Chengdu* 611130, *China*)

**Abstract**: This experiment was conducted to investigate the effects of different nutrient level diets supplemented with enzymolytic soybean meal (ESM) on performance, egg quality, nutrient apparent availability and intestinal morphology of laying hens. A 3×2 two factorial design with 3 nutrient levels in diet, positive control (PC) with 11.22 MJ/kg metabolic energy (ME) and 15.5% crude protein (CP), negative control 1 (NC1) with 11.01 MJ/kg ME and 15.0% CP, negative control 2 (NC2) with 10.80 MJ/kg ME and 14.5% CP, and two ESM supplemental levels (0 and 5 g/kg) was used. A total of 1 200 Roman pink laying hens with 52 weeks old were randomly divided into 6 groups with 10 replicates per group and 20 laying hens per replicate. The experiment lasted for 12 weeks. The results showed as follows: 1) with the decrease of nutrient levels in diet, average laying rate of laying hens had a decreasing tendency ($P=0.07$), and the ratio of feed to egg had an increasing tendency ($P=0.06$). With the increase of ESM supplemental levels, the ratio of feed to egg had a decreasing tendency ($P=0.05$), and qualified egg rate was significantly increased ($P<0.05$). 2) With the decrease of nutrient levels in diet, yolk color had a decreasing tendency ($P=0.09$). With the increase of ESM supplemental levels, yolk color was significantly increased ($P<0.01$). The interaction of nutrient levels in diet and ESM supplemental levels had significant effects on albumen height and Haugh unit ($P<0.05$), NC1 nutrient level diets supplemented with ESM significantly increased albumen height and Haugh unit ($P<0.05$). 3) Apparent availability of ether extract (EE) of laying hens in group PC was significantly higher than that of in groups NC1 and NC2 ($P<0.05$). With the increase of ESM supplemental levels, apparent availabilities of CP and EE were significantly increased ($P<0.05$). The interaction of nutrient levels in diet and ESM supplemental levels had significant effects on apparent availability of general energy of laying hens ($P<0.05$), PC nutrient level diets supplemented with ESM significantly increased apparent availability of total energy ($P<0.05$). 4)

* Corresponding authors: DING Xuemei, associate professor, E-mail: dingxuemei0306@163.com; ZHANG Keying, professor, E-mail: zkeying@sicau.edu.cn

With the decrease of nutrient levels in diet, crypt depth of jejunum had an increasing tendency ($P=0.06$), the ratio of villous height to crypt depth (V/C) of jejunum was significantly decreased ($P<0.05$). With the increase of ESM supplemental levels, villous height of duodenum had an increasing tendency ($P=0.09$), V/C of duodenum was significantly increased ($P<0.05$). The interaction of nutrient levels in diet and ESM supplemental levels had significant effects on villous height and V/C of jejunum of laying hens ($P<0.01$), NC2 nutrient level diets supplemented with ESM significantly increased villous height and V/C of jejunum ($P<0.05$). In conclusion, diet supplemented with ESM can improve performance and egg quality of laying hens by improving intestinal morphology and apparent availabilities of CP and EE in diet, and can partial alleviate the negative influences by lower nutrient levels in diet. [***Chinese Journal of Animal Nutrition***, **2019**, **31**(**3**):**1127-1137**]

**Key words**: nutrient levels; enzymolytic soybean meal; laying hens; egg quality; performance; intestinal morphology

(责任编辑　李慧英)