

磷来源与水平对蛋鸡生产性能和蛋壳质量的影响

谭占坤¹ 白世平¹ 张克英^{1*} 丁雪梅¹ 曾秋凤¹ 彭西²

(1. 四川农业大学动物营养研究所, 教育部抗病营养重点实验室, 雅安 625014; 2. 四川农业大学动物医学院, 雅安 625014)

摘要: 本试验采用 2×7 因子完全随机区组试验设计, 旨在研究磷源 [磷酸一二钙 (MDCP) 和磷酸氢钙 (DCP)] 及非植酸磷 (NPP) 添加水平 (0、0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 和 0.30%) 对蛋鸡生产性能和蛋壳质量的影响, 试验共 13 个处理, 每个处理 6 个重复, 每个重复 15 只鸡。选取 1 170 只 25 周龄罗曼粉壳蛋鸡, 随机分配到各处理, 饲喂玉米-豆粕型基础饲料 (NPP 0.12%), 所有处理的钙水平都是 3.5%, 试验期为 24 周。结果表明, 磷源与磷水平在蛋鸡生产性能和蛋壳质量上未表现出显著的互作效应 ($P > 0.05$)。从全期来看, 基础饲料组蛋鸡平均日产蛋率、平均日产蛋量、平均日采食量和平均蛋重显著低于无机磷添加组 ($P < 0.05$), 料蛋比、破蛋率和畸形蛋率显著高于无机磷添加组 ($P < 0.05$)。磷源和磷水平对蛋壳厚度均无显著影响 ($P > 0.05$)。0.05%~0.30% NPP 组蛋鸡的平均日产蛋率、料蛋比 (除 1~4 周外)、死亡率、破蛋率、软壳蛋率和畸形蛋率无显著差异 ($P > 0.05$); 0.10%~0.30% NPP 组蛋鸡的平均日产蛋量无显著差异 ($P > 0.05$); 平均蛋重和平均日采食量随 NPP 水平的提高, 呈先升高后降低的趋势。结果提示, MDCP 可以替代 DCP 作为蛋鸡饲料的磷源; 蛋鸡 (25~49 周龄) 玉米-豆粕型饲料中适宜的 NPP 水平为 0.22%, 适宜的 MDCP 添加量为 0.48%。

关键词: MDCP; DCP; 磷水平; 生产性能; 蛋壳质量

中图分类号: S816.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2011)10-1684-13

磷是蛋鸡必需的矿物元素, 具有重要的生物学功能, 参与骨骼和蛋壳的构成, 参与体内几乎所有的生理生化反应; 由于植物性饲料中大部分为植酸磷, 无法被蛋鸡有效利用, 必须在饲料中添加无机磷, 因此磷是蛋鸡饲料中继能量和蛋白质之后第 3 位重要的营养物质^[1-2]。近年来, 由于磷资源的缺乏和过量添加对环境的污染, 因此准确评定动物对磷的需要量、提高饲料植酸磷利用率及寻找新型高效低污染的磷源成为磷营养研究的热点。前人研究表明, 随着蛋鸡育种工作的不断进行, 蛋鸡的磷需要量不断下降^[3]。NRC 推荐的蛋鸡磷需要量 1960 年每天每只鸡为 429 mg, 1984 年为 350 mg, 1994 年为 250 mg^[4]。磷酸氢钙 (DCP) 是动物饲料中使用最多的磷源, 价格也相

对较高, 为了缓解 DCP 日渐缺乏以及在饲料成本中所占比例太高的问题, 研究者开展了大量的工作以寻求新的磷源^[5]。磷酸一二钙 [MDCP, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$] 是一种新型磷源, 在国内还处于推广阶段。本试验旨在研究不同磷源和磷水平对蛋鸡生产性能与蛋壳质量的影响, 确定蛋鸡玉米-豆粕型饲料中的适宜磷添加水平, 为磷源的合理利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用 2 种磷源: MDCP 和 DCP, 其钙、磷含量及来源见表 1。

收稿日期: 2011-05-06

基金项目: 四川省教育厅重大培育项目; 中国磷营养中心 (川恒化工) 和四川农业大学双支团队资助

作者简介: 谭占坤 (1986-), 男, 四川武胜人, 硕士研究生, 从事禽的营养研究。E-mail: tanzhankun@sina.com

* 通讯作者: 张克英, 教授, 博士生导师, E-mail: zkeying@sicau.edu.cn

表 1 2 种磷源的钙、磷含量及来源

Table 1 The origin and contents of calcium and phosphorus of the two phosphorus sources

| 磷源 Phosphorus sources | 磷 Phosphorus/% | 钙 Calcium/% | 来源 Origin |
|-----------------------|----------------|-------------|-----------|
| 磷酸一二钙 MDCP | 21.1 | 16.1 | 川恒化工 |
| 磷酸氢钙 DCP | 17.1 | 19.3 | 龙蟒集团 |

1.2 试验设计

试验采用 2×7 因子完全随机区组试验设计, 2 种磷源为 MDCP 和 DCP, 在基础饲粮中磷(非植酸磷, NPP)添加水平分别为 0、0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25% 和 0.30%, 2 种磷源共用 0 添加水平组(基础组), 共计 13 个处理, 每个处理 6 个重复, 每个重复 15 只鸡, 试验期为 24 周。

1.3 试验动物与饲粮

试验选用健康、产蛋性能相近的 25 周龄产蛋高峰期的罗曼粉壳蛋鸡 1 170 只, 按照起始产蛋率无差异原则分配到各个处理。试验在四川农业大

学动物营养所农场进行, 采用 3 层阶梯饲养, 每笼 3 只, 自由采食与饮水, 蛋鸡定期免疫和饮水消毒。试验期间, 采用 16 h(06:00—22:00)光照, 每天喂料 2 次(08:00 和 15:00)。

基础饲粮参照中国鸡的饲养标准(NY/T 33—2004)与 NRC(1994)产蛋高峰(产蛋率 > 85%)蛋鸡的营养需要配制, 采用玉米-豆粕型粉状饲粮。基础饲粮组成及营养水平见表 2。配制含 MDCP 和 DCP 饲粮时, 通过改变 MDCP 或 DCP、碳酸钙和膨润土的水平来调整磷水平, 其他原料用量不变, 保持饲粮能量、蛋白质和钙等水平不变。

表 2 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of basal diet (air-dry basis)

| 原料 Ingredients | 含量 Content | 营养水平 Nutrient levels ²⁾ | 含量 Content |
|--------------------------|------------|------------------------------------|------------|
| 玉米 Corn | 59.48 | 代谢能 ME/(MJ/kg) | 11.29 |
| 大豆油 Soybean oil | 1.50 | 粗蛋白质 CP | 16.50 |
| 大豆粕 Soybean meal | 27.59 | 非植酸磷 NPP | 0.12 |
| 预混料 Premix ¹⁾ | 0.53 | 赖氨酸 Lys | 0.88 |
| DL-蛋氨酸 DL-Met | 0.09 | 蛋氨酸 Met | 0.34 |
| 食盐 NaCl | 0.40 | 蛋氨酸 + 半胱氨酸 Met + Cys | 0.61 |
| 胆碱 Choline | 0.10 | 钙 Ca | 3.48 |
| 石粉 Limestone | 8.47 | 总磷 TP | 0.34 |
| 膨润土 Bentolite | 1.84 | 植酸磷 PP | 0.22 |
| 合计 Total | 100.00 | | |

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet: Fe ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 60 mg, Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 8 mg, Mn ($\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 100 mg, Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 100 mg, Se (Na_2SeO_3) 0.3 mg, I (KI) 0.35 mg, VA 8 000 IU, VD₃ 1 600 IU, VE 5 IU, VB₁ 0.8 mg, VB₂ 2.5 mg, VB₆ 1.5 mg, VB₁₂ 0.004 mg, D-泛酸 D-pantothenic acid 2.2 mg, 叶酸 folic acid 0.25 mg, 烟酸 nicotinic acid 20 mg, 生物素 biotin 0.1 mg。

²⁾ 钙、总磷和植酸磷是实测值, 其他是计算值。Ca, TP and PP were analyzed values, while the others were calculated values.

1.4 试验指标

生产性能: 每周以重复为单位观察并记录蛋鸡的产蛋枚数、破蛋数、软壳蛋数、畸形蛋数、蛋重和死亡情况, 计算平均日产蛋率、平均蛋重、平均日产蛋量、平均日采食量(ADFI)、破蛋率、软壳蛋率、畸形蛋率和死亡率。

蛋壳质量: 分别在试验第 4、8、12、16、20 和 24

周末, 每个重复随机采集蛋样 5 枚测定蛋壳强度和蛋壳厚度。蛋壳强度和蛋壳厚度采用 FHK 蛋壳强度仪和蛋壳厚度仪测定。

1.5 数据统计与分析

所有数据以重复为单位, 用 SAS 8.0 软件的 GLM 程序进行两因素方差分析, 用 Duncan 氏法进行多重比较, 以 $P < 0.05$ 作为差异显著水平。

2 结果与分析

2.1 生产性能

2.1.1 平均日产蛋率

由表 3 可见,磷源、磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡的平均日产蛋率无显著影响($P > 0.05$)。饲料磷水平显著影响 5~8 周及以后的蛋鸡平均日产蛋率($P < 0.05$),从全期来看,基础组蛋鸡平均日产蛋率最低(77.8%),与其他磷水平组差异

显著($P < 0.05$);而其他磷水平组之间无显著差异($P > 0.05$),平均日产蛋率均维持在 90% 以上。由图 1 可见,按周统计,随试验期的延长,基础组蛋鸡平均日产蛋率下降;从试验第 7 周开始到试验结束,基础组蛋鸡平均日产蛋率均显著低于添加无机磷各组($P < 0.05$);按阶段统计,从试验 5~8 周开始,基础组与添加无机磷各组均差异显著($P < 0.05$),并随试验阶段延长,平均日产蛋率下降程度增加。

表 3 磷源和磷水平对蛋鸡平均日产蛋率的影响

Table 3 Effects of phosphorus source and level on average daily egg production of laying hens

%

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 1~4 周 1 to 4 week | 5~8 周 5 to 8 week | 9~12 周 9 to 12 week | 13~16 周 13 to 16 week | 17~20 周 17 to 20 week | 21~24 周 21 to 24 week | 1~24 周 1 to 24 week |
|---|---|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 水平效应 Level effect | 0 | 94.6 | 88.6 ^b | 83.7 ^b | 73.3 ^b | 61.7 ^b | 58.0 ^b | 77.8 ^b |
| | 0.05 | 94.7 | 93.1 ^a | 93.5 ^a | 93.5 ^a | 92.6 ^a | 91.7 ^a | 93.2 ^a |
| | 0.10 | 96.6 | 94.5 ^a | 94.5 ^a | 95.0 ^a | 94.7 ^a | 93.5 ^a | 94.8 ^a |
| | 0.15 | 96.6 | 94.0 ^a | 94.5 ^a | 95.6 ^a | 94.9 ^a | 94.1 ^a | 95.0 ^a |
| | 0.20 | 95.6 | 95.4 ^a | 96.1 ^a | 95.7 ^a | 96.0 ^a | 95.1 ^a | 95.6 ^a |
| | 0.25 | 96.1 | 93.4 ^a | 93.6 ^a | 93.9 ^a | 94.3 ^a | 92.8 ^a | 93.9 ^a |
| | 0.30 | 96.0 | 94.6 ^a | 95.9 ^a | 96.0 ^a | 94.3 ^a | 93.5 ^a | 95.1 ^a |
| SEM | | 0.747 | 1.405 | 1.318 | 1.162 | 1.406 | 1.217 | 0.878 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 95.3 | 92.7 | 92.9 | 91.5 | 90.0 | 88.7 | 92.0 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 96.2 | 94.0 | 93.3 | 92.2 | 89.6 | 88.0 | 92.4 |
| SEM | | 0.399 | 0.751 | 0.705 | 0.622 | 0.752 | 0.650 | 0.469 |
| 变异来源 Source of variation | | | | | P 值 P-value | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.138 9 | 0.231 7 | 0.694 6 | 0.444 3 | 0.722 8 | 0.444 5 | 0.515 9 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.349 4 | 0.025 2 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 |
| 磷源×磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.571 7 | 0.660 3 | 0.604 7 | 0.936 8 | 0.633 3 | 0.503 9 | 0.624 2 |

同列数据肩标不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

In the same column, values with different letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below.

2.1.2 平均日产蛋量

由表 4 可见,磷源、磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡平均日产蛋量无显著影响($P > 0.05$)。磷水平对 5~8 周及以后的蛋鸡平均日产蛋量有显著影响($P < 0.05$),从全期来看,基础组蛋鸡平均日产蛋量最低[46.2 g/(只·d)],显著低于其他磷水平组($P < 0.05$);0.20% 磷水平组蛋鸡平均日产蛋量最高,与 0.05% 磷水平组差异显著($P <$

0.05),而与其他磷水平组间没有显著差异($P < 0.05$)。从各阶段来看,从 5~8 周开始,基础组蛋鸡平均日产蛋量显著低于其他磷水平组($P < 0.05$),随试验期延长,下降程度增加;其他磷水平组随试验期的延长,平均日产蛋量呈增加趋势,但 0.05% 磷水平组增加程度较小,到 21~24 周时,显著低于 0.20% 磷水平组($P < 0.05$)。

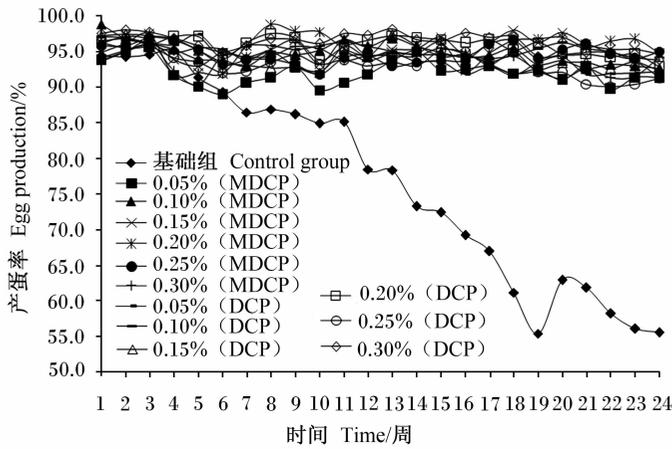


图 1 饲料非植酸磷水平对平均周产蛋率的影响

Fig. 1 Influence of dietary NPP level on average weekly egg production

表 4 磷源和磷水平对蛋鸡平均日产蛋量的影响

Table 4 Effects of phosphorus source and level on average daily egg mass of laying hens g/(只·d)

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 1~4 周 1 to 4 week | 5~8 周 5 to 8 week | 9~12 周 9 to 12 week | 13~16 周 13 to 16 week | 17~20 周 17 to 20 week | 21~24 周 21 to 24 week | 1~24 周 1 to 24 week |
|--|--------------------------------------|----------------------|----------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| 水平效应 Level effect | 0 | 54.1 | 53.0 ^b | 50.4 ^b | 44.8 ^b | 36.9 ^b | 34.3 ^c | 46.2 ^c |
| | 0.05 | 54.1 | 55.8 ^a | 57.2 ^a | 57.5 ^a | 56.9 ^a | 56.5 ^b | 56.3 ^b |
| | 0.10 | 55.1 | 56.8 ^a | 57.5 ^a | 58.3 ^a | 58.1 ^a | 57.5 ^{ab} | 57.2 ^{ab} |
| | 0.15 | 55.5 | 56.8 ^a | 57.8 ^a | 59.0 ^a | 58.6 ^a | 58.2 ^{ab} | 57.6 ^{ab} |
| | 0.20 | 55.1 | 57.8 ^a | 59.5 ^a | 59.6 ^a | 59.7 ^a | 59.2 ^a | 58.4 ^a |
| | 0.25 | 54.8 | 56.0 ^a | 57.0 ^a | 57.6 ^a | 58.2 ^a | 57.3 ^{ab} | 56.7 ^{ab} |
| | 0.30 | 54.6 | 56.6 ^a | 58.2 ^a | 59.0 ^a | 58.0 ^a | 57.5 ^{ab} | 57.2 ^{ab} |
| SEM | | 0.459 | 0.880 | 0.934 | 0.798 | 0.906 | 0.764 | 0.593 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 54.6 | 55.8 | 56.8 | 56.5 | 55.4 | 54.7 | 55.6 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 55.0 | 56.4 | 56.8 | 56.6 | 55.0 | 54.1 | 55.7 |
| SEM | | 0.245 | 0.470 | 0.499 | 0.427 | 0.484 | 0.408 | 0.317 |
| 变异来源 Source of variation | | | | | P 值 P-value | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.138 9 | 0.414 9 | 0.957 1 | 0.909 2 | 0.508 6 | 0.294 7 | 0.894 7 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.349 4 | 0.011 3 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 |
| 磷源 × 磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.571 7 | 0.643 8 | 0.630 8 | 0.920 5 | 0.510 4 | 0.371 8 | 0.523 4 |

2.1.3 平均日采食量

由表 5 可见,磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡 ADFI 无显著影响 ($P > 0.05$)。磷源对蛋鸡 ADFI 有一定影响,从全期来看,DCP 组蛋鸡 ADFI 低于 MDCP 组,接近显著水平 ($P = 0.0700$);从各阶段来看,DCP 组蛋鸡 ADFI 均低于 MDCP 组,且随试验时间的延长,差距逐渐增大,在 21~24 周差异达到显著水平 ($P = 0.0054$)。磷水平显著影

响蛋鸡的 ADFI,从全期来看,基础组蛋鸡 ADFI 最低 [103.1 g/(只·d)],与其他磷水平组差异显著 ($P < 0.05$);随磷水平增加,ADFI 提高,在 0.20% 磷水平时达到最高,与 0~0.10% 磷水平组差异显著 ($P < 0.05$);0.05% 磷水平组与其他磷水平组差异显著 ($P < 0.05$);0.15%~0.30% 磷水平组蛋鸡 ADFI 无显著差异 ($P > 0.05$)。从各阶段来看,从试验 1~4 周开始到试验结束,基础组蛋鸡 ADFI

逐渐降低,且显著低于其他磷水平组($P < 0.05$),而0.05%磷水平组蛋鸡 ADFI 显著低于0.10%~0.30%磷水平组(9~12周除外)($P < 0.05$);

0.10%磷水平组蛋鸡在试验1~4周、9~12周、13~16周、21~24周 ADFI 均显著低于0.20%磷水平组($P < 0.05$)。

表5 磷源和磷水平对蛋鸡平均日采食量的影响

Table 5 Effects of phosphorus source and level on ADFI of laying hens

g/(只·d)

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 1~4周 1 to 4 week | 5~8周 5 to 8 week | 9~12周 9 to 12 week | 13~16周 13 to 16 week | 17~20周 17 to 20 week | 21~24周 21 to 24 week | 1~24周 1 to 24 week |
|---|---|------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| 水平效应 Level effect | 0 | 110.8 ^c | 110.2 ^c | 108.0 ^d | 103.3 ^d | 92.3 ^c | 89.1 ^d | 103.1 ^d |
| | 0.05 | 112.1 ^c | 115.4 ^b | 117.5 ^c | 118.0 ^c | 113.2 ^b | 111.2 ^c | 114.6 ^c |
| | 0.10 | 115.0 ^b | 118.4 ^a | 118.6 ^{bc} | 120.7 ^b | 117.4 ^a | 114.1 ^b | 117.6 ^b |
| | 0.15 | 115.8 ^{ab} | 120.3 ^a | 121.4 ^{ab} | 123.2 ^{ab} | 119.6 ^a | 116.0 ^{ab} | 119.5 ^{ab} |
| | 0.20 | 117.4 ^a | 119.6 ^a | 122.9 ^a | 124.1 ^a | 120.4 ^a | 117.5 ^a | 120.3 ^a |
| | 0.25 | 116.5 ^{ab} | 118.8 ^a | 120.2 ^{abc} | 122.4 ^{ab} | 118.4 ^a | 115.7 ^{ab} | 118.8 ^{ab} |
| SEM | | 0.662 | 0.946 | 0.993 | 0.895 | 1.109 | 0.788 | 0.638 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 115.3 | 117.9 | 118.9 | 119.6 | 115.0 | 112.3 ^a | 116.7 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 114.5 | 117.3 | 118.1 | 118.9 | 113.5 | 110.6 ^b | 115.7 |
| SEM | | 0.354 | 0.505 | 0.531 | 0.479 | 0.593 | 0.421 | 0.365 |
| 变异来源 Source of variation | | P 值 P-value | | | | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.114 5 | 0.409 7 | 0.262 8 | 0.287 3 | 0.085 2 | 0.005 4 | 0.070 0 |
| 磷水平 Phosphorus level | | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 |
| 磷源×磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.758 8 | 0.722 6 | 0.741 2 | 0.470 1 | 0.943 4 | 0.347 9 | 0.779 8 |

2.1.4 平均蛋重

由表6可见,磷源、磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡平均蛋重无显著影响($P > 0.05$)。从全期来看,磷水平显著影响蛋鸡平均蛋重($P < 0.05$),基础组蛋鸡平均蛋重最低(59.4 g),与其他磷水平组差异显著($P < 0.05$);随着磷水平的提高,平均蛋重呈先升高后降低的趋势,0.20%磷水平组蛋鸡平均蛋重最高(61.0 g),显著高于0.10%和0.30%磷水平组($P < 0.05$)。从各阶段来看,从17~20周开始,基础组蛋鸡平均蛋重显著低于其他磷水平组($P < 0.05$)。

2.1.5 料蛋比

由表7可见,磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡料蛋比无显著影响($P > 0.05$),在1~4周,MDCP组蛋鸡料蛋比显著高于DCP组($P < 0.05$),但其他阶段无显著差异($P > 0.05$)。磷水平显著影响试验全期的料蛋比,基础组蛋鸡的料蛋比最高(2.24),与其他磷水平组差异显著($P <$

0.05);而其他磷水平组之间无显著差异($P > 0.05$)。从各阶段来看,除5~8周、9~12周外,磷水平均显著影响其他阶段的料蛋比,与全期料蛋比表现趋势相同(除1~4周外),主要表现为:基础组蛋鸡料蛋比最高,与其他磷水平组差异显著($P < 0.05$)。随着试验期的延长,基础组蛋鸡料蛋比不断增加,而其他磷水平组则趋于下降。

2.1.6 死亡率

由表8可见,磷源、磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡死亡率无显著影响($P > 0.05$),但DCP组蛋鸡死亡率高于MDCP,接近显著水平($P = 0.075 0$)。磷水平显著影响蛋鸡死亡率($P < 0.05$),基础组蛋鸡死亡率最高(3.34%),显著高于0.20%和0.25%磷水平组($P < 0.05$);其他磷水平组蛋鸡的死亡率无显著差异($P > 0.05$)。随着磷水平的提高,蛋鸡死亡率下降,0.20%和0.25%磷水平组蛋鸡未出现死亡,但0.30%磷水平组蛋鸡又开始出现死亡。

表 6 不同磷源和磷水平对蛋鸡平均蛋重的影响

Table 6 Effects of phosphorus source and level on average egg weight of laying hens

g

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 1~4 周 1 to 4 week | 5~8 周 5 to 8 week | 9~12 周 9 to 12 week | 13~16 周 13 to 16 week | 17~20 周 17 to 20 week | 21~24 周 21 to 24 week | 1~24 周 1 to 24 week |
|---|---|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 水平效应 Level effect | 0 | 57.2 | 59.8 | 60.2 ^c | 61.0 | 59.8 ^b | 59.3 ^b | 59.4 ^c |
| | 0.05 | 57.1 | 60.0 | 61.1 ^{ab} | 61.5 | 61.4 ^a | 61.7 ^a | 60.4 ^{ab} |
| | 0.10 | 57.1 | 60.1 | 60.9 ^{bc} | 61.4 | 61.4 ^a | 61.5 ^a | 60.3 ^b |
| | 0.15 | 57.4 | 60.4 | 61.2 ^{ab} | 61.7 | 61.7 ^a | 61.9 ^a | 60.6 ^{ab} |
| | 0.20 | 57.6 | 60.6 | 61.9 ^a | 62.3 | 62.1 ^a | 62.2 ^a | 61.0 ^a |
| | 0.25 | 57.1 | 60.0 | 60.9 ^{bc} | 61.4 | 61.7 ^a | 61.7 ^a | 60.4 ^{ab} |
| | 0.30 | 56.9 | 59.8 | 60.7 ^{bc} | 61.4 | 61.5 ^a | 61.5 ^a | 60.2 ^b |
| SEM | | 0.218 | 0.243 | 0.296 | 0.279 | 0.274 | 0.283 | 0.231 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 57.2 | 60.2 | 61.1 | 61.7 | 61.5 | 61.5 | 60.4 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 57.1 | 60.0 | 60.9 | 61.4 | 61.3 | 61.3 | 60.2 |
| SEM | | 0.117 | 0.130 | 0.158 | 0.149 | 0.147 | 0.151 | 0.123 |
| 变异来源 Source of variation | | | | | P 值 P-value | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.575 0 | 0.182 5 | 0.363 5 | 0.079 1 | 0.284 1 | 0.365 0 | 0.190 1 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.273 2 | 0.125 1 | 0.009 7 | 0.070 7 | <0.000 1 | <0.000 1 | 0.000 8 |
| 磷源×磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.776 9 | 0.633 4 | 0.851 1 | 0.449 7 | 0.202 6 | 0.262 9 | 0.488 1 |

表 7 不同磷源和磷水平对料蛋比的影响

Table 7 Effects of phosphorus source and level on feed/egg ratio of laying hens

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 1~4 周 1 to 4 week | 5~8 周 5 to 8 week | 9~12 周 9 to 12 week | 13~16 周 13 to 16 week | 17~20 周 17 to 20 week | 21~24 周 21 to 24 week | 1~24 周 1 to 24 week |
|---|---|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 水平效应 Level effect | 0 | 2.05 ^c | 2.09 | 2.17 | 2.32 ^a | 2.54 ^a | 2.62 ^a | 2.24 ^a |
| | 0.05 | 2.07 ^{bc} | 2.07 | 2.06 | 2.05 ^b | 1.99 ^b | 1.97 ^b | 2.04 ^b |
| | 0.10 | 2.09 ^{abc} | 2.09 | 2.08 | 2.07 ^b | 2.02 ^b | 1.99 ^b | 2.06 ^b |
| | 0.15 | 2.09 ^{abc} | 2.12 | 2.12 | 2.09 ^b | 2.05 ^b | 2.00 ^b | 2.08 ^b |
| | 0.20 | 2.13 ^a | 2.07 | 2.07 | 2.08 ^b | 2.02 ^b | 1.99 ^b | 2.06 ^b |
| | 0.25 | 2.13 ^{ab} | 2.13 | 2.13 | 2.13 ^b | 2.04 ^b | 2.02 ^b | 2.10 ^b |
| | 0.30 | 2.15 ^a | 2.12 | 2.08 | 2.09 ^b | 2.03 ^b | 2.03 ^b | 2.09 ^b |
| SEM | | 0.018 | 0.025 | 0.029 | 0.026 | 0.039 | 0.035 | 0.020 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 2.12 ^a | 2.11 | 2.11 | 2.13 | 2.10 | 2.09 | 2.09 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 2.08 ^b | 2.08 | 2.10 | 2.11 | 2.10 | 2.09 | 2.09 |
| SEM | | 0.010 | 0.014 | 0.016 | 0.014 | 0.021 | 0.019 | 0.019 |
| 变异来源 Source of variation | | | | | P 值 P-value | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.023 0 | 0.103 7 | 0.521 1 | 0.406 0 | 0.745 6 | 0.763 4 | 0.229 6 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.004 2 | 0.430 3 | 0.126 0 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 |
| 磷源×磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.187 2 | 0.191 7 | 0.607 5 | 0.699 0 | 0.808 7 | 0.892 1 | 0.258 6 |

表 8 磷源和磷水平对蛋鸡死亡率的影响

Table 8 Effects of phosphorus source and level on mortality of laying hens

%

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level /% | 死亡率 Mortality |
|---|---------------------------------------|-----------------------------|
| | 0 | 3.34 ^a |
| | 0.05 | 1.11 ^{ab} |
| 水平效应 Level effect | 0.10 | 2.22 ^{ab} |
| | 0.15 | 2.22 ^{ab} |
| | 0.20 | 0.00 ^b |
| | 0.25 | 0.00 ^b |
| | 0.30 | 1.67 ^{ab} |
| SEM | | 0.814 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 0.95 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 2.06 |
| SEM | | 0.435 |
| 变异来源 Source of variation | | <i>P</i> 值 <i>P</i> -values |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.075 0 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.044 8 |
| 磷源 × 磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.377 9 |

2.2 蛋壳质量

2.2.1 破蛋率

由表 9 可见,磷源、磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡破蛋率无显著影响 ($P > 0.05$)。磷水平显著影响试验全期破蛋率 ($P < 0.05$),基础组蛋鸡破蛋率最高 (0.82%),与其他磷水平组差异显著

($P < 0.05$);而其他磷水平组之间无显著差异 ($P > 0.05$)。从试验阶段来看,磷水平从 13 ~ 16 周开始显著影响破蛋率 ($P < 0.05$),除在 13 ~ 16 周与 0.15% 组无显著差异 ($P > 0.05$) 外,基础组蛋鸡破蛋率均显著高于其他磷水平组 ($P < 0.05$)。随着试验期的延长,基础组蛋鸡破蛋率逐渐升高。

表 9 磷源和磷水平对蛋鸡破蛋率的影响

Table 9 Effects of phosphorus source and level on cracked and broken egg percentage of laying hens

%

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level /% | 1 ~ 4 周 1 to 4 week | 5 ~ 8 周 5 to 8 week | 9 ~ 12 周 9 to 12 week | 13 ~ 16 周 13 to 16 week | 17 ~ 20 周 17 to 20 week | 21 ~ 24 周 21 to 24 week | 1 ~ 24 周 1 to 24 week |
|--|---------------------------------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | 0 | 0.34 | 0.47 | 0.61 | 1.17 ^a | 1.52 ^a | 1.57 ^a | 0.82 ^a |
| | 0.05 | 0.50 | 0.34 | 0.39 | 0.20 ^b | 0.23 ^b | 0.51 ^b | 0.36 ^b |
| 水平效应 Level effect | 0.10 | 0.26 | 0.25 | 0.32 | 0.31 ^b | 0.36 ^b | 0.51 ^b | 0.33 ^b |
| | 0.15 | 0.43 | 0.22 | 0.44 | 0.68 ^{ab} | 0.32 ^b | 0.57 ^b | 0.44 ^b |
| | 0.20 | 0.30 | 0.18 | 0.24 | 0.33 ^b | 0.30 ^b | 0.63 ^b | 0.32 ^b |
| | 0.25 | 0.25 | 0.28 | 0.49 | 0.34 ^b | 0.31 ^b | 0.53 ^b | 0.36 ^b |
| | 0.30 | 0.31 | 0.16 | 0.25 | 0.27 ^b | 0.41 ^b | 0.16 ^b | 0.26 ^b |
| SEM | | 0.108 | 0.084 | 0.121 | 0.199 | 0.195 | 0.284 | 0.089 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 0.37 | 0.27 | 0.43 | 0.48 | 0.54 | 0.42 | 0.34 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 0.31 | 0.28 | 0.35 | 0.46 | 0.44 | 0.41 | 0.50 |
| SEM | | 0.058 | 0.045 | 0.065 | 0.107 | 0.104 | 0.047 | 0.108 |
| 变异来源 Source of variation | | <i>P</i> 值 <i>P</i> -value | | | | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.499 7 | 0.873 1 | 0.358 7 | 0.884 8 | 0.499 7 | 0.403 7 | 0.820 6 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.639 6 | 0.168 8 | 0.285 0 | 0.012 7 | 0.000 1 | 0.037 6 | 0.000 7 |
| 磷源 × 磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.985 6 | 0.610 5 | 0.240 5 | 0.674 0 | 0.986 8 | 0.873 3 | 0.996 4 |

2.2.2 软壳蛋率

由表 10 可见,磷源、磷源与磷水平的互作对蛋鸡软壳蛋率无显著影响($P > 0.05$),但磷水平显著影响 17~20 周蛋鸡的软壳蛋率,基础组蛋鸡软

壳蛋率显著高于其他磷水平组($P < 0.05$),而其他磷水平组之间差异不显著($P > 0.05$);磷水平对 21~24 周软壳蛋率的影响接近显著水平($P = 0.0583$)。

表 10 磷源和磷水平对蛋鸡软壳蛋率的影响

Table 10 Effects of phosphorus source and level on soft-shell egg percentage of laying hens

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 1~4 周 1 to 4 week | 5~8 周 5 to 8 week | 9~12 周 9 to 12 week | 13~16 周 13 to 16 week | 17~20 周 17 to 20 week | 21~24 周 21 to 24 week | 1~24 周 1 to 24 week |
|---|---|-------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 水平效应 Level effect | 0 | 0.09 | 0.14 | 0.40 | 0.47 | 1.08 ^a | 0.72 | 0.41 |
| | 0.05 | 0.15 | 0.04 | 0.39 | 0.25 | 0.03 ^b | 0.08 | 0.16 |
| | 0.10 | 0.04 | 0.28 | 0.58 | 0.91 | 0.29 ^b | 0.65 | 0.45 |
| | 0.15 | 0.06 | 0.18 | 1.01 | 0.49 | 0.33 ^b | 0.35 | 0.40 |
| | 0.20 | 0.24 | 0.23 | 0.11 | 0.20 | 0.21 ^b | 0.32 | 0.22 |
| | 0.25 | 0.06 | 0.18 | 0.45 | 0.63 | 0.32 ^b | 0.12 | 0.31 |
| SEM | 0.30 | 0.06 | 0.02 | 0.67 | 0.34 | 0.26 ^b | 0.13 | 0.25 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 0.13 | 0.21 | 0.51 | 0.54 | 0.40 | 0.30 | 0.34 |
| SEM | 磷酸氢钙 DCP | 0.07 | 0.09 | 0.52 | 0.40 | 0.32 | 0.41 | 0.29 |
| SEM | | 0.031 | 0.047 | 0.143 | 0.157 | 0.080 | 0.090 | 0.060 |
| 变异来源 Source of variation | | | | | <i>P</i> 值 <i>P</i> -value | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.194 8 | 0.077 9 | 0.964 5 | 0.539 1 | 0.493 9 | 0.411 4 | 0.544 3 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.212 1 | 0.371 6 | 0.382 5 | 0.663 6 | 0.000 3 | 0.058 3 | 0.475 1 |
| 磷源 × 磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.648 5 | 0.818 4 | 0.455 6 | 0.552 2 | 0.9027 | 0.633 6 | 0.606 5 |

2.2.3 畸形蛋率

由表 11 可见,磷源、磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡畸形蛋率无显著影响($P > 0.05$)。磷水平显著影响试验全期蛋鸡的畸形蛋率($P < 0.05$),以基础组最高(5.04%),与其他磷水平组差异显著($P < 0.05$),而其他磷水平组之间无显著差异($P > 0.05$)。从各阶段来看,随着试验期的延长,基础组蛋鸡的畸形蛋率不断升高,特别在 17~20 周和 21~24 周急剧增加,与其他磷水平组差异显著($P < 0.05$)。

2.2.4 蛋壳强度和蛋壳厚度

由表 12 可见,磷源、磷源与磷水平的互作效应对蛋鸡蛋壳强度无显著影响($P > 0.05$)。试验第 16 周和第 20 周,基础组蛋鸡蛋壳强度最低,与其他磷水平组差异显著($P < 0.05$),而其他磷水平组之间差异不显著($P > 0.05$),试验第 16 周,0.20% 磷水平组蛋鸡蛋壳强度显著低于 0.15% 和 0.30% 磷水平组($P < 0.05$)。

由表 13 可见,磷源、磷水平以及磷源与磷水平的互作对蛋壳厚度无显著影响($P > 0.05$)。

3 讨论

3.1 磷源对蛋鸡生产性能和蛋壳质量的影响

不同磷源的生产工艺、理化性质可能影响其对动物的生物学效价。陈晓春等^[6]在蛋鸡上的研究显示,以磷酸二氢钾(MPP)为标准物,磷源的相对生物学效价从大到小依次为:MDCP、DCP、磷酸二氢钙(MCP)、MPP,表明 MDCP 和 DCP 都是蛋鸡饲料较好的磷源。Sconberg 等^[7]比较研究了四种磷酸盐对蛋鸡的相对生物学效价,以磷酸二氢钠(NaH_2PO_4)为标准物,试剂级磷酸氢钙、饲料级磷酸氢钙和脱氟磷酸盐的相对生物学效价依次为:93%、72% 和 45%。Said 等^[5]研究表明,以 DCP 和粗制颗粒磷酸盐作为磷源,蛋壳质量无显著差异。Roland 等^[8]发现 DCP、脱氟磷酸盐和肉骨粉显著影响蛋鸡的产蛋率和血液生化指标,对

蛋比重无显著影响。Vandepopuliere 等^[9]研究发现,以 DCP 和脱氟磷酸盐作为磷源,蛋比重、破壳蛋率、软壳蛋率和畸形蛋率无显著差异。本试验结果表明,MDCP 可显著提高试验后期(21~24

周)蛋鸡的 ADFI,但试验全期以 MDCP 为磷源的蛋鸡生产性能和蛋壳质量与以 DCP 为磷源的蛋鸡无显著差异,说明 MDCP 可以替代 DCP。

表 11 磷源和磷水平对蛋鸡畸形蛋率的影响

Table 11 Effects of phosphorus source and level on abnormal egg percentage of laying hens

%

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 1~4 周 1 to 4 week | 5~8 周 5 to 8 week | 9~12 周 9 to 12 week | 13~16 周 13 to 16 week | 17~20 周 17 to 20 week | 21~24 周 21 to 24 week | 1~24 周 1 to 24 week |
|---|---|----------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | 0 | 1.48 | 0.97 | 1.47 | 1.99 | 11.49 ^a | 24.12 ^a | 5.04 ^a |
| | 0.05 | 1.17 | 0.81 | 0.72 | 1.17 | 0.68 ^b | 0.91 ^b | 0.91 ^b |
| 水平效应 Level effect | 0.10 | 0.95 | 1.05 | 1.03 | 0.82 | 0.64 ^b | 0.66 ^b | 0.87 ^b |
| | 0.15 | 1.31 | 0.76 | 0.69 | 0.77 | 0.07 ^b | 0.68 ^b | 0.74 ^b |
| | 0.20 | 1.21 | 0.81 | 0.40 | 0.85 | 0.55 ^b | 0.63 ^b | 0.76 ^b |
| | 0.25 | 1.19 | 0.71 | 0.63 | 1.03 | 0.63 ^b | 0.82 ^b | 0.85 ^b |
| | 0.30 | 1.19 | 0.99 | 0.57 | 0.65 | 0.58 ^b | 0.63 ^b | 0.79 ^b |
| SEM | | 0.295 | 0.298 | 0.278 | 0.401 | 1.603 | 1.499 | 0.407 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 1.27 | 0.95 | 0.88 | 1.13 | 2.05 | 1.46 | 1.48 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 1.16 | 0.79 | 0.70 | 0.94 | 2.13 | 1.39 | 1.17 |
| SEM | | 0.158 | 0.160 | 0.148 | 0.214 | 0.857 | 0.217 | 0.30 |
| 变异来源 Source of variation | | <i>P</i> 值 <i>P</i> -value | | | | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.638 1 | 0.469 6 | 0.379 4 | 0.536 9 | 0.949 4 | 0.856 4 | 0.821 8 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.938 7 | 0.977 2 | 0.145 4 | 0.279 8 | <0.000 1 | <0.000 1 | <0.000 1 |
| 磷源×磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.626 9 | 0.566 4 | 0.945 2 | 0.455 2 | 1.000 0 | 0.999 8 | 0.980 0 |

表 12 磷源和磷水平对蛋鸡蛋壳强度的影响

Table 12 Effects of phosphorus source and level on eggshell strength of laying hens

kg/cm²

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 第 4 周 Week 4 | 第 8 周 Week 8 | 第 12 周 Week 12 | 第 16 周 Week 16 | 第 20 周 Week 20 | 第 24 周 Week 24 | |
|---|---|----------------------------|-----------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|--|
| | 0 | 4.654 | 5.184 | 5.315 | 4.542 ^c | 4.554 ^b | 4.443 | |
| | 0.05 | 4.740 | 5.512 | 4.990 | 5.107 ^{ab} | 4.882 ^a | 4.825 | |
| 水平效应 Level effect | 0.10 | 4.752 | 5.450 | 5.061 | 5.097 ^{ab} | 5.024 ^a | 4.673 | |
| | 0.15 | 4.750 | 5.607 | 5.036 | 5.194 ^a | 4.943 ^a | 4.587 | |
| | 0.20 | 4.667 | 5.547 | 5.249 | 4.905 ^b | 5.029 ^a | 4.790 | |
| | 0.25 | 4.685 | 5.662 | 5.314 | 5.030 ^{ab} | 4.889 ^a | 4.766 | |
| | 0.30 | 4.767 | 5.728 | 5.493 | 5.300 ^a | 5.064 ^a | 4.838 | |
| SEM | | 0.146 | 0.208 | 0.168 | 0.089 | 0.092 | 0.312 | |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 4.746 | 5.514 | 5.168 | 5.015 | 4.910 | 4.749 | |
| | 磷酸氢钙 DCP | 4.686 | 5.554 | 5.248 | 5.036 | 4.915 | 4.658 | |
| SEM | | 0.078 | 0.111 | 0.090 | 0.047 | 0.049 | 0.059 | |
| 变异来源 Source of variation | | <i>P</i> 值 <i>P</i> -value | | | | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.590 4 | 0.793 1 | 0.534 0 | 0.754 9 | 0.941 7 | 0.281 5 | |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.996 3 | 0.644 2 | 0.317 6 | <0.000 1 | 0.003 9 | 0.120 2 | |
| 磷源×磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.298 8 | 0.447 8 | 0.743 7 | 0.288 5 | 0.361 9 | 0.396 3 | |

表 13 磷源和磷水平对蛋鸡蛋壳厚度的影响

Table 13 Effects of phosphorus source and level on eggshell thickness of laying hens

mm

| 项目 Items | NPP 添加水平 NPP supplemental level/% | 第 4 周 Week 4 | 第 8 周 Week 8 | 第 12 周 Week 12 | 第 16 周 Week 16 | 第 20 周 Week 20 | 第 24 周 Week 24 |
|--|---|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 水平效应 Level effect | 0 | 0.382 | 0.350 | 0.365 | 0.345 | 0.340 | 0.383 |
| | 0.05 | 0.380 | 0.361 | 0.356 | 0.365 | 0.353 | 0.370 |
| | 0.10 | 0.373 | 0.367 | 0.357 | 0.368 | 0.350 | 0.366 |
| | 0.15 | 0.380 | 0.361 | 0.361 | 0.360 | 0.370 | 0.371 |
| | 0.20 | 0.375 | 0.369 | 0.356 | 0.350 | 0.358 | 0.366 |
| | 0.25 | 0.369 | 0.364 | 0.359 | 0.360 | 0.346 | 0.378 |
| | 0.30 | 0.376 | 0.359 | 0.358 | 0.357 | 0.351 | 0.376 |
| SEM | | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.008 | 0.009 | 0.008 |
| 源效应 Source effect | 磷酸一二钙 MDCP | 0.375 | 0.363 | 0.358 | 0.359 | 0.356 | 0.375 |
| | 磷酸氢钙 DCP | 0.378 | 0.360 | 0.360 | 0.357 | 0.350 | 0.371 |
| SEM | | 0.002 | 0.003 | 0.002 | 0.005 | 0.005 | 0.004 |
| 变异来源 Source of variation | | P 值 P-value | | | | | |
| 磷源 Phosphorus source | | 0.244 9 | 0.452 5 | 0.392 8 | 0.800 4 | 0.355 1 | 0.460 9 |
| 磷水平 Phosphorus level | | 0.343 2 | 0.266 6 | 0.634 7 | 0.497 2 | 0.313 2 | 0.626 2 |
| 磷源 × 磷水平 Phosphorus source × phosphorus level | | 0.161 0 | 0.399 2 | 0.922 0 | 0.925 4 | 0.635 9 | 0.722 2 |

3.2 磷水平对蛋鸡生产性能的影响

Vandepopuliere 等^[9]研究表明,与 0.3% 的 NPP 相比,饲料 NPP 水平为 0.2% 时蛋鸡产蛋率、采食量和平均蛋重显著降低。马霞等^[10]研究表明,与 NPP 水平为 0.19% ~ 0.27% 相比,0.11% 和 0.15% NPP 饲料显著降低蛋鸡的产蛋率、耗料量和平均蛋重,显著提高料蛋比。本试验结果与前人研究结果一致,从试验全期来看,不添加 NPP 的基础饲料(NPP 为 0.12%)组蛋鸡的产蛋率、产蛋量、平均蛋重显著低于添加 0.05% ~ 0.30% NPP 组。产蛋率的降低与采食量和饲料利用率降低有关。

本试验结果表明,基础组蛋鸡的 ADFI 显著低于其他磷水平组,而料蛋比则显著高于其他磷水平组,随磷水平的提高,ADFI 呈二次曲线效应。Miles 等^[11]研究表明,与 0.23% ~ 2.30% 的总磷相比,饲料总磷水平为 0.17% 时,蛋鸡 ADFI 显著降低,添加 0.10% 无机磷之后,蛋鸡 ADFI 显著升高。Gordon 等^[12]和 Sohail 等^[4]研究表明,随着磷摄入量的提高,蛋鸡采食量不断提高,并具有线性或二次曲线效应。朱连勤^[13]研究表明,蛋鸡有效磷水平从 0.08% 上升到 0.25% 时,ADFI 呈线性升高($R^2 = 0.952 2, P < 0.05$)。

本试验发现,基础组蛋鸡的平均日产蛋率从第 5 ~ 8 周(第 7 周开始)即显著低于其他磷水平组,并随着试验期的延长,降低程度增加,这可能与低磷饲料引起蛋鸡磷摄入量下降、体内磷耗竭有关。Sohail 等^[4]研究显示,饲喂 0.10% NPP 饲料时,蛋鸡产蛋率在试验第 12 周急剧降低,随着饲料 NPP 水平从 0.10% 升高到 0.70%,产蛋率呈线性上升。Gordon 等^[12]研究显示,饲料 NPP 水平为 0.10% 时,蛋鸡产蛋率从第 11 周开始显著降低,随着磷水平的提高,蛋鸡产蛋率呈线性或二次曲线关系上升。蛋鸡采食低磷饲料时,体内磷耗竭时间取决于基础饲料磷水平及产蛋率高低^[4]。

平均日产蛋量的降低为产蛋率和平均蛋重降低的综合效应。Miles 等^[11]研究显示,随着饲料磷水平从 0.17% 升高到 2.50%,产蛋率、平均蛋重和平均日产蛋量均先升高后降低。本试验也表明随着饲料 NPP 的升高,平均蛋重呈先升高后降低的趋势。但是 Gordon 等^[12]和 Sohail 等^[4]研究表明,随着饲料磷水平的升高,平均蛋重呈显著地线性降低,其机制尚不清楚,可能是由于蛋鸡产蛋率升高导致鸡蛋体积变小,重量变轻。

本试验发现,饲喂低磷(基础组,磷添加水平为 0)饲料,蛋鸡死亡率显著上升,随着磷水平的升

高,蛋鸡死亡率呈现先降低后又升高的趋势。Sohail等^[4]研究发现,与0.20%~0.70%的饲料NPP水平相比,0.10%和0.15%的饲料NPP水平显著提高了蛋鸡死亡率。Usayran等^[14]试验也具有相似的结果,当饲料NPP水平降低到0.05%~0.12%时,蛋鸡死亡率显著升高。而饲料低磷会导致骨量减少,进一步引起严重的骨质疏松^[15],而钙、磷的不断耗竭在导致骨质疏松的同时也会引起蛋鸡死亡率升高^[16]。低磷饲料还会引起肾脏中钙排泄的增加,进而引起肾脏功能受到损害^[17]。综合以上研究表明,磷水平对蛋鸡死亡率的影响,可能是由于不适宜的钙磷比例引起了钙、磷的吸收减少,从而导致了蛋鸡骨骼质量下降,影响了蛋鸡的正常采食和饮水,最终引起了整个代谢系统的紊乱(主要是肾脏),最后导致蛋鸡死亡。

3.3 磷水平对蛋鸡蛋壳质量的影响

本试验结果表明,低磷饲料显著提高了蛋鸡破壳蛋率和畸形蛋率,显著降低了蛋壳强度。这与Vandepopuliere等^[9]、雷乔波^[18]的研究结果相似。

虽然在蛋壳的无机成分中,磷含量不到1%,但对于防止蛋壳的破损起着重要作用。研究认为,适当降低饲料磷水平可以提高蛋品质,而过高和过低的饲料磷水平都对蛋壳质量有影响^[19]。马霞等^[10]比较了0.11%~0.27%的5个饲料NPP水平对蛋壳质量的影响,结果表明,0.19%的饲料NPP水平显著提高了蛋壳厚度和蛋壳重。Klingensmith等^[20]研究表明,与0.3%~0.7%的有效磷相比,饲料有效磷水平为0.9%对蛋比重和硬壳蛋产量没有影响,而降低到0.1%时,显著降低了硬壳蛋的产量。低磷影响蛋壳质量可能是低磷影响了蛋鸡对钙的吸收,从而使子宫蛋壳腺分泌的钙减少。但也有研究发现饲料磷水平对蛋壳质量无影响。Keshavarz^[21]研究发现,饲料NPP水平为0.11%、0.21%和0.41%时,蛋鸡蛋壳重量和蛋壳比例没有显著差异。Park等^[22]研究表明,饲料磷水平分别为0.3%和0.4%时,蛋鸡蛋壳强度和蛋壳厚度没有差异。本试验结果也发现饲料NPP添加水平从0增加到0.30%对蛋壳厚度没有显著影响。

3.4 蛋鸡适宜磷添加水平的研究

Roland^[3]报道,来航鸡对无机磷的需要量在40年时间里不断下降。NRC(1994)以产蛋率为

指标,推荐21~51周龄白来航蛋鸡产蛋高峰期每天每只蛋鸡磷的需要量为250 mg^[4]。在不断地研究中,人们发现蛋鸡的磷需要量可能低于NRC(1994)的推荐量^[12]。Rao等^[16]报道,蛋鸡饲料磷的添加水平变异很大。罗绪刚等^[23]研究表明,20~40周龄的中型褐壳蛋鸡饲料NPP水平以0.20%为宜。Snow等^[24]研究表明,饲料中NPP水平为0.14%时的蛋鸡生产性能与0.45%时相比没有差异。Usayran等^[14]对玉米-高粱型饲料的研究认为,0.12%的有效磷就已经能够满足蛋鸡的需要。

蛋鸡换羽前后磷需要量存在差异。Snow等^[24]研究表明,在强制换羽前的产蛋期内,蛋鸡的磷需要量应为0.18%(198 mg/d),在强制换羽后的产蛋阶段磷的需要量应为0.20%(209 mg/d)。Pelicia等^[25]研究表明,在换羽后,0.25%的有效磷水平就可以满足中型蛋鸡维持较好生产性能和品质对磷的需要。

Sohail等^[4]的研究表明,以不同生产性能指标来研究蛋鸡磷的需要量有很大的变异。Hurwitz等^[26]以磷的平衡状态为指标的研究表明,蛋鸡磷的需要量为每天每只240~260 mg。本试验结果表明,添加0.05%~0.30%的NPP蛋鸡平均日产蛋率和料蛋比无显著差异,而使平均日产蛋量无显著差异的NPP添加水平是0.10%~0.30%。在基础饲料(NPP为0.12%)中添加0.10%NPP,即添加0.48%的MDCP,按采食量117.6 g计,每天NPP摄入量为259 mg,对平均日产蛋率、产蛋量、料蛋比以及蛋壳质量无显著影响,可以满足蛋鸡的磷需要量,这与NRC(1994)推荐量接近。

4 结论

① MDCP可作为蛋鸡饲料的无机磷源,饲喂效果与DCP相当。

② 基础饲料(NPP为0.12%)显著降低25~49周龄蛋鸡的生产性能和蛋壳质量。

③ 添加0.05%~0.30%NPP可显著改善蛋鸡的生产性能和蛋壳质量;综合各项指标,蛋鸡(25~49周龄)玉米-豆粕型饲料中适宜的MDCP添加量为0.48%,适宜的NPP水平为0.22%。

参考文献:

[1] 韩进诚,王玉玲,王家庆,等.家禽磷营养研究进展

- 与应用[J]. 饲料工业, 2009, 30(15): 7-9.
- [2] SUMMERS J. Reduced dietary phosphorus levels for layers[J]. Poultry Science, 1995, 74(12): 1977-1984.
- [3] ROLAND D A. Egg shell quality III. Calcium and phosphorus requirements of commercial leghorns[J]. World's Poultry Science Journal, 1986, 42(2): 154-165.
- [4] SOHAIL S, ROLAND S D. Influence of dietary phosphorus on performance of Hy-Line W36 hens[J]. Poultry Science, 2002, 81(1): 75-83.
- [5] SAID N, SULLIVAN T, SUNDE M, et al. Effect of dietary phosphorus level and source on Productive performance and egg quality of two commercial strains of laying hens[J]. Poultry Science, 1984, 63(10): 2007.
- [6] 陈晓春, 姜光丽, 周光荣. 磷酸一二钙在产蛋鸡配合饲料中的应用研究[J]. 中国家禽, 2007, 29(22): 12-15.
- [7] SCONBERG S, JOHNSTONE B J, KLASING K C. Comparison of phosphorus availability of feed and reagent-grade sources[J]. Poultry Science, 67(Suppl. 1): 152.
- [8] ROLAND S D, RABON H, FROST T, et al. Response of commercial leghorns to sodium aluminosilicate when fed different levels and sources of available phosphorus[J]. Poultry Science, 1990, 69(12): 2157-2164.
- [9] VANDEPOPULIERE J, LYONS J. Effect of inorganic phosphate source and dietary phosphorus level on laying hen performance and eggshell quality[J]. Poultry Science, 1992, 71(6): 1022-1031.
- [10] 马霞, 朱连勤, 朱风华, 等. 低磷日粮对海兰褐蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J]. 畜牧与兽医, 2007, 39(10): 41-43.
- [11] MILES R, COSTA P, HARMS R. The influence of dietary phosphorus level on laying hen performance, egg shell quality, and various blood parameters[J]. Poultry Science, 1983, 62(6): 1033-1039.
- [12] GORDON R, ROLAND S D. Performance of commercial laying hens fed various phosphorus levels, with and without supplemental phytase[J]. Poultry Science, 1997, 76(8): 1172-1180.
- [13] 朱连勤. 不同的日粮磷水平下蛋用鸡生长、骨骼发育、产蛋性能以及植酸酶应用效果的研究[D]. 博士学位论文. 北京: 中国农业大学, 2003: 68-75.
- [14] USAYRAN N, BALNAVE D. Phosphorus requirements of laying hens fed on wheat-based diets[J]. British Poultry Science, 1995, 36(2): 285-301.
- [15] WILSON S, DUFF S. Effects of vitamin or mineral deficiency on the morphology of medullary bone in laying hens[J]. Research in Veterinary Science, 1991, 50(2): 216-221.
- [16] RAO S K, ROLAND D A, ORBAN J I, et al. Age at sexual maturity influences the response of single comb white leghorn pullets to marginal and low levels of dietary phosphorus[J]. The Journal of Nutrition, 1995, 125(5): 1342-1350.
- [17] RIDELL C. Bone biology and skeletal disorders in poultry[M]. Abingdon, UK: Carfax Publishing Co., 1992: 119-145.
- [18] 雷乔波. 植酸酶对产蛋鸡生产性能、骨骼质量及养分利用率的影响[D]. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2010: 50-54.
- [19] 朱晓英, 侯加法. 缺磷日粮对笼养蛋鸡生产性能及内分泌的影响[J]. 中国兽医科技, 2004, 34(1): 62-66.
- [20] KLINGENSMITH P, HESTER P. Phosphorus phase feeding and uterine and isthmus mucosal enzymes and minerals in relation to soft-shelled and shell-less egg production[J]. Poultry Science, 1985, 64(11): 2180-2187.
- [21] KESHAVARZ K. A comparison between cholecalciferol and 25-OH-cholecalciferol on performance and eggshell quality of hens fed different levels of calcium and phosphorus[J]. Poultry Science, 2003, 82(9): 1415-1422.
- [22] PARK K, RHEE A, UM J, et al. Effect of dietary available phosphorus and organic acids on the performance and egg quality of laying hens[J]. The Journal of Applied Poultry Research, 2009, 18(3): 598-605.
- [23] 罗绪刚, 丁保安, 芮于明, 等. 中型褐壳产蛋鸡饲料非植酸磷适宜水平的研究[J]. 畜牧兽医学报, 2002, 33(1): 1-5.
- [24] SNOW J, RAFACZ K, UTTERBACK P, et al. Hy-Line W-36 and Hy-Line W-98 laying hens respond similarly to dietary phosphorus levels[J]. Poultry Science, 2005, 84(5): 757-763.
- [25] PELICIA K, GARCIA E, FAITARONE A, et al. Calcium and available phosphorus levels for laying hens in second production cycle[J]. Revista Brasileira de Ciencia Avícola, 2009, 11(1): 39-49.
- [26] HURWITZ S, GRIMINGER P. Estimation of calci-

um and phosphorus requirement in laying hens by balance techniques[J]. *Journal of the Science of Food*

and Agriculture, 1962, 13(3):185-191.

Effects of Phosphorus Source and Level on Performance and Eggshell Quality of Laying Hens

TAN Zhankun¹ BAI Shiping¹ ZHANG Keying^{1*} DING Xuemei¹ ZENG Qiufeng¹ PENG Xi²

(1. Key Laboratory for Animal Disease-resistance Nutrition of China Ministry of Education, Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China; 2. College of Veterinary Medicine, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

Abstract: The experiment was conducted to investigate the effects of different phosphorus levels from monocalcium phosphate (MDCP) or dicalcium phosphate (DCP) on performance and eggshell quality of laying hens. A completely randomized design involving a 2 × 7 factorial arrangement of treatments was used in this study. Two phosphorus sources were MDCP and DCP, and seven phosphorus supplemental levels were 0, 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25% and 0.30%, respectively. A total of 1 170 commercial Lohmann pink-shell laying hens aged 25 weeks were randomly assigned to 13 treatments with 6 replicates each and 15 hens in each replicate. The corn-soybean meal based diet contained 0.12% non-phytate phosphate (NPP) and calcium level of all diets was 3.5%. The experiment lasted for 24 weeks. The results showed as follows: there were no significant interactions between phosphorus source and phosphorus level in the laying performance and eggshell quality ($P > 0.05$). During the whole experimental period, hens fed the basal diet had the lowest average daily egg production, average daily egg mass, average daily feed intake (ADFI) and average egg weight, and the highest feed to egg ratio, cracked or broken, and malformation egg percentage ($P < 0.05$). Phosphorus source and level had no significant effects on eggshell thickness ($P > 0.05$). When hens were fed the diets with NPP supplemental level between 0.05% and 0.30%, there were no significant differences in average daily egg production, feed to egg ratio (except for 1 to 4 weeks), mortality, cracked or broken, soft, and malformation egg percentage ($P > 0.05$). When hens were fed the diets with NPP supplemental level between 0.10% and 0.30%, there were no significant differences in average daily egg mass ($P > 0.05$). With dietary NPP level increasing, average egg weight and ADFI increased firstly, and then decreased. The results indicate that MDCP can completely replace DCP in the diet of laying hens. The suitable NPP level in the corn-soybean meal based diet is 0.22%, and MDCP supplemental level is 0.48% for laying hens aged from 25 to 49 weeks. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2011, 23(10):1684-1696]

Key words: MDCP; DCP; phosphorus level; performance; eggshell quality

* Corresponding author, professor, E-mail: zkeying@sicau.edu.cn