

# 我国蛋鸡营养与饲料研究进展

王晓鹃 林 海\*

(山东农业大学动物科技学院,山东省动物生物工程与疾病防治重点实验室,泰安 271018)

**摘要:** 随着蛋鸡品种选育不断取得新的进展,蛋鸡的生产性能不断提高,商品鸡的淘汰周龄从过去的 72 周龄延长到了现在的 80~90 周龄,蛋鸡的营养需要量也不断发生变化。与此同时,饲料成本持续增加,养殖模式不断升级,消费者对鸡蛋的安全、营养等方面的要求越来越高,养殖业的环保问题凸显并受到极大关注。因此,精确研究蛋鸡的营养需要量,科学配制饲料,对于充分发挥蛋鸡的遗传潜力、促进蛋鸡产业提质增效具有重要意义。本文综述了我国学者近 5 年来在蛋鸡能量、蛋白质与氨基酸、矿物质、维生素等方面所取得的进展,并对未来蛋鸡营养和饲料研究进行了展望。

**关键词:** 蛋鸡;营养;饲料;研究进展;研究展望

**中图分类号:** S831

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2020)10-4602-09

近年来,随着畜牧业的不断发展,畜牧行业存在的一些问题越来越突出,饲料原料匮乏、饲料利用率低以及环境污染问题日趋严重,与此同时,人们对畜产品的安全、营养等方面的期望和要求越来越高,因此蛋鸡营养的研究重点也在随之发生转变。在过去的 5 年间,中国蛋鸡营养研究工作者围绕蛋鸡营养中的重要内容——能量、蛋白质与氨基酸、矿物质、维生素等方面,从原料价值检测、蛋鸡营养需要量、蛋品质量、生态环保、动物福利等宏观方面到营养与生理生化等机制研究上系统深入地开展了诸多研究工作,并取得了显著进展。

## 1 能量

家禽饲料成本的 3/4 与能量有关,能量是影响家禽饲料价值的重要因素。在适温环境下、产蛋率为 100%时,笼养母鸡每产 1 枚蛋需要的代谢能为 1.24 MJ/d。鸡需要的能量主要来自饲料中碳水化合物、脂肪和蛋白质的化学能,其中谷物饲

料含有较多的碳水化合物,占饲料的 70%~80%。准确评估家禽饲料中有效能含量和确定家禽能量需要量,不仅可以确定原料的品质、提高能量利用效率、降低饲料成本,也能够预测家禽的生产性能,更是减少排放的关键。

### 1.1 能量需要量和预测模型

代谢能体系是目前用于家禽饲料原料能值评定的成熟体系,在家禽营养和饲料配方中被广泛使用。但和净能体系相比,代谢能体系降低了不同原料能值评定的准确性,因为它忽略了不同原料成分在家禽摄食和消化过程中的热增耗差异对原料能值评价的影响。因此,近几年家禽营养学界的研究者认为,在家禽饲料配方中使用净能系统具有重要的意义。多种因素会影响净能测定的结果,如蛋鸡品种、饲料成分、蛋鸡的状态、饲养环境、测定方法。班志彬等<sup>[1-2]</sup>利用新型 12 室并联禽用开放回流式呼吸测热装置,测定了海兰褐蛋鸡和吉林芦花鸡的维持净能的需要量分别为 368.79 和 449.24 kJ/(kg BW<sup>0.75</sup>·d),测得不同类

收稿日期:2020-08-05

基金项目:国家自然科学基金项目(31672441);国家重点研发计划(2018YFE0128200);国家现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-40-K09);山东省“双一流”奖补资金;泰山学者项目(201511023)

作者简介:王晓鹃(1983—),女,山东潍坊人,副教授,博士,主要从事家禽营养与饲料科学研究。E-mail: wangxj@sdau.edu.cn

\*通信作者:林海,教授,博士生导师,E-mail: hailin@sdau.edu.cn

型玉米在海兰褐蛋鸡的表观代谢能和净能分别为 15.06~16.19 MJ/kg 和 11.29~12.57 MJ/kg, 新收获且已熟化好的玉米显著优于陈化玉米<sup>[3]</sup>。

能量水平过高会降低鸡的养分利用率。如果能量摄入超出机体的需要量, 多余的能量就会以脂肪形式沉积下来, 导致胴体过肥, 降低饲料原料利用率。大量研究发现, 适宜低能量水平的饲料有利于蛋鸡的生长发育, 提高生产性能以及蛋品质, 研究者建议杂交鸡(罗曼蛋鸡×白羽肉鸡)、海兰蛋鸡和琅琊鸡的饲料能量水平可低至 0~3 周龄 12.20 MJ/kg、4~6 周龄 12.34 MJ/kg、7~9 周龄 12.57 MJ/kg<sup>[4-5]</sup>; 大午粉 1 号商品代蛋雏鸡饲料最适代谢能水平可降至 11.81 MJ/kg<sup>[6]</sup>; 育成期太行鸡饲料适宜代谢能水平为 11.50 MJ/kg<sup>[7]</sup>; “京红 1 号” 蛋种鸡育成期(9~13 周龄) 饲料代谢能水平在 11.70 MJ/kg 较为适宜<sup>[8]</sup>; 饲料能量水平过高(12.10 MJ/kg) 会降低育成期卢氏绿壳蛋鸡的平均日增重<sup>[9]</sup>; 京红蛋鸡产蛋后期的饲料能量水平可降至 10.79 MJ/kg<sup>[10]</sup>。任希艳等<sup>[11]</sup> 研究比较了愈创木酚法、四氮唑盐染色法、酸度指示剂法在鉴定小麦的新陈、是否熟化以及新陈掺杂方面的优劣。

## 1.2 油脂与脂肪酸

油脂是蛋鸡饲料中最常用的能量饲料来源。目前, 饲料中使用的油脂主要有植物油和饲用动物油脂。近几年关于油脂和脂肪酸方面的研究关注点主要在饲料中的油脂类型、品质和配比对蛋鸡生产性能、产品品质、抗病力和抗氧化力等方面的研究, 油脂与饲养环境的互作也日益受到关注。

植物油方面, 研究者关注了亚麻油、菜籽油、棉籽油、红棕油、松籽油及藻类等。普遍认为, 亚麻籽油可提高蛋鸡的抗病力, 促进多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid, PUFA) 在蛋黄中的沉积, 国产亚麻籽效果优于进口亚麻籽<sup>[12]</sup>, 但添加量不能过高, 因为富含  $\omega$ -3 PUFA 的鸡蛋不易贮存<sup>[13-14]</sup>; 菜籽油降低了产蛋性能<sup>[15]</sup>; 未脱毒棉籽油可使蛋品质和质构特性下降<sup>[16-17]</sup>; 红棕油可以显著增强海兰褐蛋鸡的蛋黄颜色, 提高鸡蛋品质, 提高鸡肉中超氧化物歧化酶活性<sup>[18]</sup>; 松籽(含油量 60%~70%) 可以提高蛋鸡的免疫力<sup>[19]</sup>; 裂壶藻细胞中油脂占细胞干重的 70% 以上, 总脂中二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA) 含量高达 35%~40%, 裂壶藻粉可用作生产富含蛋黄

DHA 鸡蛋的饲料添加剂<sup>[20]</sup>。

动物油脂方面, 研究者主要关注了鱼油, 并比较了鱼油与植物油脂的饲喂效果。比如, 蛋的大小方面, 大豆油和椰子油优于鱼油<sup>[21]</sup>; 促进蛋黄 DHA 的沉积方面, 鱼油优于微藻油<sup>[22]</sup>; 在热应激状态下, 添加动物油脂有效缓解蛋鸡采食量下降、体重降低的问题, 其效果优于植物油<sup>[23]</sup>; 亚麻籽上调了脂肪酸延长酶和去饱和酶基因的表达, 促进肝脏  $\alpha$ -亚麻酸转化生成 DHA, 而添加鱼油显示相反结果<sup>[24]</sup>; 但马明等<sup>[25]</sup> 发现不同来源油脂饲料对蛋鸡的生产性能和蛋品质无显著影响。

脂肪酸方面, 研究发现共轭亚油酸(conjugated linoleic acid, CLA) 改善蛋壳质量、促进蛋黄富集 CLA<sup>[26]</sup>。母体 CLA 通过腺苷酸活化蛋白激酶(AMP-activated protein kinase, AMPK) 信号通路改变鸡胚的肝脂质代谢<sup>[27]</sup>。 $\omega$ -3 PUFA 等复合脂肪可以提高蛋鸡的生产性能, 增加蛋黄中  $\omega$ -3 PUFA 含量<sup>[28]</sup>。

## 1.3 非常规能量饲料资源开发

针对能量饲料供应日渐短缺和价格逐年上涨的现状, 非常规能量饲料原料替代物如小麦、高粱等的研究仍是蛋鸡营养的研究重点。不同谷物的营养特点不同, 玉米是营养丰富的畜禽能量饲料, 小麦粗蛋白质、氨基酸、磷含量高, 铁、锰、烟酸、天然的 B 族维生素和胆碱含量远远高于玉米, 单宁含量低的高粱品种饲用价值接近甚至超过玉米, 但营养价值变异较大。随着酶制剂工业的发展, 原料中的抗营养因子问题已经解决。用小麦与玉米按 2:1 比例配合使用作为能量饲料有利于海兰褐蛋鸡生产性能的发挥<sup>[29]</sup>。邵彩梅等<sup>[30]</sup> 建议在蛋鸡饲料中可用 15% 豌豆等量替代玉米和豆粕。

## 2 蛋白质与氨基酸

在蛋鸡营养领域, 对蛋白质的研究长久以来被视为核心, 包括蛋白质与能量的平衡、低蛋白质饲料的应用、新型饲料原料的开发等方面。在当前蛋白质饲料原料日益短缺与畜牧业污染环境的问题日益受到重视的情况下, 应用合成氨基酸配制低蛋白质饲料, 节约蛋白质饲料资源, 提高蛋白质利用效率, 降低氮排放愈加受到关注。

### 2.1 蛋白质的需要量

在正常情况下, 蛋白质一般不被用作能量, 当饲料能量不足时, 饲料中蛋白质就会作为能量被

消耗掉,从而增加机体的负担并造成蛋白质的浪费;而当饲料能量水平过高时,鸡采食量相对减少,这降低了蛋白质或其他重要营养物质的摄入,从而影响生产。因此,选择适宜的蛋白质能量比是配制蛋鸡饲料的关键。研究发现,大午粉1号商品代蛋雏鸡饲料中适宜的粗蛋白质水平为20.57%<sup>[6]</sup>;育成期太行鸡饲料适宜的粗蛋白质水平为14.00%~15.00%<sup>[7]</sup>;京红1号蛋鸡产蛋后期适宜的蛋白质能量比为13.41 g/MJ<sup>[31]</sup>。

随着蛋鸡的种质性能被不断挖掘,蛋鸡的产蛋量、产蛋率不断提升,机体的维持需要所占比例有所下降,但同时蛋白质(氨基酸)的需要量增加。研究发现,饲料粗蛋白质水平从14.13%降至13.12%时,海兰褐蛋鸡的生产性能、蛋品质和营养物质利用率均有不同程度降低,调整氨基酸数量和比例关系可起到改善作用<sup>[32]</sup>;大午金凤商品蛋鸡产蛋高峰期饲料粗蛋白质水平为15.70%<sup>[33]</sup>;京粉1号蛋鸡产蛋高峰期饲料粗蛋白质水平为16.50%<sup>[34]</sup>;京红1号蛋种鸡育成期饲料粗蛋白质水平为15.70%<sup>[35]</sup>;饲料蛋白质水平对育成期蛋鸡啄羽和趴卧行为有影响显著<sup>[36]</sup>。

## 2.2 氨基酸的需要量

对于饲料粗蛋白质利用效率来说,氨基酸的营养需要量以及不同氨基酸之间的平衡具有决定意义。近十几年,动物营养学家对蛋鸡氨基酸营养的研究主要包括理想蛋白质模式、基于标准回肠可消化氨基酸模式的氨基酸需要量、蛋鸡不同生产阶段的氨基酸需要量以及功能性氨基酸在蛋鸡营养调控中的作用等。近5年,研究者更加关注对中国蛋鸡品种的研究,如京红蛋鸡、农大3号蛋鸡等,主要研究了蛋鸡不同阶段对赖氨酸、含硫氨基酸、蛋氨酸、丝氨酸等的需要量<sup>[37-41]</sup>。此外,功能性氨基酸的调控作用仍然是近几年的研究热点,如亮氨酸对于鸡的免疫机能具有重要作用<sup>[42]</sup>;饲料L-精氨酸上调空肠内雷帕霉素靶蛋白的表达和磷酸化水平,并抑制20S蛋白酶体的mRNA表达,从而促进小肠蛋白质合成<sup>[43]</sup>;饲料蛋氨酸影响蛋鸡肝脏中昼夜节律和糖脂代谢相关基因的mRNA表达<sup>[44]</sup>,蛋氨酸缺乏会降低蛋鸡的生产性能,可能与蛋氨酸缺乏改变蛋氨酸代谢途径,影响DNA和RNA的甲基化过程有关<sup>[45]</sup>。

已有很多研究探讨使用合成氨基酸降低饲料粗蛋白质水平的可行性,如低蛋白质饲料中添加

苏氨酸可以通过调节蛋鸡肠道黏液蛋白和分泌型免疫球蛋白A的表达以及肠道微生物群来影响蛋鸡的肠道健康,进而影响产蛋量<sup>[46]</sup>。但粗蛋白质水平过低会显著影响蛋鸡的生产性能和蛋品质,其原因是由饲料蛋白质提供的原本被认为是必需氨基酸的量摄入不足,成为新的限制性氨基酸;此外,小肽的营养功能目前仅能由饲料蛋白质来提供,无法通过添加氨基酸来保证<sup>[47]</sup>。如Wang等<sup>[48]</sup>发现补充了结晶氨基酸的低蛋白质饲料抑制了蛋鸡食欲和载脂蛋白合成,降低了产蛋性能。因此,未来的研究需要找到饲料蛋白质、能量和氨基酸三者之间的平衡。

## 2.3 蛋白质饲料开发与利用

开发新型蛋白质饲料,利用发酵技术处理蛋白质饲料,改善蛋白质饲料品质的相关研究仍然持续。Zhu等<sup>[49]</sup>比较了油菜籽饼品种和添加水平对蛋鸡生产性能、蛋品质、十二指肠形态以及营养物质消化率的影响。其他研究发现,饲料中添加发酵棕榈粕可提高蛋鸡产蛋性能和蛋品质<sup>[50]</sup>;用脱酚或低酚棉籽粕代替豆粕会导致鸡蛋蛋清品质下降,添加亮氨酸也不能起到缓解作用<sup>[51-52]</sup>;用黑水虻蛋白替代豆粕,并使饲料粗蛋白质水平降低至14.85%,对鸡蛋的蛋清品质无不良影响<sup>[53]</sup>。

## 3 矿物元素

矿物元素在动物机体内发挥着重要的生理功能。近年来蛋鸡饲料矿物质元素的研究主要集中在钙、磷、锰、锌、铁、硒、铜、铬、钠的营养需要量、生物学利用率、氧化应激等方面。1)对钙、磷的研究主要集中在不同品种蛋鸡产蛋后期钙磷水平和配比<sup>[54-58]</sup>对骨骼和蛋壳质量的影响方面<sup>[59]</sup>。产蛋后期饲料钙与维生素D<sub>3</sub>同时添加效果更佳<sup>[60]</sup>。何万领等<sup>[58]</sup>比较了不同磷源,发现植源性磷酸氢钙(由肌醇生产废渣经过酸解、生石灰中和及沉淀等过程获得的饲料级磷酸氢钙)和磷酸一二钙效果较好。Ren等<sup>[61-62]</sup>研究了成纤维细胞生长因子23及其受体在蛋鸡磷代谢中的调控作用,并证实含植酸酶的基础饲料中添加0.05%~0.30%无机磷对蛋鸡的产蛋性能改善有限<sup>[63]</sup>。2)研究者普遍认为饲料中添加一定量的锰、铁、锌有利于提高产蛋性能和改善蛋壳品质,且与氨基酸或小肽螯合的锰、铁、锌效果优于无机锰、铁、锌<sup>[64-70]</sup>。目前鸡的饲料铁需求主要基于生长、血红蛋白浓度

或早期研究中获得的红细胞压积数据,然而琥珀酸脱氢酶、过氧化氢酶和细胞色素 C 氧化酶等含铁酶的表达被认为是评价饲料铁需求更灵敏的新标准<sup>[71]</sup>。膳食中补充锰可以参与蛋白糖基化和多糖代谢过程,提高编码蛋白多糖和糖蛋白的基因在蛋壳腺中的表达,从而增加蛋壳形成初期沉积阶段的乳突密度<sup>[72-73]</sup>。3) 研究者广泛研究了生产富硒蛋的饲料适宜硒添加量<sup>[74]</sup>,并比较了不同硒源(亚硒酸钠、富硒酵母、纳米硒、富硒苜蓿、硒化卡拉胶)以及硒的不同制备方法<sup>[75-80]</sup>,认为有机硒比无机硒具有更高的生物利用度<sup>[81]</sup>。4) 铬、铜在抗应激方面的研究较多。夏季蛋鸡饲料中同时添加酵母铬和益生菌有利于蛋鸡的产蛋性能、肠道菌群及消化酶活性<sup>[82]</sup>;饲料铜对产蛋后期的京红商品蛋鸡具有一定的抗热应激效应<sup>[83]</sup>,但 Li 等<sup>[84]</sup>认为高温下饲料中不添加铜对后期蛋鸡没有不良影响。5) 在保证氯水平在 0.15% 的条件下,蛋鸡饲料中硫酸钠替代部分氯化钠会获得更好的生产性能和蛋壳质量<sup>[85]</sup>。

对有机复合微量元素(铜、铁、锌、锰、硒)的研究是近几年的重点,学者普遍认为有机复合微量元素在改善后期蛋壳品质<sup>[86]</sup>、维持免疫功能<sup>[87]</sup>方面效果优于无机微量元素。除蛋白质、氨基酸、有机酸、小肽等螯合态形式的有机微量元素之外,由微生物合成的有机微量元素近年来也引起了学者的关注<sup>[88]</sup>。研究发现,经复合微生物合成的有机微量元素对蛋鸡生产性能、蛋品质、蛋成分均有不同程度的改善<sup>[89]</sup>。

## 4 维生素

近几年我国学者对蛋鸡维生素营养的研究,体现在不同生长阶段的维生素需要量,维生素对鸡蛋品质、蛋鸡的抗氧化力、抗病力、抗应激的影响,以及维生素与其他营养素的互作等方面。不同蛋鸡品种、饲料类型、饲养环境下的维生素适宜添加量或配比,以及维生素的新型制备方法也引起了广泛关注。

### 4.1 脂溶性维生素

脂溶性维生素方面的研究主要聚焦在维生素 A、维生素 D、维生素 E。1) 蛋鸡发生维生素 A 缺乏症后生长发育受阻,繁殖率降低,产蛋量下降,发病原因可能是由于饲料加工、贮备不当,其他类营养物质不足影响维生素的吸收与利用等。提高

饲料维生素 A 水平(12 000、16 000 IU/kg)可有效缓解夏季高温对蛋鸡生产带来的不利影响<sup>[90]</sup>,维生素 A 与甘氨酸亚铁、CLA 等多种营养素存在互作<sup>[68,91]</sup>。2) 维生素 D 缺乏会导致蛋鸡产薄壳蛋、软壳蛋或者无壳蛋,建议产蛋后期饲料中提高钙和维生素 D 水平(如 25-羟基维生素 D<sub>3</sub>)<sup>[60,92]</sup>。3) 维生素 E 可以有效缓解热应激<sup>[93]</sup>、免疫应激<sup>[94]</sup>,提高抗氧化能力<sup>[95-97]</sup>。而在良好的饲养管理条件下,添加维生素 E 对蛋鸡的生产性能无显著改善作用<sup>[25]</sup>。

### 4.2 水溶性维生素

对水溶性维生素的研究主要集中在 B 族维生素和维生素 C。1) 神经系统在发育中需要硫胺素(维生素 B<sub>1</sub>),维生素 B<sub>1</sub> 缺乏会导致神经系统发育不良,引发一系列神经障碍,进而影响到机体发生代谢障碍。蛋鸡饲料中添加适量的核黄素(维生素 B<sub>2</sub>)能显著提高产蛋率和蛋品质<sup>[98]</sup>,添加胆碱(维生素 B<sub>4</sub>)能提高蛋鸡抗氧化能力和蛋黄脂质沉积<sup>[99]</sup>,添加叶酸(维生素 B<sub>9</sub>)在不影响蛋鸡产蛋性能的情况下能够提高鸡蛋中的叶酸含量<sup>[100]</sup>。2) 蛋鸡饲料中添加维生素 C 能够改善高温对蛋鸡产蛋性能和蛋品质的影响<sup>[101]</sup>,维生素 C 的抗热应激效果与环境温度、维生素 C 的纯度有关<sup>[102]</sup>。维生素 C 可通过提高蛋壳腺组织中碳酸酐酶和骨桥蛋白 mRNA 的相对表达量进而提高蛋壳强度<sup>[103]</sup>。饲料中较高的维生素补充水平可以改善老龄母鸡的产蛋性能和蛋品质,这与肠道中有益菌群丰富度的增加密切相关<sup>[104]</sup>。

## 5 小结与展望

近几年研究者不仅持续关注产蛋高峰期,同时对育雏期和育成期的研究也逐渐增多。此外,对于中国特有的优质蛋鸡品种、特定环境条件下的养分需要(如热应激)、多种营养素之间的互作(如矿物元素与维生素)等相关研究也越来越多。伴随着对畜牧业减排的要求越来越高,精准饲养和高效利用技术必将在很长的时间内持续成为研究的重点之一。

我国饲料原料丰富,大量基础数据还有待深入发掘。目前,使用现代化检测设备和检测方法能够测得饲料原料养分含量,但检测结果不能及时应用,存在相对滞后性。因此,开展饲料质量现

场即时测定、快速评估的新技术研发势在必行。

除了可以满足蛋鸡生长、生产所需养分之外,大部分营养素还具有特殊的生理功能,如功能性氨基酸在机体免疫中的作用,脂肪酸作为信号分子参与诸多生理调控,利用硒的抗氧化功能生产富硒蛋、缓解蛋鸡脂肪肝,由氨基酸作为有机矿物元素的螯合剂生产的新型微量元素添加剂被证明效果优于无机盐<sup>[105]</sup>。尽管国内外学者对这些营养素的生理功能已经比较明了,但是如何将它们的特殊作用与蛋鸡的营养需要量相结合,得到更为合理的应用数据可能具有更实际的意义。

### 参考文献:

- [ 1 ] 班志彬,武斌,张芳毓,等.不同鸡品种维持净能的需要量测定[J].动物营养学报,2020,32(5):2158-2163.
- [ 2 ] 班志彬,张芳毓,武斌,等.产蛋期蛋鸡不同类型玉米净能研究[J].动物营养学报,2020,32(4):1650-1657.
- [ 3 ] LIU W, YAN X G, YANG H M, et al. Metabolizable and net energy values of corn stored for 3 years for laying hens[J]. Poultry Science, 2020, 99(8): 3914-3920.
- [ 4 ] 于彩云,杨在宾,姜淑贞,等.不同能量水平对不同品种鸡生长期养分利用率影响的研究[J].家禽科学,2017(5):8-12.
- [ 5 ] 于彩云,江蕾,路腾,等.不同品种和能量水平对鸡生产性能影响的比较研究[J].家禽科学,2016(11):7-13.
- [ 6 ] 张蒙,李强,刘平,等.0~4周龄大午粉1号商品代蛋雏鸡饲料中适宜的代谢能和粗蛋白质水平[J].动物营养学报,2019,31(2):652-661.
- [ 7 ] 冯焯,郝艳霜,赵国先,等.育成期太行鸡饲料代谢能和粗蛋白质适宜水平的研究[J].动物营养学报,2018,30(7):2541-2549.
- [ 8 ] 霍学婷,郝文博,赵丽红,等.日粮代谢能水平对“京红1号”蛋种鸡育成期生长性能及后续生产性能的影响[J].中国畜牧杂志,2018,54(3):57-61.
- [ 9 ] 李娜,徐廷生,雷雪芹,等.卢氏绿壳蛋鸡育成期适宜能量水平的研究[J].中国农学通报,2019,35(5):154-159.
- [ 10 ] 方书宝,彭箫,王梦霖,等.饲料能量水平对京红蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质及脂代谢的影响[J].饲料工业,2020,41(7):44-49.
- [ 11 ] 任希艳,赵景鹏,焦洪超,等.饲用小麦熟化度快速鉴定方法的研究[J].动物营养学报,2019,31(9):4331-4338.
- [ 12 ] 周源,王定发,胡修忠,等.不同来源亚麻籽对蛋鸡生产性能、蛋品质、鸡蛋脂肪酸组成和血清中炎症细胞因子的影响[J].中国家禽,2017,39(15):35-39.
- [ 13 ] 冯嘉,张海军,武书庚,等.日粮中添加亚麻籽油对鸡蛋脂肪酸组成和风味的影响[J].中国畜牧兽医,2018,45(10):2733-2742.
- [ 14 ] 吕学泽,贾亚雄,郭江鹏,等.n-3 不饱和脂肪酸在禽产品中的沉积与变化规律研究[J].饲料工业,2016,37(17):14-18.
- [ 15 ] YUAN N, WANG J P, DING X M, et al. Effects of supplementation with different rapeseed oil sources and levels on production performance, egg quality, and serum parameters in laying hens[J]. Poultry Science, 2019, 98(4): 1697-1705.
- [ 16 ] ZHU L Y, YANG A, MU Y, et al. Effects of dietary cottonseed oil and cottonseed meal supplementation on the structure, nutritional composition of egg yolk and gossypol residue in eggs[J]. Poultry Science, 2018, 98(1): 381-392.
- [ 17 ] MU Y, ZHU L Y, YANG A, et al. The effects of dietary cottonseed meal and oil supplementation on laying performance and egg quality of laying hens[J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(7): 2436-2447.
- [ 18 ] 董淑楠,朱航桦,周海腾,等.红棕油对蛋鸡产蛋性能、蛋品质及蛋黄着色效果的影响[J].中国饲料,2018(13):14-19.
- [ 19 ] 宋明杰,宋丹丹,刁蓝宇,等.松籽对蛋鸡血清生化指标和免疫性能的影响[J].饲料工业,2018,39(10):37-40.
- [ 20 ] 李浩洋,班甲,陈骏佳,等.日粮添加裂壶藻对鸡蛋DHA含量、品质及蛋鸡生产性能的影响[J].中国饲料,2015(11):37-39,42.
- [ 21 ] DONG X F, LIU S, TONG J M. Comparative effect of dietary soybean oil, fish oil, and coconut oil on performance, egg quality and some blood parameters in laying hens[J]. Poultry Science, 2018, 97(7): 2460-2472.
- [ 22 ] 龙烁,武书庚,齐广海,等.微藻油和鱼油对鸡蛋品质和蛋黄脂肪酸沉积的影响[J].动物营养学报,2018,30(5):1713-1725.
- [ 23 ] KIM J H, LEE H K, YANG T S, et al. Effect of different sources and inclusion levels of dietary fat on productive performance and egg quality in laying hens raised under hot environmental conditions[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2019, 32(9): 1407-1413.

- [24] 邓波, 门小明, 朱冬荣, 等. 亚麻籽和鱼油对蛋鸡蛋黄 n-3 多不饱和脂肪酸含量与肝脏脂肪酸代谢的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(8): 2751-2761.
- [25] 马明, 常向彩, 方福平, 等. 不同油脂来源日粮添加维生素 E 和 C 对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响 [J]. 中国饲料, 2018(22): 57-61.
- [26] 王生辉, 史兆国, 王晶, 等. 共轭亚油酸对开产蛋鸡生产性能、蛋品质、蛋黄硬度和蛋黄脂肪酸组成的影响 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(7): 2707-2716.
- [27] FU C Y, ZHANG Y, YAO Q M, et al. Maternal conjugated linoleic acid alters hepatic lipid metabolism via the AMPK signaling pathway in chick embryos [J]. Poultry Science, 2020, 99(1): 224-234.
- [28] 杨在宾, 曹阳, 田开文, 等. 复合脂肪对蛋鸡生产性能和蛋品质影响的研究 [J]. 家禽科学, 2015(12): 7-9.
- [29] 王玉璘, 封伟杰. 小麦型日粮对蛋鸡产蛋性能和肠道健康的影响 [J]. 中国家禽, 2015, 37(6): 58-60.
- [30] 邵彩梅, 张鑫, 郭耀棋, 等. 饲料中不同水平豌豆对蛋鸡生产性能、蛋品质及器官指数的影响 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(12): 5750-5759.
- [31] 段国香, 李美玲, 张建云, 等. 饲料粗蛋白质水平对“京红 1 号”蛋鸡产蛋后期生产性能和蛋品质的影响 [J]. 动物营养学报, 2017, 29(12): 4597-4602.
- [32] 何万领, 李晓丽, 丁轲, 等. 不同蛋白水平与氨基酸模式对 60~75 周龄海兰褐蛋鸡生产性能、蛋品质及营养物质利用率的影响 [J]. 中国家禽, 2017, 39(19): 37-43.
- [33] 王绍菁, 董天来, 马秋刚, 等. 日粮氨基酸平衡条件下大午金凤商品代蛋鸡产蛋高峰期粗蛋白质需要量研究 [J]. 中国畜牧兽医, 2020, 47(5): 1429-1435.
- [34] 王绍菁, 符天泽, 李腾川, 等. 日粮蛋白质水平对“京粉 1 号”蛋鸡产蛋高峰期生产性能和蛋品质的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2020, 56(6): 106-110.
- [35] 郝文博, 霍学婷, 马秋刚, 等. 日粮蛋白质水平对“京红 1 号”蛋种鸡育成期(9~13 周龄)生长性能及后续生产性能的影响 [J]. 饲料工业, 2018, 39(7): 16-20.
- [36] 王长平, 缪天琳, 刘德江, 等. 蛋白质水平对育成期蛋鸡啄羽和其它行为的影响 [J]. 粮食与饲料工业, 2017, 38(6): 44-45, 56.
- [37] 郭丹, 王晶, 齐广海, 等. 产蛋鸡低蛋白质饲料中标准回肠可消化总含硫氨基酸与赖氨酸比例研究 [J]. 动物营养学报, 2019, 31(1): 148-158.
- [38] 索菲娅, 梁中军, 马秋刚, 等. 7~12 周龄京红商品代蛋鸡饲料含硫氨基酸需要量的研究 [J]. 动物营养学报, 2018, 30(2): 553-559.
- [39] 耿顺菊, 梁中军, 马秋刚, 等. 日粮蛋氨酸水平对 13~16 周龄京红商品代蛋鸡生长性能及后续产蛋性能的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2018, 54(6): 84-89.
- [40] 李亚杰, 刘禹辰, 曾丹, 等. 添加不同水平丝氨酸对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响 [J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(2): 86-89.
- [41] JIANG S Q, EL-SENHOUSEY H K, FAN Q L, et al. Effects of dietary threonine supplementation on productivity and expression of genes related to protein deposition and amino acid transportation in breeder hens of yellow-feathered chicken and their offspring [J]. Poultry Science, 2019, 98(12): 6826-6836.
- [42] LIU S Q, WANG L Y, LIU G H, et al. Leucine alters immunoglobulin A secretion and inflammatory cytokine expression induced by lipopolysaccharide via the nuclear factor- $\kappa$ B pathway in intestine of chicken embryos [J]. Animal, 2018, 12(9): 1903-1911.
- [43] MIAO L P, YUAN C, DONG X Y, et al. Effects of dietary L-arginine levels on small intestine protein turnover and the expression of genes related to protein synthesis and proteolysis of layers [J]. Poultry Science, 2017, 96(6): 1800-1808.
- [44] LIU Y L, WAN D, ZHOU X H, et al. Effects of dynamic feeding low- and high-methionine diets on the variation of glucose and lipid metabolism-related genes in the liver of laying hens [J]. Poultry Science, 2019, 98(5): 2231-2240.
- [45] 刘怡琳. 低蛋氨酸对产蛋后期蛋鸡生产性能和抗氧化能力的影响 [D]. 硕士学位论文. 洛阳: 河南科技大学, 2017.
- [46] DONG X Y, AZZAM M M M, ZOU X T. Effects of dietary threonine supplementation on intestinal barrier function and gut microbiota of laying hens [J]. Poultry Science, 2017, 96(10): 3654-3663.
- [47] 齐广海, 岳洪源, 武书庚, 等. 蛋鸡氨基酸营养的研究进展 [J]. 动物营养学报, 2014, 26(10): 3108-3113.
- [48] WANG H, WANG X J, ZHAO J P, et al. Low protein diet supplemented with crystalline amino acids suppressing appetite and apo-lipoprotein synthesis in laying hens [J]. Animal Feed Science and Technology, 2020, 266: 114533.
- [49] ZHU L P, WANG J P, DING X M, et al. The effects of varieties and levels of rapeseed expeller cake on egg production performance, egg quality, nutrient digestibility, and duodenum morphology in laying hens [J]. Poultry Science, 2019, 98(10): 4942-4953.
- [50] 崔卫涛, 况世昌, 李钢平, 等. 生物发酵饲料对蛋鸡生

- 产性能和鸡蛋品质的影响[J].畜牧与饲料科学, 2018,39(10):33-36.
- [51] 车彦卓,尹小凤,王晓翠,等.脱酚棉籽蛋白质型饲料中亮氨酸对蛋鸡生产性能和蛋清品质的影响[J].动物营养学报,2020,32(1):189-198.
- [52] WANG X C,ZHANG H J,WANG H, et al.Effect of different protein ingredients on performance, egg quality, organ health, and jejunum morphology of laying hens[J].Poultry Science,2017,96(5):1316-1324.
- [53] 车彦卓,黄振吾,武书庚,等.不同饲料粗蛋白质水平下黑水虻蛋白替代豆粕对蛋鸡生产性能、蛋清品质及血清蛋白质代谢指标的影响[J].动物营养学报,2020,32(4):1632-1640.
- [54] 王玉璘,张亚丽.不同饲料钙水平对海兰褐蛋鸡产蛋后期生产性能的影响[J].中国家禽,2015,37(17):60-61.
- [55] 黄福标,谭春萍,于冬玲,等.蛋鸡日粮钙水平对其生产性能、蛋品质及机体钙磷含量的影响[J].中国饲料,2018(18):58-62.
- [56] 黄晨轩,岳巧娴,郝二英,等.饲料钙水平对蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质和血钙相关指标动态变化的影响[J].中国家禽,2018,40(24):25-29.
- [57] 刘国庆,张雄,张磊,等.玉米-豆粕-植酸酶型日粮钙水平对京红1号蛋鸡产蛋后期生产性能、蛋品质的影响[J].中国畜牧兽医,2018,45(12):3431-3437.
- [58] 何万领,李晓丽,李旺,等.磷源与磷水平对蛋鸡生产性能及钙、磷、氮代谢的影响[J].畜牧兽医学报,2018,49(5):1061-1073.
- [59] WANG S J,HU Y X,WU Y L, et al.Influences of bioapatite mineral and fibril structure on the mechanical properties of chicken bone during the laying period[J].Poultry Science,2019,98(12):6393-6399.
- [60] 康乐,穆雅东,张克英,等.不同钙水平饲料添加维生素D<sub>3</sub>对产蛋后期蛋鸡生产性能、蛋品质、胫骨质量和血浆钙磷代谢的影响[J].动物营养学报,2018,30(10):3889-3898.
- [61] REN Z Z,BÜTZ D E, RAMUTA M, et al.Effect of anti-fibroblast growth factor receptor 1 antibodies on phosphorus metabolism in laying hens and their progeny chicks[J].Poultry Science,2019,98(11):5691-5699.
- [62] REN Z Z,SUN W Q,LIU Y L, et al.Dynamics of serum phosphorus, calcium, and hormones during egg laying cycle in Hy-Line brown laying hens[J].Poultry Science,2019,98(5):2193-2200.
- [63] REN Z Z,SUN W Q,CHENG X, et al.The adaptability of Hy-Line brown laying hens to low phosphorus diets supplemented with phytase[J].Poultry Science,2020,99(7):3525-3531.
- [64] 刘虎,陈思佳,周水岳,等.不同锌源及水平对蛋鸡生产性能、蛋品质、血液生化指标以及蛋锌含量的影响[J].饲料工业,2017,38(19):22-26.
- [65] 刘凤霞,刘幸,齐茜,等.日粮有机锌水平对产蛋后期蛋鸡生产性能、免疫功能和抗氧化指标的影响[J].中国家禽,2017,39(24):28-34.
- [66] LI L L,ZHANG N N,GONG Y J, et al.Effects of dietary Mn-methionine supplementation on the egg quality of laying hens[J].Poultry Science,2018,97(1):247-254.
- [67] 向荣,李文斌,刘爱巧,等.不同铁源对京红1号商品蛋鸡生产性能及蛋壳品质的影响[J].养殖与饲料,2020(3):21-24.
- [68] 耿彦强,李业明,张雄,等.甘氨酸亚铁和维生素A对蛋鸡生产性能和蛋品质的影响[J].中国畜牧杂志,2018,54(9):72-76.
- [69] MIN Y N,LIU F X,QI X, et al.Effects of organic zinc on tibia quality, mineral deposit, and metallothionein expression level of aged hens[J].Poultry Science,2018,98(1):366-372.
- [70] 王惠云,向阳葵,段瑞,等.不同锌源与水平羟基蛋氨酸对蛋鸡产蛋后期生产性能和蛋品质的影响[J].饲料研究,2020,43(1):91-95.
- [71] MA X Y, LIAO X D, LU L, et al.Determination of dietary iron requirements by full expression of iron-containing enzymes in various tissues of broilers[J].The Journal of Nutrition,2016,146(11):2267-2273.
- [72] ZHANG Y N,ZHANG H J,WU S G, et al.Dietary manganese supplementation modulated mechanical and ultrastructural changes during eggshell formation in laying hens[J].Poultry Science,2017,96(8):2699-2707.
- [73] ZHANG Y N,ZHANG H J,WU S G, et al.Dietary manganese supplementation affects mammillary knobs of eggshell ultrastructure in laying hens[J].Poultry Science,2018,97(4):1253-1262.
- [74] 魏佳钰,魏时来,马娟,等.长期饲喂高硒饲料对产蛋鸡蛋硒沉积规律及蛋品质的影响[J].饲料工业,2020,41(11):40-45.
- [75] HAN X J,QIN P,LI W X, et al.Effect of sodium selenite and selenium yeast on performance, egg quality, antioxidant capacity, and selenium deposition of laying hens[J].Poultry Science,2017,96(11):3973-3980.
- [76] LU J,QU L,SHEN M M, et al.Effects of high-dose

- selenium-enriched yeast on laying performance, egg quality, clinical blood parameters, organ development, and selenium deposition in laying hens [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(6): 2522-2530.
- [77] 吉莹利, 林雪, 杨婷, 等. 不同硒源对蛋鸡蛋品质、血清及蛋黄抗氧化指标的影响 [J]. *中国家禽*, 2019, 41(8): 20-24.
- [78] 胡华锋, 杨建平, 郭孝, 等. 不同硒源对蛋鸡生产性能、粪硒含量及饲料硒吸收率的影响 [J]. *家畜生态学报*, 2015, 36(1): 32-37.
- [79] 周建军, 胡先勤, 王学东, 等. 几种不同硒源对蛋鸡生产性能、产蛋品质以及蛋硒含量的影响 [J]. *饲料工业*, 2018, 39(11): 38-43.
- [80] 司雪阳, 王浩, 郭晓青, 等. 亚麻籽饲料中添加不同水平酵母硒对蛋鸡肝脏抗氧化能力、蛋黄脂肪酸组成和蛋中硒含量的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32(5): 2138-2147.
- [81] LU J, QU L, SHEN M M, et al. Comparison of dynamic change of egg selenium deposition after feeding sodium selenite or selenium-enriched yeast [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(9): 3102-3108.
- [82] 郭彤, 李晓晨, 吴艳, 等. 酵母铬和益生菌联用对夏季蛋鸡产蛋性能及肠道菌群与消化酶活性的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2015, 51(9): 31-37.
- [83] 李文祥, 陈远庆, 赵丽红, 等. 饲料铜对不同温度下产蛋后期蛋鸡产蛋性能、蛋品质的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2016, 52(23): 28-33.
- [84] LI W X, CHEN Y Q, ZHAO L H, et al. No copper supplementation in a corn-soybean basal diet has no adverse effects on late-phase laying hens under normal and cyclic high temperatures [J]. *Poultry Science*, 2018, 97(4): 1352-1360.
- [85] WANG J, ZHANG H J, WU S G, et al. Dietary chloride levels affect performance and eggshell quality of laying hens by substitution of sodium sulfate for sodium chloride [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(2): 966-973.
- [86] QIU J L, ZHOU Q, ZHU J M, et al. Organic trace minerals improve eggshell quality by improving the eggshell ultrastructure of laying hens during the late laying period [J]. *Poultry Science*, 2020, 99(3): 1483-1490.
- [87] 邱家凌, 鲁鑫涛, 刘兵, 等. 有机微量元素全取代对产蛋后期蛋鸡血清生化指标、免疫和抗氧化功能的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(4): 100-105.
- [88] 何万领, 李晓丽, 李旺, 等. 不同水平有机微量元素对蛋鸡矿物元素沉积与排泄的影响 [J]. *动物营养学报*, 2018, 30(1): 75-83.
- [89] 何万领, 李晓丽, 张金汉, 等. 微生物发酵铁、锌、锰、铜对蛋鸡生产性能和血清指标的影响 [J]. *中国兽医学报*, 2018, 38(2): 398-403, 420.
- [90] 阎佩佩, 刘雪兰, 井庆川, 等. 夏季不同维生素 A 水平对蛋鸡产蛋性能、蛋壳质量及蛋黄维生素 A 含量的影响 [J]. *山东农业科学*, 2018, 50(3): 113-116.
- [91] 张忠远, 吴国玲, 王磊, 等. 共轭亚油酸和维生素 A 对产蛋鸡免疫机能影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2015, 46(2): 37-46.
- [92] 弓浩杰, 丁雪梅, 白世平, 等. 饲料添加 25-羟基维生素 D<sub>3</sub>、植物精油和苯甲酸对蛋鸡生产性能、蛋品质和肠道形态的影响 [J]. *动物营养学报*, 2020, 32(6): 2638-2649.
- [93] 张菁菁, 沈根明, 华国浩, 等. 高温应激下添加维生素 E 对蛋鸡血液生化指标和产蛋性能的影响 [J]. *浙江农业学报*, 2016, 28(2): 228-233.
- [94] 庞洁, 方旭, 王超群, 等. 维生素 E 缓解蛋鸡免疫应激的研究 [J]. *饲料工业*, 2016, 37(16): 12-15.
- [95] 王坤, 何青芬, 程业飞, 等. 维生素 E 缓解蛋白质氧化豆粕对蛋鸡生产性能、消化功能和鸡蛋品质的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2020, 43(2): 318-325.
- [96] 张玉, 武书庚, 王晶, 等. 茶多酚、维生素 E 和吡咯喹啉醌二钠对产蛋后期蛋鸡生产性能和抗氧化能力的影响 [J]. *中国畜牧杂志*, 2016, 52(19): 27-32.
- [97] LIU Y J, ZHAO L H, MOSENTHIN R, et al. Protective effect of vitamin E on laying performance, antioxidant capacity, and immunity in laying hens challenged with *Salmonella* Enteritidis [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(11): 5847-5854.
- [98] 陈艳珍. 日粮中添加核黄素对蛋鸡产蛋性能及蛋品质的影响 [J]. *饲料博览*, 2004(8): 30-32.
- [99] DONG X F, ZHAI Q H, TONG J M. Dietary choline supplementation regulated lipid profiles of egg yolk, blood, and liver and improved hepatic redox status in laying hens [J]. *Poultry Science*, 2019, 98(8): 3304-3312.
- [100] 田传欢, 张俊平, 唐守营, 等. 添加叶酸对蛋鸡生产性能及鸡蛋中叶酸含量的影响 [J]. *饲料工业*, 2015, 36(增刊 2): 34-36.
- [101] 王晓慧, 辛世杰, 安婷婷, 等. 日粮中维生素 E、C 和大豆油对高温期蛋鸡生产性能的影响及最佳添加水平 [J]. *中国饲料*, 2018(12): 65-69.
- [102] 安立龙, 唐攀喜, 蔡燕婷, 等. 叶黄素和维生素 C 对高温环境中蛋鸡生产性能及蛋品质的影响 [J]. *家畜生态学报*, 2013, 34(5): 25-31.
- [103] 秦红, 王帅, 陈昱筱, 等. 维生素 C 和黄芪多糖对热

- 应激蛋鸡蛋品质及肠道健康的影响[J].中国粮油学报,2019,34(9):88-95.
- [104] GAN L P, ZHAO Y Z, MAHMOOD T, et al. Effects of dietary vitamins supplementation level on the production performance and intestinal microbiota of aged laying hens[J]. Poultry Science, 2020, 99(7):3594-3605.
- [105] LI L L, GONG Y J, ZHAN H Q, et al. Effects of dietary Zn-methionine supplementation on the laying performance, egg quality, antioxidant capacity, and serum parameters of laying hens[J]. Poultry Science, 2018, 98(2):923-931.

## Recent Progress in Nutrition and Feed of Laying Hens in China

WANG Xiaojuan LIN Hai\*

(Shandong Provincial Key Laboratory of Animal Biotechnology and Disease Control and Prevention, College of Animal Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

**Abstract:** As new progress has been made in the breeding of laying hens and the production performance of laying hens has been improved, the service life of commercial hens has been extended from 72 weeks in the past to 80 to 90 weeks in the present, and the nutritional requirements of laying hens have changed constantly. At the same time, feed costs continue to increase, the breeding mode is constantly upgraded, consumers have increasingly higher requirements for egg safety, nutrition and so on, and the environmental issues caused by animal husbandry are prominent and attract more and more attention. Therefore, it is of great significance to accurately study the nutritional requirements of laying hens and scientifically prepare the feed, for realizing full genetic potential of laying hens and promoting the quality and efficiency of laying hen industry. Herein, this review summarized the research progress in energy, proteins and amino acids, mineral elements, vitamins in recent five years by Chinese scholars, and prospected the future research on nutrition and feed for laying hens. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(10):4602-4610]

**Key words:** laying hens; nutrition; feed; research progress; research prospects