

阳离子吸附型活性炭对鸡蛋品质及营养成分的影响

石兴宇*, 张 晋, 王伟青, 田 璐, 段素云, 李凌燕, 马静媛, 杨新建[#]

北京农业职业学院食品与生物工程学院, 北京

收稿日期: 2025年6月3日; 录用日期: 2025年7月2日; 发布日期: 2025年7月10日

摘 要

目的: 本研究旨在探讨阳离子吸附型活性炭(CAAC)对鸡蛋品质及营养成分的影响, 为蛋鸡饲料添加剂的合理开发与科学应用提供科学依据。方法: 选取400只18周龄的京红1号蛋鸡, 随机分为4个处理组。对照组饲喂基础日粮, CAAC处理组饲喂添加0.3% CAAC的基础日粮, Zn + Se处理组饲喂添加0.3 mg/kg亚硒酸钠和80 mg/kg氧化锌的基础日粮, CAAC + Zn + Se处理组饲喂同时添加0.3% CAAC、0.3 mg/kg亚硒酸钠和80 mg/kg氧化锌的基础日粮。然后分别测定鸡蛋的品质指标(蛋重、蛋黄重量、哈氏单位等)和营养成分(锌、硒、胆固醇、卵磷脂等)。结果: 与对照组相比, CAAC组蛋黄重量和哈氏单位显著提升, 蛋黄中锌和硒含量显著增加, 胆固醇含量显著降低, 卵磷脂含量显著提高。然而, 与Zn + Se组相比, CAAC + Zn + Se组蛋重显著增加, 而蛋黄中硒含量显著降低。结论: CAAC可显著改善鸡蛋品质和营养成分, 但在与其他添加剂复合使用时可能存在相互作用。未来需进一步研究其作用机制, 以优化蛋鸡饲料添加剂。

关键词

阳离子吸附型活性炭, 鸡蛋品质, 营养成分

Effects of Cation Adsorbing Activated Carbon on Egg Quality and Nutritional Composition

Xingyu Shi*, Jin Zhang, Weiqing Wang, Lu Tian, Suyun Duan, Lingyan Li, Jingyuan Ma, Xinjian Yang[#]

College of Food and Biological Engineering, Beijing Vocational College of Agriculture, Beijing

Received: Jun. 3rd, 2025; accepted: Jul. 2nd, 2025; published: Jul. 10th, 2025

*第一作者。

[#]通讯作者。

文章引用: 石兴宇, 张晋, 王伟青, 田璐, 段素云, 李凌燕, 马静媛, 杨新建. 阳离子吸附型活性炭对鸡蛋品质及营养成分的影响[J]. 农业科学, 2025, 15(7): 855-860. DOI: 10.12677/hjas.2025.157105

Abstract

Objective: This study aims to investigate the effects of Cation Adsorbing Activated Carbon (CAAC) on egg quality and nutritional composition, providing a scientific basis for the rational development and application of feed additives in laying hens. **Methods:** A total of 400 18-week-old Jinghong No.1 laying hens were randomly divided into four treatment groups. The control group was fed a basal diet, the CAAC group was fed a basal diet supplemented with 0.3% CAAC, the Zn + Se group was fed a basal diet supplemented with 0.3 mg/kg sodium selenite and 80 mg/kg zinc oxide, and the CAAC + Zn + Se group was fed a basal diet supplemented with 0.3% CAAC, 0.3 mg/kg sodium selenite, and 80 mg/kg zinc oxide. Egg quality indicators (egg weight, yolk weight, Haugh unit, etc.) and nutritional components (zinc, selenium, cholesterol, lecithin, etc.) were then measured. **Results:** Compared with the control group, the CAAC group showed significant increases in yolk weight and Haugh unit, as well as significant increases in zinc and selenium content in the yolk. In contrast to the Zn + Se group, the CAAC + Zn + Se group showed a significant increase in egg weight, but a significant decrease in selenium content in the yolk. **Conclusions:** CAAC can significantly improve egg quality and nutritional composition. However, potential interactions may occur when CAAC is used in combination with other additives. Further research is needed to explore its mechanisms of action to optimize feed additives for laying hens.

Keywords

Cation Adsorbing Activated Carbon, Egg Quality, Nutritional Composition

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着公众对食品安全和营养品质关注度的持续攀升,如何借助饲料添加剂来提升蛋鸡的生产性能以及鸡蛋的品质,已然成为当前研究领域的一大热点课题。鸡蛋作为人们日常膳食中不可或缺的重要营养来源,其品质与营养成分受到诸多因素的综合影响,涵盖饲料成分、饲养环境以及添加剂的使用等多方面要素。

研究表明,向饲料中添加不同形态的微量元素,能够显著优化蛋鸡的生产性能和鸡蛋的品质[1]。以纳米硒为例,作为一种高效的微量元素补充剂,它已被证实可以大幅提高鸡蛋中硒的含量,同时显著增强蛋鸡的抗氧化能力和免疫功能[2]。锌元素在蛋鸡生产过程中同样扮演着至关重要的角色,倘若饲料中锌元素含量不足,将直接导致蛋禽食欲减退以及饲料利用率降低[3]。

活性炭及其衍生物凭借其独特的吸附特性,在饲料领域的应用也日益受到广泛关注。相关研究指出,将活性炭添加到饲料中,能够通过吸附有害物质、改善肠道环境等多种机制,有效促进蛋鸡的生长以及蛋品质的提升[4][5]。然而,目前对于在饲料中添加活性炭是否会干扰营养物质的正常吸收,学术界尚未达成一致的定论。

阳离子吸附型活性炭(Cation Adsorbing Activated Carbon, CAAC)作为一种能够吸附环境中阳离子的特殊材料,在饲料中的应用还处于较为稀缺的阶段。本研究的核心目标正是着眼于探讨 CAAC 在蛋鸡饲料中的应用效果,通过对比不同饲料组合对鸡蛋品质和营养成分所产生的影响,揭示其在蛋鸡养殖领域的

潜在价值，进而为蛋鸡饲料添加剂的合理开发与科学应用提供可靠的科学依据。

2. 材料与方法

2.1. 实验材料与设计

本研究选取了 400 只 18 周龄的京红 1 号蛋鸡，这些蛋鸡体况良好且产蛋率相近。蛋鸡随机分为 4 个处理组，每组设有 5 个重复，每个重复包含 20 只蛋鸡。具体分组如下：对照组仅饲喂基础日粮；CAAC 处理组饲喂添加了 0.3% CAAC 的基础日粮；Zn + Se 处理组饲喂添加了 0.3 mg/kg 亚硒酸钠和 80 mg/kg 氧化锌的基础日粮；CAAC + Zn + Se 处理组则同时添加了 0.3% CAAC、0.3 mg/kg 亚硒酸钠和 80 mg/kg 氧化锌的基础日粮。

试验鸡采用 4 层立体笼养模式，每笼 3 只蛋鸡，自由采食和饮水，饲养环境为自然光照结合人工补光(16 h/d)，相对湿度维持在 50%~60%，采用自然通风与纵向负压通风相结合的方式。在饲养管理方面，每天清理鸡粪 2 次，每周进行 2 次带鸡消毒，同时按照常规程序进行防疫和免疫。试验分为预试期和正试期，预试期为 2 周，正试期为 8 周，预试期内所有蛋鸡均饲喂基础日粮以适应实验环境和饲料。

2.2. 基础日粮

参考 NRC (1994)禽类饲养标准，以玉米 - 豆粕型为基础日粮，并加以改进。本试验鸡的基础日粮配比和营养水平见表 1。

Table 1. Composition and nutrient levels of the basal diet (dry-mass basis)
表 1. 基础饲料组成及营养水平(干物质基础)

配比	含量(%)
玉米	60
豆粕	25
石粉	10
麦麸	3
磷酸氢钙	1.3
食盐	0.3
预混料	0.4
总计	100

注：预混料为维生素、微量元素等。

2.3. 测定指标和方法

2.3.1. 鸡蛋中锌和硒含量测定

在试验的第 8 周末，从每个重复组中随机选取 5 枚鸡蛋作为样本。对这些鸡蛋进行称重后，将鸡蛋去壳，并使用注射器将蛋黄与蛋清分离。硒含量的测定参考了《食品安全国家标准 食品中硒的测定》(GB 5009.93-2017)，而锌含量的测定则依据了《食品安全国家标准 食品中锌的测定》(GB 5009.14-2017)。

2.3.2. 蛋白质测定

在试验的第 8 周末，从每个重复组中随机抽取 5 枚鸡蛋作为样本，用于测定以下指标：蛋重、蛋黄重量以及哈氏单位。其中，蛋黄比例通过计算蛋黄重量与蛋重的比值来确定。

2.3.3. 蛋黄中胆固醇与卵磷脂测定

鸡蛋中胆固醇的测定使用南京建成的试剂盒。卵磷脂的测定参照朱云芬等人的方法[6]。

2.4. 数据统计与分析

采用 SPSS13.0 数据分析软件对测定结果进行方差分析，采用 Tukey HSD 法进行多重比较分析。

3. 实验结果

3.1. CAAC 对鸡蛋品质的影响

表 2 结果显示，与对照组相比，CAAC 处理组在蛋黄重量和哈氏单位方面表现出显著提升($P < 0.05$)，这表明 CAAC 在改善鸡蛋内部品质方面具有积极效果。

此外，CAAC 与锌、硒的复合处理相比锌、硒处理，仅在蛋重方面产生显著影响($P < 0.05$)，而对蛋黄重量和蛋黄比例的影响未达到显著水平($P > 0.05$)，且复合处理组的哈氏单位低于锌、硒处理组，但差异不显著($P > 0.05$)。这些结果表明，CAAC 在单独使用时对鸡蛋品质有显著提升作用，而在与锌、硒复合使用时，其效果可能受到一定影响，提示在实际应用中需考虑添加剂之间的相互作用。

Table 2. Comparison of egg quality between the experimental and control groups

表 2. 试验组与对照组鸡蛋品质比较

项目	对照组	处理组		
		CAAC	Zn + Se	CAAC + Zn + Se
蛋重(g)	61.02 ± 2.51 ^{ab}	61.00 ± 2.64 ^{ab}	60.18 ± 1.23 ^b	63.76 ± 4.13 ^a
蛋黄重(g)	14.34 ± 0.95 ^b	15.68 ± 0.86 ^a	15.82 ± 1.00 ^{ab}	17.15 ± 1.40 ^a
蛋黄比例(%)	23.49 ± 1.20 ^b	25.72 ± 1.31 ^{ab}	26.30 ± 1.71 ^a	26.99 ± 2.84 ^a
哈氏单位	63.45 ± 1.62 ^c	65.91 ± 1.46 ^b	71.06 ± 4.81 ^a	68.72 ± 2.29 ^{ab}

注：同行数据肩标不同小写字母者表示差异显著($P < 0.05$)，肩标相同或不标注者表示差异不显著($P > 0.05$)。

3.2. CAAC 对鸡蛋中锌和硒含量的影响

根据表 3 结果，与对照组相比，CAAC 显著提高了蛋黄中锌和硒的含量($P < 0.05$)，在蛋清中锌和硒含量方面未达到显著水平($P > 0.05$)。这反映了 CAAC 对蛋黄中营养成分的特异性调节能力。

有趣的是，与锌、硒处理组相比，CAAC 与锌、硒的复合处理显著降低了蛋黄中硒含量($P < 0.05$)，而对蛋黄中锌含量以及蛋清中锌和硒含量的影响未达到显著水平($P > 0.05$)。这一结果暗示，CAAC 可能通过吸附等机制影响锌、硒在蛋鸡体内的分布和吸收，具体机制有待进一步探究。

Table 3. Comparison of zinc and selenium content in eggs between the experimental and control groups

表 3. 试验组与对照组鸡蛋的锌和硒含量比较

项目	对照组	处理组		
		CAAC	Zn + Se	CAAC + Zn + Se
蛋黄 Zn (mg/kg)	34.75 ± 1.70 ^b	39.58 ± 1.93 ^a	40.38 ± 1.53 ^a	38.8 ± 2.51 ^a
蛋黄 Se (mg/kg)	0.64 ± 0.11 ^d	0.75 ± 0.02 ^c	1.27 ± 0.17 ^a	1.07 ± 0.08 ^d
蛋清 Zn (mg/kg)	0.12 ± 0.03 ^b	0.12 ± 0.04 ^b	0.16 ± 0.02 ^a	0.18 ± 0.04 ^a
蛋清 Se (mg/kg)	0.11 ± 0.02 ^b	0.12 ± 0.01 ^b	0.15 ± 0.01 ^a	0.13 ± 0.01 ^{ab}

注：同行数据肩标不同小写字母者表示差异显著($P < 0.05$)，肩标相同或不标注者表示差异不显著($P > 0.05$)。

3.3. CAAC 对胆固醇和卵磷脂含量的影响

根据表 4 结果, 与对照组相比, CAAC 处理组的胆固醇含量显著低于对照组, 而卵磷脂含量则显著高于对照组($P < 0.05$)。这表明 CAAC 可能通过调节蛋鸡体内的代谢过程, 改善鸡蛋的营养品质。

与锌、硒处理组相比, CAAC 与锌、硒的复合处理不能显著改变蛋黄中胆固醇与卵磷脂含量($P > 0.05$)。这进一步证实了 CAAC 在调节鸡蛋营养成分方面的复杂性, 提示在实际应用中需要综合考虑多种因素的影响。

Table 4. Comparison of cholesterol and lecithin content in yolk between experimental and control groups.

表 4. 试验组与对照组蛋黄中胆固醇和卵磷脂含量比较

项目	对照组	处理组		
		CAAC	Zn + Se	CAAC + Zn + Se
胆固醇(mg/g)	17.50 ± 1.61 ^a	16.04 ± 1.64 ^b	14.02 ± 2.17 ^c	15.11 ± 1.65 ^{bc}
卵磷脂(%)	10.54 ± 0.93 ^b	12.93 ± 1.64 ^a	13.43 ± 1.13 ^a	13.38 ± 0.63 ^a

注: 同行数据肩标不同小写字母者表示差异显著($P < 0.05$), 肩标相同或不标注者表示差异不显著($P > 0.05$)。

4. 讨论

本研究深入探讨了 CAAC 对鸡蛋品质及营养成分的影响, 揭示了其在蛋鸡养殖中的潜在应用价值。结果显示, CAAC 在改善鸡蛋品质方面具有显著效果, 能够显著提升蛋黄重量和哈氏单位, 同时显著提高蛋黄中锌和硒的含量, 降低胆固醇含量, 并增加卵磷脂含量。这些效果可能与 CAAC 的多重作用机制有关, 包括吸附肠道毒素、维护肝脏健康以及调节营养元素代谢[7][8]。然而, CAAC 与锌、硒的复合处理在某些指标上表现出复杂的作用, 暗示了 CAAC 与其他添加剂可能存在相互作用, 具体机制尚需进一步研究。

具体而言, CAAC 显著提高了蛋黄中锌和硒的含量, 但对蛋清中锌和硒含量的影响未达到显著水平。这表明 CAAC 主要对蛋黄中的锌和硒含量具有显著的调节作用, 而对蛋清中的影响较小。已有研究表明, 活性炭能够吸附多种微生物毒素与肠道毒性代谢物, 从而改善肠道形态, 减轻腹泻, 并减少肠道炎症的发生[7][8]。此外, 考虑到活性炭可吸附体外环境中的饲料中的重金属等污染物[9], 在饲料中添加活性炭或可以减少动物体内的重金属残留, 提高营养物质的利用率。这可能解释了 CAAC 在提升蛋黄中锌和硒含量方面的作用。

有趣的是, 与锌、硒处理组相比, CAAC 与锌、硒的复合处理显著降低了蛋黄中硒含量, 但对蛋黄中锌含量以及蛋清中锌和硒含量的影响未达到显著水平。这一结果提示 CAAC 可能通过吸附等机制影响锌、硒在蛋鸡体内的分布和吸收。CAAC 本身具有吸附金属离子的能力, 这可能干扰微量元素的吸收和利用[10]。因此, CAAC 与锌、硒之间的相互作用需要进一步探讨, 以优化其在蛋鸡饲料中的应用。

在蛋黄中胆固醇和卵磷脂含量方面, CAAC 显著降低了胆固醇含量, 同时显著提高了卵磷脂含量。这可能与其吸附肠道毒素、维护肝脏健康的作用有关。已有研究表明, 饲料中添加活性炭可以减少动物体内的胆固醇合成, 同时促进卵磷脂的合成与积累[11][12]。此外, 卵磷脂的增加可能与 CAAC 改善蛋鸡脂质代谢有关, 这有助于提升鸡蛋的营养价值。

总体而言, 本研究结果表明 CAAC 在提升鸡蛋品质和营养成分方面具有显著潜力, 但在与其他添加剂复合使用时需谨慎考虑其潜在的相互作用机制。未来研究应进一步探索 CAAC 与其他添加剂的相互作用机制, 以优化蛋鸡饲料配方, 充分发挥 CAAC 在提升鸡蛋品质和营养成分方面的潜力。

5. 结论与展望

本研究通过实验分析,初步探讨了 CAAC 对鸡蛋品质及营养成分的影响。结果显示,CAAC 在提升蛋黄重量和哈氏单位、增加蛋黄中锌和硒含量、降低胆固醇含量以及提高卵磷脂含量方面具有显著效果。这些发现表明,CAAC 作为一种饲料添加剂,能够显著改善鸡蛋的品质和营养成分,具有较高的应用潜力。

尽管如此,本研究也发现 CAAC 与锌、硒复合处理时,在某些指标上表现出复杂的作用。例如,复合处理显著降低了蛋黄中的硒含量,这表明 CAAC 可能通过吸附等机制影响锌、硒在蛋鸡体内的分布和吸收。这一发现提示,在实际应用中,需要进一步研究 CAAC 与其他添加剂的相互作用机制,以优化其在蛋鸡饲料中的应用效果。

未来的研究方向应聚焦于深入探索 CAAC 与其他添加剂之间的相互作用机制,特别是其对微量元素吸收和利用的影响。此外,还需评估 CAAC 在不同饲养环境和蛋鸡品种中的应用效果,以及其在实际生产中的可行性和经济性。通过这些研究,可以为蛋鸡养殖业提供更为科学、高效的饲料添加剂解决方案,进一步促进鸡蛋品质的提升和营养成分的优化。

基金项目

北京农业职业学院院级科研项目(XY-YF-20-10)。

参考文献

- [1] 赵文旭,潘金海,彭昕,等. 不同浓度有机微量元素复合物对蛋鸡生产性能及鸡蛋品质的影响[J]. 中国家禽, 2020, 42(11): 45-50.
- [2] 高珊,衡诺,郭勇,等. 饲料中添加生物活性硒对蛋鸡生产性能、蛋品质和蛋黄中硒含量的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2021, 47(2): 261-267.
- [3] 张海燕,兰晓薇. 锌在蛋鸡生产中的实践应用研究进展[J]. 畜牧兽医科技信息, 2022(2): 11-13.
- [4] Jagadeesh, N. and Sundaram, B. (2023) Adsorption of Pollutants from Wastewater by Biochar: A Review. *Journal of Hazardous Materials Advances*, **9**, Article 100226. <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2022.100226>
- [5] Kihal, A., Rodríguez-Prado, M. and Calsamiglia, S. (2022) The Efficacy of Mycotoxin Binders to Control Mycotoxins in Feeds and the Potential Risk of Interactions with Nutrient: A Review. *Journal of Animal Science*, **100**, 1-14.
- [6] 朱云芬,陈宽维,葛庆联,等. 分光光度法测定鸡蛋黄卵磷脂含量[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(4): 853-856.
- [7] Holanda, D.M. and Kim, S.W. (2021) Mycotoxin Occurrence, Toxicity, and Detoxifying Agents in Pig Production with an Emphasis on Deoxynivalenol. *Toxins*, **13**, Article 171. <https://doi.org/10.3390/toxins13020171>
- [8] Zhang, Y., Fu, X., Wang, L., Guo, X. and Dong, B. (2024) Sorption of Phenols and Flavonoids on Activated Charcoal Improves Protein Metabolism, Antioxidant Status, Immunity, and Intestinal Morphology in Broilers. *Frontiers in Veterinary Science*, **10**, Article 1327455. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1327455>
- [9] 尹杰,叶子馨,于纹鉴,等. 活性炭对养殖底泥中复合污染物(HMs 和 PAHs)的稳定化研究[C]//中国毒理学会环境与生态毒理专业委员会. 中国毒理学会环境与生态毒理专业委员会第七届学术研讨会论文集摘要集. 2021: 24-25.
- [10] 刘业. 硒修饰吸附剂对燃煤烟气中零价汞吸附的研究[D]: [硕士学位论文]. 上海: 华东理工大学, 2022.
- [11] Hu, G., Xiong, J., Liu, Y., Yang, H., Hu, L., Chen, P., et al. (2022) Effects of Lecithin Supplementation in Feed of Different Fat Levels on Serum Indexes and Liver Health of Laying Hens. *Frontiers in Physiology*, **13**, Article 892585. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.892585>
- [12] Chen, W., Meng, J., Han, X., Lan, Y. and Zhang, W. (2019) Past, Present, and Future of Biochar. *Biochar*, **1**, 75-87. <https://doi.org/10.1007/s42773-019-00008-3>