

张蓉,尚以顺,吴佳海,等.鸡蛋脂肪酸组成营养调控的研究进展[J].江苏农业科学,2019,47(21):67-71.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.015

鸡蛋脂肪酸组成营养调控的研究进展

张蓉¹,尚以顺¹,吴佳海¹,牟琼¹,陈光吉¹,李小冬¹,班宋智²,张靖³

(1. 贵州省农业科学院草业研究所,贵州贵阳 550006; 2. 贵州省长顺县鼓扬联富绿壳蛋鸡养殖农民专业合作社,贵州长顺 550707;
3. 贵州黄平农博翔有限责任公司,贵州黄平 556100)

摘要:本文首先介绍了营养调控鸡蛋脂肪酸组成对生产高品质鸡蛋产品的意义,然后通过综述鸡蛋脂质的组成特点,影响鸡蛋脂质代谢的转录途径调控、翻译后调控和激素调控三大调控途径,以及目前国内外学者采取的调控方法,包括饲料中不同脂肪酸源和抗氧化剂等,并根据调控机制提出植物提取物可能成为未来调控鸡蛋脂肪酸组成的研究方向,为后续改善鸡蛋脂肪酸组成的研究提供参考。

关键词:脂肪酸组成;营养调控;鸡蛋;脂质代谢;转录途径调控;翻译后调控;激素调控;研究进展

中图分类号: TS253.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)21-0067-04

脂肪酸是甘油三酯、磷脂以及其他复合脂类的重要成分,是人类能量来源之一,也是机体生物膜的重要组成部分。大量研究证明,人类膳食中脂肪酸组成是影响其机体健康的重要因子,提高饱和脂肪酸(saturated fatty acids, SFA)和胆固醇的摄入量会引发炎症反应和胰岛素抵抗,进而增加冠心病、中风和心血管疾病的患病风险^[1];而多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)则具有正向的生物学功能,如提高亚油酸(linoleic acid, LA)和 α -亚麻酸(linolenic acid, ALA)摄入可降低机体血液中胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇(low density lipoprotein cholesterol, LDL-C)浓度^[2],增强胰岛素敏感性^[3],降低心血管疾病发生率^[4];花生四烯酸(arachidonic acid, ARA)和二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid, DHA)则是婴幼儿大脑和行为发育不可缺少的有益物质^[5-6]等。因此,消费者愈加重视膳食中脂肪酸来源和组成。

鸡蛋富含蛋白质、脂质和微量元素等营养物质,其必需氨基酸组成及比例与人体对氨基酸的需求接近,在人类基础营养中发挥举足轻重的作用。然而,鸡蛋中 SFA(3 g/100 g)和胆固醇(200~300 mg/100 g)的含量较高,成为鸡蛋消费的限制因素之一^[7],因此生产高 PUFA 和低胆固醇含量的鸡蛋,为人类提供更为健康的蛋类食品成为研究者追求的重要目标。研究表明,鸡蛋脂质组成的变化是蛋鸡脂质合成和代谢发生改变的结果,而营养调控是主要途径之一^[8]。笔者回顾了国内外学者近年来在鸡蛋脂肪酸组成、蛋鸡脂质代谢调控途径和饲料营养因子调控进展等方面的研究工作,以期对鸡蛋品

质调控的后续研究提供借鉴。

1 鸡蛋脂质成分和脂肪酸组成

研究表明,鸡蛋中总脂肪含量为 30%~33%,而 99% 以上的脂类成分存在于蛋黄中,这些脂类可分为真脂(即甘油三酯)、磷脂和胆固醇 3 类。其中,真脂含量最多,约占蛋黄总量的 20%(占脂肪的 62.3%),其次是磷脂类,约占 10%(脂肪的 32.8%),胆固醇占脂肪的 4.9%^[9]。而不同品种鸡蛋中脂类和脂肪酸组成具有显著差异,谢绿绿研究了海兰褐壳鸡蛋、尼克粉蛋、江汉土鸡蛋、农大三号鸡蛋、绿壳蛋、乌鸡蛋 6 个品种鸡蛋的脂质和脂肪酸组成,结果表明,6 种鸡蛋中总脂含量为 32.7~34.4 g/100 g,磷脂含量为 118~189 mg/100 g,胆固醇含量为 8.2~12.4 mg/100 g;6 种鸡蛋中脂肪酸含量最多的是油酸 C18:1 和棕榈酸 C16:0,平均分别达 46% 和 30%,其次是亚油酸 C18:2、硬脂酸 C18:0 和棕榈油酸 C16:1,在 3%~12% 范围,而亚麻酸 C18:3、花生四烯酸 C20:4、二十二碳六烯酸 C22:6 和肉寇豆酸 C14:0 含量较少,均小于 2%;同时还发现,绿壳鸡蛋 n-3 多不饱和脂肪酸含量显著高于其他几种鸡蛋,达 2.05%,因此绿壳鸡蛋脂质结构更有利于人类膳食健康^[10]。总的来说,鸡蛋中对人体有利的多不饱和脂肪酸含量偏低,还有很大的改善空间。

2 蛋鸡脂质代谢调控途径

研究表明,蛋鸡体内超过 80% 的脂肪酸是由肝脏产生的,因此肝脏在调节禽类脂质代谢过程中发挥着独特的核心作用,肝脏脂质代谢的变化反映了蛋黄形成过程中对脂质的需求^[11]。脂质在肝脏内的合成、运输和代谢过程较为复杂,受多种因素的影响,目前研究较为深入的调控途径包括转录调控、翻译后调控和激素调控 3 个层面。

2.1 转录调控

目前报道的调控肝脏脂质代谢的转录因子包括过氧化物酶体增殖物激活受体 α (peroxisome proliferators-activated receptors, PPAR α)和叉头框蛋白 O1(forkhead box protein O1,

收稿日期:2019-06-12

基金项目:贵州省农业科学院青年基金(编号:黔农科院青年基金[2019]24号);贵州省科技计划(编号:黔科合成果[2017]4117、黔科合成果[2019]4209、黔科合平台人才[2017]5210-1);贵州省农业科学院科技创新项目(编号:黔农科院科技创新[2017]01号)。

作者简介:张蓉(1991—),女,贵州思南人,硕士,研究实习员,主要从事家禽营养研究。E-mail:974213739@qq.com。

通信作者:尚以顺,硕士,研究员,主要从事草畜耦合配套技术研究。E-mail:2892486467@qq.com。

FOXO1)。其中,PPAR α 诱导参与脂肪酸吸收、运输和活化等过程酶的基因表达^[12]:(1)脂肪酸吸收,PPAR α 通过诱导上调脂肪酸转位酶 CD36 基因,促进肠道中脂肪酸的跨膜转运入血^[13];(2)脂肪酸运输,PPAR α 通过诱导上调肝型脂肪酸结合蛋白(liver fatty acid binding protein, LFABP)的基因表达,加速细胞器之间的脂肪酸穿梭,促进脂肪酸运输^[14];(3)脂肪酸活化,PPAR α 通过诱导调控长链酰基 A 合成酶家族(long chain acyl - CoA synthetase, ACSL)基因的表达,一方面活化脂肪酸的从头合成纳入甘油三酯和磷脂中,改变脂肪酸的饱和状态,另一方面参与肝脏线粒体活化脂肪酸进行 β 氧化,增强能量供应^[15]。而 FOXO1 主要是通过诱导甘油三酯脂酶(adipose triglyceride lipase, ATGL)基因表达,调控细胞脂滴的形成。因此,转录水平的调控途径是一个复杂综合的过程,目前还需研究清楚的是营养因子在脂肪酸转录调控因子中的作用机制。

2.2 翻译后调控

研究已证明,脂肪酸代谢受机体细胞能量状态的高度调节,目前发现 AMP 蛋白激酶 K (AMP - activated protein kinase, AMPK) 作为细胞能量的计量器,是分割肝脏脂肪酸合成和代谢途径之间的一个翻译后关键节点,当细胞能量较高时,它一方面介导脂肪酸从头合成中的关键酶乙酰辅酶 A 羧化酶(acetyl - CoA carboxylase, ACC)的磷酸化,致使其活性减弱,从而减弱脂肪酸的合成,另一方面减弱了丙二酸单酰辅酶 A 对线粒体脂肪酸氧化限速酶肉碱棕榈酰转移酶 α 的抑制,从而增强脂肪酸的氧化^[16]。然而,翻译后的调控未体现各类型的脂肪酸去饱和酶的作用机制,因此脱氢酶与去饱和酶的调控机制可能是未来脂肪酸代谢研究的重要方向之一。

2.3 激素调控

目前研究较为清楚的脂质代谢调控途径是激素调控机制,主要涉及胰岛素、皮质醇、甲状腺素、瘦素和脂联素。动物进食后,胰岛素被释放到血液中,抑制激素敏感脂酶(hormone - sensitive lipase, HSL)的活性,减弱甘油三酯的水解,增强细胞能量匮乏时的氧化供能效率^[17],因此胰岛素是通过和 HSL 之间的密切关系对机体脂质代谢进行调控。皮质醇则是机体应激状态下释放的一种糖皮质激素,它对脂质代谢的调控是通过与胰岛素的拮抗作用来实现的^[18],而研究已证明,甲状腺激素与胆固醇的生成呈显著负相关关系^[19]。瘦素是营养素摄取的一个关键调节器,且能调节脂质代谢,瘦素主要由白色脂肪组织分泌,它主要是通过刺激大脑释放饱感信号,抑制脂滴进一步形成脂肪组织引起的肥胖症^[20]。脂联素也同样是平衡脂肪酸沉积和代谢的调节激素,它通过调节干细胞中胰岛素受体底物间接调控脂质代谢过程^[21]。总的来说,由于脂质代谢过程的复杂性和各组分的联动性,3 个层次的调控途径目前还未完全被揭示,且动物产品富集的脂肪酸组成(主要是饱和度类型)的调控机制未在这 3 个层面上充分体现。因此,目前采取的主要措施是改变蛋鸡饲料的脂肪酸类型的直接法和添加抗氧化剂的间接法来实现。

3 饲料中不同脂肪酸源

研究表明,母鸡有能力将饲料中的脂肪沉积到蛋黄中,并改变鸡蛋的脂质组成^[22],因此,直接添加不同来源油脂是调

控鸡蛋脂肪酸组成的经典思路,目前报道较多的包括亚麻籽(油)、鱼油、微藻(油)、菜籽油和其他油脂。

3.1 亚麻籽(油)

亚麻籽含油 35% ~ 45%, 是 n - 3 PUFA 最为丰富的植物来源之一,且被认为是生产成本最低的 ALA 植物来源,被广泛用于保健食品、医药等领域,德国、日本等将亚麻籽油作为药物辅助产品或食品添加剂,用于预防心血管疾病、癌症、过敏性疾病等多种疾病,美国国家癌症研究所更将其列为抗癌食品^[23]。基于此,亚麻籽用于调控鸡蛋脂质组成的研究最多。从脂肪酸富集趋势看,蛋黄总 n - 3 PUFA、ALA、DHA 和二十碳五烯酸(EPA)沉积量随亚麻籽添加水平增加呈线性增加趋势^[24]。

从沉积量上看,产蛋鸡饲喂 10% 亚麻籽,1 枚鸡蛋中(1 枚鸡蛋以 50 g 计算)总 n - 3 PUFA 沉积量由 99.8 mg 升高到 415.4 mg,提高了 3.16 倍,其中 ALA 沉积量由 38.5 mg 提高到 306.3 mg,提高了 6.96 倍,DHA 沉积量由 53.3 mg 提高到 83.7 mg,提高了 0.57 倍^[25],而 EPA 和 DHA 在蛋鸡体内可由 ALA 经过脱氢和碳链延长作用转化而来,转化效率较低,约为 6%,因此蛋鸡饲喂亚麻籽对鸡蛋 EPA 和 DHA 含量的提高较为有限^[26]。同时,由于 n - 3 PUFA 和 n - 6 PUFA 竞争利用同一组脱氢酶和碳链延长酶,催化去饱和与碳链延长过程,而 n - 3 PUFA 与这组酶的亲和力远远超过 n - 6 PUFA,因此,提高日粮中 n - 3 PUFA 含量能抑制 n - 6 PUFA 的合成,导致蛋黄中沉积量减少^[27]。

从亚麻籽适宜添加量上看,添加过量的亚麻籽导致日粮纤维水平过高,食糜在肠道排空速度太快,不利于肠道中营养物质的消化和吸收,不利于生产性能,同时鸡蛋中 n - 3 PUFA 沉积量可能会随亚麻籽的添加水平不增反降,因此,Coorey 等认为,蛋鸡日粮中添加亚麻籽上限水平为 20%^[28]。

3.2 鱼油和微藻(油)

人类所需的 EPA 和 DHA 主要是在藻类中合成,鱼类或其他海洋动物摄取后蓄积,故鱼油和微藻油本身富含 EPA 和 DHA。Lawlor 等在蛋鸡日粮中添加 2%、4% 和 6% 的微胶囊化鱼油,结果表明,蛋黄中 EPA 和 DHA 的沉积量随鱼油添加水平增加而增加,鸡蛋中 EPA 的沉积量分别为 12、24、40 mg/枚,DHA 的沉积量分别为 96、129、162 mg/枚,但沉积效率却不断下降^[29]。同样,添加微藻油可以得到类似的结果,但适宜添加量较鱼油低^[30]。鱼油和微藻油促进蛋黄沉积 EPA 和 DHA 的效率不同,Herber 等研究得出,尽管饲料中添加 1.5% 鱼油提供的 n - 3 PUFA 比 2.4% 海藻的多,但两者沉积效果相似,故认为海藻沉积 n - 3 PUFA 效果优于鱼油,但海藻添加量不宜超过 4.8%^[31]。然而,最新研究中有不一致的结果,龙烁等比较了鱼油和微藻油对海兰褐鸡蛋黄中脂肪酸组成的影响,结果表明,相同 DHA 添加水平下,鱼油比微藻油更能促进蛋黄 DHA 的沉积,且添加水平为 1.35 mg/g 时 DHA 沉积效率最高^[32],不一致须在未来的研究中进一步揭示。总的来说,在实际的蛋鸡配方中,选择鱼油或微藻(油)很大程度上取决于两者的成本。

3.3 菜籽油

油菜是世界上第二大油料作物,在我国、加拿大、欧洲、印度及澳大利亚广泛种植,我国油菜的种植面积和总产量约占

世界的1/4,菜籽油占国产植物油总量的42.8%,是我国主要的国产油脂之一^[33]。此外,由于菜籽油中不饱和脂肪酸(UFA)含量较高(油酸51%~70%、亚油酸15%~30%、亚麻酸5%~14%)成为蛋鸡饲料中油脂选择对象之一,但添加效应不一致。有研究认为,蛋鸡饲料中添加菜籽油能显著增加油酸的含量,降低亚油酸的含量,单不饱和脂肪酸含量增加,多不饱和脂肪酸含量降低,对蛋黄中胆固醇含量没有影响^[34~35];但也有研究指出,饲料中的菜籽油会显著提高鸡蛋中胆固醇含量^[36~37],不一致结果可能与研究者应用的菜籽油来源(甘蓝型、芥菜型、双低菜籽油等)有关。因此,菜籽油作为改善鸡蛋脂肪酸组成的油脂类添加剂与菜籽油的类型有关,具体应用须根据实际情况进行考虑。

3.4 其他油脂

除了常见的上述3种油脂外,学者们还做了一些特殊油脂在蛋鸡饲料中添加效应的研究,包括月见草油和水飞蓟油等。

月见草(*Oenothera stricta*)又称待霄草,俗名夜来香、山芝麻,属柳叶菜科1年或2年生草本植物,是我国东北长白山区重要的野生植物资源。由于月见草种子中含有大量的不饱和脂肪酸,特别是丰富的 γ -ALA和LA,因此提取出的月见草油是良好的保健佳品,具有防治动脉硬化、冠心病、糖尿病等功效,目前广泛应用于医药、食品、化工等领域^[38]。关于月见草油改善鸡蛋脂肪酸组成的研究,郭宝海在23周龄罗曼褐壳蛋鸡饲料中添加2%、3%、4%月见草油,结果表明,随着添加量提高,蛋黄中胆固醇含量显著降低,分别比对照组降低18.7%、27.7%和38.7%, $n-6$ PUFA含量分别提高41.23%、58.9%和78.4%,而 $n-3$ PUFA含量呈先升高后降低的趋势,分别提高25.8%、15.6%和3.0%,可看出月见草油改善鸡蛋脂肪酸组成上具有极为明显的效果,综合 $n-6$ PUFA和 $n-3$ PUFA含量的变化规律,认为3%的添加量较为适宜^[39]。

水飞蓟(*Silybum marianum*)为1~2年生菊科水飞蓟属(*Silybum*)草本植物,我国自1972年从德国引进试种,由于水飞蓟种子含油率较高(23.71%~28.75%),其油脂质量与大豆油、花生油和菜籽油相媲美,且价格相对低廉,因此目前已在陕西、湖北、黑龙江和江苏等地形成规模化种植^[40],在饲料行业也有所应用。卢建等在如皋黄鸡饲料中添加3%水飞蓟油,提高了蛋黄中ALA和DHA的含量,且对产蛋性能和其他蛋品质指标无不良影响^[41]。

其他蛋鸡饲料用的油脂还包括裂殖壶菌油、胡麻油和牛油等,对鸡蛋的脂肪酸组成均有不同程度的调控^[42~43],配方师一般根据其生产目的结合所在地的资源进行适当选择。

4 抗氧化剂

研究表明,由于PUFA易氧化,故提高鸡蛋PUFA含量可能会降低鸡蛋风味,同时PUFA中的不饱和键易转变为单键,造成脂肪酸的2次转变^[44],因此抗氧化物质成为蛋鸡营养学家用于调控和稳定鸡蛋中PUFA含量的途径。目前研究较多的主要是维生素E和植物提取物。齐广海报道,全蛋脂质中 $n-3$ PUFA含量达到10%时,贮存仍然相当稳定,但更好含量则需要额外补充维生素E^[45]。同样,高占峰等指出,建议

鱼油和亚麻籽为油脂源的蛋鸡饲料中维生素E添加量在200 g/t以上^[46]。然而,还未见提高维生素E添加量稳定鸡蛋PUFA作用机制的报道。

5 展望

近年来,随着饲料工业“无抗”时代的来临,天然植物天然活性成分由于其无抗药性、无副作用等特点使其在畜禽生产应用中越来越受到重视。而大量研究证实,天然活性成分如黄酮类、多糖类、绿原酸、花青素、茶多酚等具有提高免疫力、抗应激、抗氧化、改善肠道微生态平衡等作用,而其中的抗氧化作用可能成为营养学家考虑的调控或稳定鸡蛋中PUFA含量的重要方面。

张丽娜研究发现,主要有效成分为多糖、黄酮和皂苷的苜蓿素添加到海兰褐蛋鸡饲料中(1 500 mg/kg)会显著降低蛋黄中胆固醇和甘油三酯的含量^[47],研究者在大豆异黄酮^[48](800 g/t)、绿茶粉^[49](1.5%)、葡萄籽提取物^[50]和菊苣多糖(300 mg/kg)^[51]的研究中也得到类似结果,可见含有较多活性成分的功能性植物在饲料工业中的应用前景较为广阔。然而,一方面上述研究多数止步于蛋鸡的脂质代谢或总胆固醇的作用效应上,未深入到蛋鸡转录调控和翻译后调控等途径揭示其作用机制,因此在理论上还须进一步研究;另一方面在生产上植物天然活性成分的应用还面临提取成本较高、暂时难以量产的问题。因此,在实际应用中建议优先研究直接添加含有活性成分的植物,如月见草、水飞蓟、杜仲、菊苣、金荞麦等,观察活性成分的利用率、鸡蛋脂肪酸组成的调控规律等方面,可降低饲养成本,同时为某种植物天然活性成分的集中量产提取提供支撑。

参考文献:

- [1] Siri-Tarino P W, Sun Q, Hu F B, et al. Meta-analysis of prospective cohort studies evaluating the association of saturated fat with cardiovascular disease [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2010, 91(3): 535-546.
- [2] Hooper L, Martin N, Abdelhamid A, et al. Reduction in saturated fat intake for cardiovascular disease [J]. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2015, 10(6): CD011737.
- [3] Riserus U, Willett W C, Hu F B. Dietary fats and prevention of type 2 diabetes [J]. Progress in Lipid Research, 2009, 48(1): 44-51.
- [4] Jakobsen M U, O'reilly E J, Heitmann B L, et al. Major types of dietary fat and risk of coronary heart disease: a pooled analysis of 11 cohort studies [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2009, 89(5): 1425-1432.
- [5] Khairallah R J, Sparagna G C, Khanna N, et al. Dietary supplementation with docosahexaenoic acid, but not eicosapentaenoic acid, remodels cardiac mitochondrial phospholipid fatty acid composition and prevents permeability transition [J]. Biochimica et Biophysica Acta (Bioenergetics), 2010, 1797(Sup): 80-81.
- [6] Calder P C. Very long chain omega-3 ($n-3$) fatty acids and human health [J]. European Journal of Lipid Science and Technology, 2014, 116(10): 1280-1300.
- [7] Li Y H, Zhou C H, Zhou X L, et al. Egg consumption and risk of cardiovascular diseases and diabetes: a meta-analysis [J]. Atherosclerosis, 2013, 229(2): 524-530.

- [8] Ajuyah A O, Cherian G, Wang Y, et al. Maternal dietary FA modulate the long - chain n - 3 PUFA status of chick cardiac tissue [J]. *Lipids*, 2003, 38 (12) : 1257 - 1261.
- [9] Stadelman W J, Cotterill O J. Egg science and technology [M]. 4th ed. New York : Routledge, 2018.
- [10] 谢绿绿. 鸡蛋黄中脂质成分及脂肪酸组成分析研究 [D]. 武汉 : 华中农业大学, 2011.
- [11] Lee B K, Kim J S, Ahn H J, et al. Changes in hepatic lipid parameters and hepatic messenger ribonucleic acid expression following estradiol administration in laying hens (*Gallus domesticus*) [J]. *Poultry Science*, 2010, 89 (12) : 2660 - 2667.
- [12] Mandard S, Müller M, Kersten S. Peroxisome proliferator - activated receptor alpha target genes [J]. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 2004, 61 (4) : 393 - 416.
- [13] Podszun M C, Grebenstein N, Spruss A, et al. Dietary α - tocopherol and atorvastatin reduce high - fat - induced lipid accumulation and down - regulate CD36 protein in the liver of guinea pigs [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2014, 25 (5) : 573 - 579.
- [14] Newberry E P, Xie Y, Kennedy S, et al. Decreased hepatic triglyceride accumulation and altered fatty acid uptake in mice with deletion of the liver fatty acid - binding protein gene [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2003, 278 (51) : 51664 - 51672.
- [15] Li L O, Ellis J M, Paich H A, et al. Liver - specific loss of long chain acyl - CoA synthetase - 1 decreases triacylglycerol synthesis and beta - oxidation and alters phospholipid fatty acid composition [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2009, 284 (41) : 27816 - 27826.
- [16] Peterson J M, Aja S, Wei Z K, et al. CTRP1 protein enhances fatty acid oxidation via AMP - activated protein kinase (AMPK) activation and acetyl - CoA carboxylase (ACC) inhibition [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2012, 287 (2) : 1576 - 1587.
- [17] Lass A, Zimmermann R, Oberer M, et al. Lipolysis—a highly regulated multi - enzyme complex mediates the catabolism of cellular fat stores [J]. *Progress in Lipid Research*, 2011, 50 (1/2/3/4) : 14 - 27.
- [18] Pickett A J, Wright D C, Riddell M C, et al. The effects of glucocorticoids on adipose tissue lipid metabolism [J]. *Metabolism*, 2011, 60 (11) : 1500 - 1510.
- [19] Chin K Y, Ima - Nirwana S, Mohamed I N, et al. The relationships between thyroid hormones and thyroid - stimulating hormone with lipid profile in euthyroid men [J]. *International Journal of Medical Sciences*, 2014, 11 (4) : 349 - 355.
- [20] St niz N, Barrenetxe J, Moreno - Aliaga M J, et al. Leptin resistance and diet - induced obesity: central and peripheral actions of leptin [J]. *Metabolism*, 2015, 64 (1) : 35 - 46.
- [21] Awazawa M, Ueki K, Inabe K, et al. Adiponectin enhances insulin sensitivity by increasing hepatic IRS - 2 expression via a macrophage - derived IL - 6 - dependent pathway [J]. *Cell Metabolism*, 2011, 13 (4) : 401 - 412.
- [22] 赵 利, 党占海, 李 毅, 等. 亚麻籽的保健功能和开发利用 [J]. *中国油脂*, 2006, 31 (3) : 71 - 74.
- [23] 郭永利, 范丽娟. 亚麻籽的保健功效和药用价值 [J]. *中国麻业科学*, 2007, 29 (3) : 147 - 149.
- [24] Ehr I J, Persia M E, Bobeck E A. Comparative omega - 3 fatty acid enrichment of egg yolks from first - cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed [J]. *Poultry Science*, 2017, 96 (6) : 1791 - 1799.
- [25] Bean L D, Leeson S. Long - term effects of feeding flaxseed on performance and egg fatty acid composition of brown and white hens [J]. *Poultry Science*, 2003, 82 (3) : 388 - 394.
- [26] Gregory M K, Geier M S, Gibson R A, et al. Functional characterization of the chicken fatty acid elongases [J]. *Journal of Nutrition*, 2013, 143 (1) : 12 - 16.
- [27] Hayat Z, Cherian G, Pasha T N, et al. Effect of feeding flax and two types of antioxidants on egg production, egg quality, and lipid composition of eggs [J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2009, 18 (3) : 541 - 551.
- [28] Coorey R, Novinda A, Williams H, et al. Omega - 3 fatty acid profile of eggs from laying hens fed diets supplemented with Chia, fish oil, and flaxseed [J]. *Journal of Food Science*, 2015, 80 (1) : 180 - 187.
- [29] Lawlor J B, Gaudette N, Dickson T, et al. Fatty acid profile and sensory characteristics of table eggs from laying hens fed diets containing microencapsulated fish oil [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2010, 156 (3/4) : 97 - 103.
- [30] Ao T, Macalintal L M, Paul M A, et al. Effects of supplementing microalgae in laying hen diets on productive performance, fatty - acid profile, and oxidative stability of eggs [J]. *Journal of Applied Poultry Research*, 2015, 24 (3) : 394 - 400.
- [31] Herber S M, van Elsawy M E. Dietary marine algae promotes efficient deposition of n - 3 fatty acids for the production of enriched shell eggs [J]. *Poultry Science*, 1996, 75 (12) : 1501 - 1507.
- [32] 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.
- [33] 姚英政, 董 玲, 黎 剑, 等. 冷榨与热榨工艺对双低菜籽油品质影响 [J]. *粮食与油脂*, 2016, 29 (3) : 28 - 31.
- [34] Ceylan N, Ciftci I, Mizrak C, et al. Influence of different dietary oil sources on performance and fatty acid profile of egg yolk in laying hens [J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2011, 20 (1) : 71 - 83.
- [35] Piccini R A A, Hobuss C B, B ttow R V F, et al. Canola oil and organic selenium in quail diets: fatty acid profile, cholesterol content and external egg quality [J]. *Semina - Ciencias Agrarias*, 2016, 37 (1) : 405 - 414.
- [36] Rowghani E, Arab M, Nazifi S, et al. Effect of canola oil on cholesterol and fatty acid composition of egg - yolk of laying hens [J]. *International Journal Poultry Science*, 2007, 6 (2) : 111 - 114.
- [37] Gul M, Yoruk M A, Aksu T, et al. The effect of different levels of canola oil on performance, egg shell quality and fatty acid composition of laying hens [J]. *International Journal Poultry Science*, 2012, 11 (12) : 769 - 776.
- [38] 郭宝海, 马秋刚, 计 成, 等. 日粮中添加月苋草油与胡麻油对蛋黄脂肪酸的影响 [J]. *中国农业大学学报*, 2003, 8 (3) : 91 - 94.
- [39] 郭宝海. 月苋草油和胡麻油对鸡蛋中脂肪酸生物转化的影响 [D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [40] 穆同娜, 孙 婷, 吴燕涛, 等. 三种食用植物油中不饱和脂肪酸含量调查 [J]. *粮油食品科技*, 2011, 19 (3) : 36 - 38.
- [41] 卢 建, 曲 亮, 李守龙, 等. 水飞蓟油对蛋鸡产蛋性能、蛋品质及鸡蛋脂肪酸组成的影响 [J]. *动物营养学报*, 2015, 27 (12) : 3831 - 3839.

梁晋刚,徐俊锋,焦悦,等.转基因作物快速检测技术进展与展望[J].江苏农业科学,2019,47(21):71-74.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.21.016

转基因作物快速检测技术进展与展望

梁晋刚¹,徐俊锋²,焦悦¹,刘鹏程¹,张秀杰¹

(1.农业农村部科技发展中心,北京 100176; 2.浙江省农业科学院农产品质量标准研究所,浙江杭州 310021)

摘要:转基因检测作为转基因生物安全评价、监管和标识管理的重要支撑,可有效防范未经安全评价和品种审定的转基因作物非法扩散,保障我国农业转基因生物产业健康发展。随着现代生物技术的发展,转基因检测技术也在朝着快速、简便、高通量、自动化等方向发展,转基因快速检测技术越来越得到广泛运用并在监管过程中发挥了重要作用。本文简要介绍了转基因作物快速检测技术的发展现状,并讨论了几种快速检测技术存在的问题,最后总结归纳了转基因作物检测存在的新问题,为我国转基因作物的安全监管提供参考。

关键词:转基因作物;快速检测技术;监管;研究进展;展望

中图分类号: Q785 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)21-0071-04

许多转基因生物被研发公司给予不同的商品名称,以便在市场上进行商业化运作。然而其遗传性状和商品名不一定完全相同,即具有不同商品名称的转基因生物可能具有相同的遗传性状,以相同商品名称出售的转基因生物可能包含不同的遗传性状。因此,明确产品含有何种转基因成分的唯一方法就是通过转基因生物检测。

自 1996 年转基因作物商业化以来,转基因技术研究范围不断扩大,全球转基因作物种植面积持续增加。2017 年,全球转基因作物种植面积达到 1.898 亿 hm^2 ,转基因作物在带来巨大经济效益和生态效益的同时,其潜在风险也一直饱受争议,因此建立快速且准确地转基因检测体系十分重要^[1]。

国际上批准商业化种植的转基因作物经过了最为严格的安全评价与检测,也建立了有史以来最为严格的监管体系^[2]。我国同样十分重视农业转基因生物安全管理工作,每年都会组织开展农业转基因生物安全监管工作,一些相关的

检测手段也正在不断地完善中。从 2002 年起,农业部发布了一系列农业转基因生物安全标准,截至 2017 年 12 月,现行有效的标准共 176 项,其中,产品成分检测类的标准有 100 项^[3]。作为法规实施的重要技术保障,农业转基因标准在安全评价、安全监管、检测监测和产品标识等方面发挥了重要作用。转基因作物管理的完善,需要快速而简便的检测方法。

一方面转基因作物种植面积逐年上升,品系(事件)越来越多,元件构成越来越复杂,另一方面转基因作物对人和环境的安全性问题也备受争议,同时转基因作物非法种植、流通及低水平混杂现象时有发生。因此许多国家都制定了相应的定性定量检测和标识制度。我国严格按照法律法规开展转基因安全评价和安全管理,只有通过安全评价后,方可获得生产应用安全证书。然而目前监管实践中却依然缺乏对转基因成分进行高通量、快速高效、操作简单、低成本的检测技术与配套产品。

1 转基因作物检测技术研究进展

1.1 商业化转基因作物的主要外源元件

目前国内外转基因生物研发迅猛,各种新型的转化体系层出不穷,给转基因检测工作带来极大挑战。现国内外商业化转基因作物主要有玉米、大豆、棉花、水稻、油菜,这 5 类主要转基因作物的外源插入基因序列按启动子、终止子、目的基因、标记基因进行分类统计分析,主要检测元件包括:转基因

收稿日期:2018-07-24

基金项目:转基因生物新品种培育科技重大专项(编号:2016ZX08011-003)。

作者简介:梁晋刚(1987—),男,山西阳泉人,博士,农艺师,主要从事转基因生物安全评价与检测研究。E-mail:382408162@qq.com。
通信作者:张秀杰,副研究员,主要从事转基因生物安全评价与检测研究。E-mail:zhxj7410@sina.com。

[42]王浩.胆碱和裂殖壶菌油对鸡蛋中二十二碳六烯酸富集的影响[D].哈尔滨:东北农业大学,2018.

[43]马海滨.日粮中添加不同油脂对鸡蛋不饱和脂肪酸含量和蛋白质的影响[D].北京:中国农业科学院,2009.

[44]Nash D M, Hamilton R M G, Hulan H W. The effect of dietary herring meal on the omega-3 fatty acid content of plasma and egg yolk lipids of laying hens[J]. Canadian Journal of Animal Science, 1995, 75(2):247-253.

[45]齐广海.生育酚在脂肪酸调控鸡体内的代谢及其对产品的作用[D].北京:中国农业科学院,1995.

[46]高占峰,汪鲲,齐广海,等.日粮 n-3 多不饱和脂肪酸对蛋黄

脂质稳定性的影响[J].中国饲料,2000(11):8-11.

[47]张丽娜.百草素对蛋鸡生产性能及其鸡蛋与组织脂质的影响[D].扬州:扬州大学,2010.

[48]李晓玲.大豆异黄酮对蛋鸡生产性能和脂类代谢的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2016.

[49]王秋实.日粮中添加绿茶粉对鸡蛋品质和蛋鸡脂肪代谢的影响[D].合肥:安徽农业大学,2016.

[50]龙彬.金银花、蓝莓、葡萄籽提取物对蛋鸡生产性能、蛋品质、脂质代谢及免疫力的影响[D].重庆:西南大学,2018.

[51]杨研君.菊苣多糖对蛋鸡生产性能、蛋品质及脂类代谢的影响[D].长春:吉林农业大学,2018.