

日粮添加鱼油对母猪繁殖性能的影响

卓勇^{1,2} 吴德^{1,2*} 方正锋^{1,2} 左晓灵^{1,3} 林燕^{1,2}

(1. 四川农业大学动物营养研究所,雅安 625014;2. 动物抗病营养教育部重点实验室,雅安 625014;

3. 广西商大科技有限公司,南宁 530105)

摘要: 每头母猪每年提供的健康的断奶活仔猪数决定了养猪生产的效益,母猪妊娠和泌乳期日粮中添加鱼油能够改变母体繁殖组织或者胚胎/胎儿组织中的脂肪酸组成,提高窝产仔猪数,促进哺乳期仔猪生长性能,提高母体和后代的健康状况。因此在妊娠和泌乳母猪日粮中添加 1%~2% 的鱼油能够提高母猪的繁殖性能。

关键词: 鱼油;脂肪酸组成;繁殖性能;新生仔猪;母猪

中图分类号: S828;S816.7

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2010)02-0251-08

母猪的繁殖力是养猪生产过程中最重要的一环,每头母猪每年能够提供的健康断奶仔猪数决定了养猪生产所获得的效益。近年来研究发现,母猪日粮中添加鱼油能够提高胚胎存活及产仔数,降低围产期仔猪死亡率,提高新生仔猪活力和生长性能,降低母猪和仔猪围产期分娩应激,人们开始意识到在母猪妊娠期和泌乳期日粮中添加鱼油对母体自身及后代生产性能的影响。因此本文将着重综述母猪摄食鱼油对母猪繁殖性能及仔猪生长性能的影响。

1 鱼油的脂肪酸组成特点及其对细胞膜的影响

脂肪酸是细胞膜的重要组成成分,因此细胞膜上脂肪酸的类型对细胞膜的生理功能有着至关重要的作用。鱼油富含长链多不饱和脂肪酸(PUFA),尤其是长链 n-3 PUFA(DHA、EPA)的含量高达 20%~30%,远高于其他类型脂肪。n-3 PUFA 为长链多不饱和脂肪酸,与其他类型的脂肪酸的主要区别在于不饱和双键的数目和距离末端甲基的位置^[1]。通常饱和脂肪酸呈线形,而 n-3 PUFA 如 DHA、EPA 由于双键较多而呈弯折折叠(图 1)。当饱和脂肪酸(SFA)整合到细胞膜时,细胞膜变得僵硬,流动性和延展性差;但是 EPA 和 DHA 整合到细胞膜上时,细胞膜则表现出很强的可塑性和流动性,这对于细胞内的酶活性、受体与配体识别、细胞

膜对离子的通透性等功能的发挥非常重要^[5],同时由于富含 n-3 PUFA 的细胞膜的流动性和延展性在维持组织弹性,血管功能等方面的作用,使得日粮添加鱼油以保证机体正常新陈代谢显得非常重要。

2 鱼油的体内代谢特点

鱼油富含 n-3 PUFA,n-3 PUFA 和 n-6 PUFA 都是长链多不饱和脂肪酸,区别在于不饱和双键距离末端甲基的位置不同。 α -亚麻油酸(AFA; 18:3, n-3)和亚油酸(LA; 18:2, n-6)为必需脂肪酸,动物机体不能合成,必须由日粮提供,谷物油和植物油通常是 AFA 和 LA 的丰富来源,而水产动物的油脂(即鱼油)富含 EPA 和 DHA。在动物体内,由于去饱和酶和延伸酶的存在,AFA 能够转化为 EPA 和 DHA,而 LA 能够转化为花生四烯酸(ARA; 20:4, n-6)^[1]。因此动物可以通过日粮鱼油或者日粮 ALA 的从头合成来满足机体对 DHA 和 EPA 的需要。尽管如此,动物体内的通过 AFA 转化为 EPA^[2] 和 DHA^[3] 的量有限。n-3 和 n-6 PUFA 尽管只有双键位置的不同,但是二者的中间代谢底物却截然不同^[1],如 ARA 在体内经过代谢产生中间代谢产物类花生酸类物质(eicosanoids)为前列腺素 E2(PGE2)、促凝血素 A2(TXA2)和白细胞三烯 B4(LTB4)。当这些代谢底物的浓度升高时,会对机体产生不利影响^[4]。但是 n-3 PUFA 的代谢底物主要为前列腺素 E3(PGE3)、促凝血素 A3(TXA3)和白

收稿日期:2009-07-23

基金项目:国家自然科学基金(30901042);教育部创新团队计划(IRT0555);四川省教育厅重点项目(00924100)

作者简介:卓勇(1983-),男,汉族,四川崇州人,硕士研究生,主要从事母猪的营养与饲料科学方面的研究。E-mail: zhuoyong2003@163.com

* 通讯作者:吴德,博士,教授,博士生导师,E-mail: pig2pig@sina.com

细胞三烯 B5 (LTB5), 这些代谢底物和 n-6 PUFA 产生的代谢产物在炎症反应、脂肪代谢、血液循环中

功能差异很大^[4], 因此, 必须选择日粮中适宜添加的脂肪类型, 以增进动物体的健康, 提高生产性能。

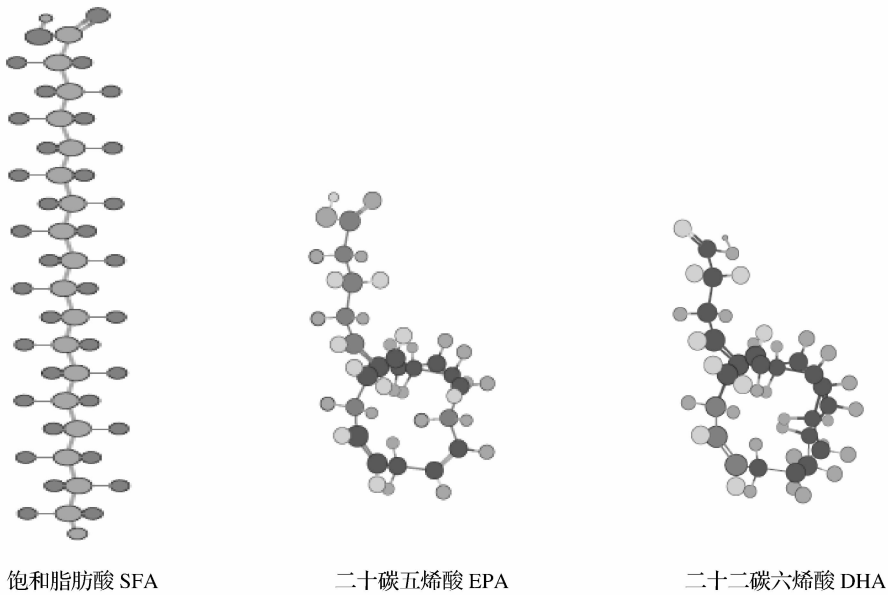


图 1 SFA、EPA 和 DHA 的结构特点

Fig.1 Structural characteristics of SFA, EPA and DHA

3 母猪日粮中鱼油对母体繁殖组织及后代体组织脂肪酸组成的影响

试验表明日粮脂肪类型影响母猪乳汁的脂肪酸组成, 在泌乳母猪日粮中添加鱼油显著提高了乳汁中 DHA 和 EPA 的含量, 并且通过乳汁影响仔猪的体组成^[5-6]。Rooke 等^[7] 在分娩前 21 d 和泌乳前 7 d 的母猪日粮中添加鲑鱼油能够显著提高围产期母猪的血液、初乳和常乳的 n-3 PUFA 浓度, 仔猪体组织 n-3 PUFA 的含量随之增加, 同时减少了 n-6 PUFA 的沉积。从妊娠后期 60 d 开始在母猪日粮中添加 0、5、10 和 20 g/kg 的鱼油, 尽管母猪血液中呈现不同梯度的 n-3 PUFA 浓度变化, 但是新生仔猪血液、大脑、肝脏等组织中沉积的 n-3 PUFA 含量并没有出现相应的梯度变化, 说明胎盘能够调节 n-3 PUFA 在胎儿组织的沉积^[8]。Gabler 等^[9-10] 的研究表明, 妊娠期和泌乳期母猪日粮中添加 1% 的鱼油, 并且在分娩后对 2 个组的新生仔猪进行交叉哺乳, 发现母体日粮中的 n-3 PUFA 能够分别通过胎盘和乳汁在新生仔猪肠道、肝脏、大脑等组织中有效沉积 DHA 和 EPA, 同时降低 SPA 和 n-6 PUFA 的沉积。母猪日粮中添加鱼油还可以改变母猪繁殖组织的脂肪酸组成, 在母猪妊娠早期日粮中添加

1.5% 的鱼油^[11], 母猪子宫内膜和胚胎组织 DHA 和 EPA 的比例显著升高。

4 母猪日粮添加鱼油对卵母细胞质量、早期胚胎发育和产仔数的影响

受精后的早期胚胎在附植前是游离胚胎, 附植前胚胎营养物质的供给主要依赖于卵母细胞中储存的营养素。除了组成细胞膜之外, 脂肪酸是母猪卵母细胞中的重要能量物质。Ferguson 等^[12] 的研究表明牛卵母细胞中的脂肪酸是其成熟过程中的重要能量来源。不同类型的脂肪酸的生理功能不同, 提示脂肪酸的类型可能影响卵母细胞的质量。目前关于鱼油影响卵母细胞质量的报道较少, 小鼠上的研究表明^[13], 在配种前的母鼠日粮中添加 7% 富含 EPA 和 DHA 的鱼油, 影响了卵母细胞线粒体分布、线粒体钙水平, 同时在体外培养过程中发现活性氧 (ROS) 的产量显著升高, 不仅如此, 采食鱼油显著推迟了受精后胚胎发育到囊胚期的能力^[13]。但是后备母猪配种前 35 d 开始饲喂 1% 富含 n-3 PUFA 的鱼油, 并不影响排卵率和 27 d 的胚胎存活率^[14]。从初期期开始在母猪日粮中添加 4% 的椰子油、大豆油、和鱼油, 发现不同脂肪类型对所有组 42 d 的总的胚胎存活率差异不显著, 但是通过进一步的试

验却发现母猪日粮添加 4% 的鱼油具有提高早期胚胎存活率的趋势^[15]。尽管鱼油对妊娠母猪早期胚胎存活的影响报道不一,但是一些报道却表明母猪日粮添加鱼油能够提高窝产仔猪数。Rooke 等^[16]的研究发现在整个妊娠期饲喂鳕鱼油,发现尽管初生重降低,但是活产仔数却增加 0.4 头,断奶前死亡率显著降低。Webel 等^[17]的研究发现母猪在泌乳期和断奶-配种阶段采食含有鱼油的日粮增加了(0.5 头)下一胎的活产仔数。Spencer 等^[18]在配种前 30 d 开始在母猪日粮中添加鱼油将窝产活仔猪数提高 1 头。Webel 等^[19]进一步的研究发现在母猪日粮中添加富含 n-3 PUFA 的鱼油不仅可以提高窝产仔猪数,还可以在不影响排卵率的情况下提高母猪的早期胚胎存活。

鉴于鱼油对早期胚胎存活的影响存在争议,且妊娠 30 d 之后的胚胎死亡率也是较高的,其提高产仔数的机制可能发生在胚胎附植之后。Li 等^[20]最新的研究发现,DHA 能够通过 GTG-环水解酶(GTG-CH)和四氢生物喋呤(BH4)途径提高新生仔猪大脑、肝脏和肌肉一氧化氮合成酶(NOS)的活性,增强精氨酸-一氧化氮途径(Arg-NO)。Mateo 等^[21]研究表明,在妊娠 30 d 至分娩期日粮中添加 L-精氨酸提高 Arg-NO 途径活性后可使初产母猪分娩时活产仔猪数提高 2 头以上。因此,母猪日粮添加鱼油提高母猪产仔数可能是由于 n-3 PUFA 诱导的 Arg-NO 途径。但是由于鱼油对母猪妊娠期宫内胎儿的 Arg-NO 途径影响尚无报道,而且其他试验发现从妊娠 60 d 开始饲喂 1% 鱼油却并不能够增加窝产仔猪数^[22],因此目前尚不能确定鱼油提高母猪产仔数的具体机理以及时间。

5 母猪日粮添加鱼油对新生仔猪生长性能的影响

母猪妊娠后期和泌乳期日粮中添加鱼油均能够影响哺乳仔猪的生长性能。但是也有一些负面报道,Lauridsen 等^[23]研究发现分娩前 1 周至泌乳期母猪日粮中添加 8% 的鱼油,哺乳仔猪的断奶窝重比椰子油组、棕榈油组、向日葵油组降低 6 kg 左右。Laws 等^[24]在妊娠期母猪日粮中添加 10% 的鱼油,泌乳期仔猪的生长性能与其他类型的油脂组没有显著差异。不同试验结果差异较大的原因可能在于鱼油的添加量,通过统计发现鱼油添加水平过高可能不利于母猪繁殖性能的提高(表 1)。Rooke 等^[25]

的研究表明,在妊娠 63~91 d 或者妊娠 92 d~分娩期的母猪日粮中添加 1.75% 的鱼油均能提高哺乳仔猪的生产性能(泌乳期泌乳母猪采食同一日粮),尤其是在妊娠 92 d~分娩期间母猪日粮中添加鱼油后,仔猪出生后 35 d 内的生长性能最佳。Mateo 等^[22]研究表明,在妊娠后期和泌乳期添加 1% 的鱼油能够提高新生仔猪的生长性能,到 21 d 断奶时,添加鱼油组比对照组的仔猪窝增重提高 9 kg。Ng 等^[26]认为 n-3 PUFA 对仔猪大脑的发育非常重要,能够影响哺乳仔猪的活力以及采食行为,可通过行为学的改变使仔猪更有效获取母猪乳汁,但是 Gunnarsson 等^[27]发现采食富含 n-3 PUFA 的鱼油促进大脑发育与生产性能的并没有直接联系,因此新生仔猪的采食行为对生长性能的贡献尚待进一步研究。

Li 等^[20]的研究表明,在出生 24 h 后的新生仔猪代乳料中添加 0.2% 的 DHA 能够提高大脑、肝脏和肌肉组织 BH4 浓度和 NOS 的活性进而促进新生仔猪的生长和发育。Li 等^[28]同时还表明,添加 DHA 能够改变新生仔猪大脑、肝脏和肌肉中功能性氨基酸的组成和比例,有利于新生胎儿的生长和发育。

除此之外,n-3 PUFA 还能够通过内分泌途径影响母猪的繁殖性能。研究证实^[29],在分娩前 3 或者 8 d 开始在母猪日粮中添加 2% 的鱼油能够改变母猪的代谢激素如胰岛素和瘦素(leptin)等的变化,可影响养分在母体和胎儿之间的分配,同时还可影响母猪在泌乳期的采食量,这些变化可能会对仔猪出生后的生长性能产生长久性影响。母猪妊娠后期通常出现胰岛素抵抗^[30],葡萄糖耐受力低,高血糖通常伴随较高的初生死亡率^[31],同时容易诱导母猪产后的无乳症^[32],导致新生仔猪泌乳期养分摄入不足。由于鱼油在降低血糖血脂,提高胰岛素抵抗方面有积极作用^[33],因此在母猪妊娠后期出现胰岛素抵抗时,在日粮中添加鱼油能稳定血液胰岛素和 leptin 分泌,提高了母猪的采食量进而提高了哺乳仔猪的生长性能^[29]。然而母猪妊娠后期生理状况比较复杂,妊娠后期日粮中添加鱼油提高母猪繁殖性能的具体机理以及贡献尚待更多的研究来证实。

6 妊娠和泌乳期添加鱼油对新生仔猪肠道养分吸收的影响

Ferré 等^[34]研究表明,妊娠期胎儿在母体子宫

内主要以葡萄糖、乳糖和氨基酸作为主要能量来源,而出生后靠母乳以高脂肪、低碳水化合物为主要供能物质,仔猪断奶后日粮来源又将从乳汁转变为脱离母体的饲料为主。因此通过营养手段提高新生仔猪肠道对养分的吸收成为动物营养学家的研究焦点之一。泌乳期母猪日粮中添加不同类型的脂肪酸之后发现,不同的脂肪类型并不能够影响脂质的吸收^[35]。但是不同脂肪类型却能够影响组织对葡萄糖和氨基酸的吸收。Pifferi等^[36]的研究也表明日粮 n-3 PUFA 与其他脂肪酸的比例过低降低了大鼠脑组织葡萄糖转运载体 GLUT1 的表达。Vicario等^[37]研究表明,妊娠母鼠采食较高水平的长链多不饱和脂肪酸能够提高新生小鼠肠道葡萄糖的吸收。母猪妊娠和泌乳期日粮中添加 1% 的鱼油能够增加仔猪肠道葡萄糖转运载体 GLUT2 和 SGLT1 的表达,通过对仔猪肠道进行体外葡萄糖和氨基酸的吸收试验表明,富含 n-3 PUFA 的肠道组织对葡萄糖和氨基酸的吸收显著增加,仔猪断奶时肝脏和肌肉中的糖原含量增加^[9]。Gabler等^[10]进一步研究发现,母猪采食鱼油后通过磷酸腺苷激活的蛋白激酶 (AMPK) 途径上调了新生仔猪空肠葡萄糖转运载体蛋白 GLUT2 和 SGLT1 的表达。而且对新生仔猪空肠进行体外培养时,添加 DHA 和 AMPK 的激活剂均能够促进空肠对葡萄糖和氨基酸的吸收。但是 Gabler等^[10]并没有在 AMPK 受到抑制情况下对比研究养分吸收情况,因此鱼油是否是通过 AMPK 途径提高了肠道对葡萄糖和氨基酸的吸收有待进一步探讨。

7 母猪日粮添加鱼油对母体和胎儿免疫力的影响

母猪的健康是畜牧生产可持续发展的保证,母体的健康对后代的生长和发育至关重要。由于不饱和和双键的数目和位置不同,n-3 PUFA 和其他类型的脂肪酸在免疫功能上有着截然不同的效应。饱和脂肪酸如月桂酸(C12:0)和棕榈酸(C16:0)是细胞膜上的病原模式识别受体 toll 样受体 (TLR)2 和 4 的配基^[38],当这些饱和脂肪酸与 TLR2 和 TLR4 结合之后可诱导炎症反应。通过研究发现,脂多糖的活性中心便是由于酰化而引入的饱和脂肪酸基团,当把脂多糖活性中心的饱和脂肪酸置换成 n-3 PUFA 后,脂多糖不仅毒素性质消失,而且还表现出抗毒素的效应^[39]。n-6 PUFA 是前列腺素类和

白细胞三烯等炎症因子的前体物,当受到炎症应激后能够诱发炎症反应,使动物机体处于亚健康或者免疫应激状态。青年母猪从配种前 21 d 开始饲喂含有 5% 的富含 n-3 PUFA 的油脂时,子宫液中前列腺素 E2 的水平显著低于富含饱和脂肪酸的油脂^[40]。环氧化酶 (COX) 是动物机体受到外源应激时催化 n-6 PUFA 转化为前列腺素-环内过氧化物 (PGH₂) 的限速酶,在发生炎症和各种恶性肿瘤时 COX-1 和 COX-2 的表达过量^[41]。Lee等^[38]通过体外研究发现,n-3 PUFA 能够在显著下调由细菌脂多糖诱导的急性炎症反应过程中 TLR2 和 TLR4 以及 COX-2 的表达。Mateo 发现^[42],母猪妊娠后期日粮中添加鱼油能够降低妊娠 110 d 血液中单核细胞数量,下调促炎症因子基因如 IL-2 受体,PKC- α , TLR 和抵抗素的表达,Papadopoulos等^[29]也发现在妊娠 100 d 在母猪日粮中添加鱼油提高 n-3 PUFA 与 n-6 PUFA 的比例能够减少促炎症因子血清淀粉样蛋白 A 的表达。由于母猪妊娠后期出现胰岛素抵抗^[30],而胰岛素抵抗通常伴随炎症因子的产生^[43],可影响母体和胎儿的健康状况,因此 Mateo 提出了在妊娠后期添加鱼油以调节促炎症因子和抗炎因子之间的平衡^[42]。Lauridsen等^[44]也指出,母猪妊娠后期和泌乳期应该考虑不同脂肪类型对母体和胎儿的免疫效应,可通过添加鱼油来改善仔猪的抗应激能力。

8 母猪日粮中鱼油的适宜添加量

通过以上内容,可以看出在母猪日粮中添加鱼油可以提高母猪的繁殖性能,目前尚无研究报道鱼油在母猪日粮中的最适添加量。母体日粮中鱼油的添加量并非越高越好,当添加量达到 7%~10% 时,母猪的繁殖性能没有进一步提高^[13,23-24,44],甚至出现了一定的负面效应^[23]。日粮中添加过高的鱼油不利于繁殖性能的机理尚不清楚。Nonogaki等^[45]报道 PUFA 引起的氧化可以阻止细胞的增殖以及小鼠胚胎的发育,Wakefield等^[13]也报道母体采食富含 n-3 PUFA 日粮能够引起体外培养条件下的氧化应激,进而阻止胚胎发育。但是由于体外和体内代谢状况的差异,需要更多的研究来证实这一假设。通过总结部分研究发现(表 1),母猪日粮中添加 1%~2% 的鱼油能够提高母猪的繁殖性能,过高的添加量(7%~10%)不仅会提高饲料成本,而且可能会对母猪的繁殖性能带来不利影响。

表 1 日粮添加鱼油对母猪繁殖性能的影响

Table 1 Effects of fish oil supplementation on reproductive performance in sows

添加形式 Supplemental type	添加时间 Duration of supplementation	添加水平 Supplemental level	对母猪繁殖性能的影响 Influence on reproductive performance of sows	文献出处 Reference
鱼油 Fish oil	母猪配种前 35 d 至妊娠 27 d	1%	对排卵率和妊娠 27 d 胚胎存活无影响	Estienne 等 ^[14]
步鱼油 Menhaden oil	后备母猪 160 日龄至妊娠 42 d	4%	妊娠 42 d 胚胎存活 (84.8%) 高于椰子油 (80.75%) 和大豆油 (76.75%)	Perez Rigau 等 ^[15]
鲑鱼油 Salmon oil	整个妊娠期、泌乳期	1.65%	窝产仔数提高 0.4 头, 断奶前死亡率由 11.7% 降至 10.2%	Rooke 等 ^[16]
鱼油 Fish oil	从妊娠 109 d 至断奶后 7 d	85 g/d	下一胎次窝产活仔猪数提高 0.5 头	Webel 等 ^[17]
鱼油 Fish oil	配种前 30 d、整个妊娠期	1.5%	窝产活仔数提高 1 头	Spencer 等 ^[18]
鱼油 Fish oil	妊娠 102 d 至下一个妊娠期	85 g/d	下一胎次活产仔猪数提高 0.7 头, 妊娠 30 d 胚胎存活提高 2.6 枚, 对排卵率无影响	Webel 等 ^[19]
鲔鱼油 Tuna oil	妊娠 92 d 至分娩	1.75%	新生仔猪 35 d 断奶生长性能最佳	Rooke 等 ^[25]
鱼油 Fish oil	妊娠第 60 d 至断奶 21 d	1%	添加鱼油比对照组 21 d 断奶窝重提高 9 kg	Mateo 等 ^[22]
鱼油 Fish oil	分娩前 8 d 或者分娩前 3 d 至分娩	2%	鱼油组母猪泌乳期采食量提高, 仔猪生长性能提高。	Papadopoulos 等 ^[29]
鱼油 Fish oil	整个妊娠期、泌乳期	1%	促进新生仔猪肠道发育	Gabler 等 ^[9]
鱼油 Fish oil	整个妊娠期、泌乳期	1%	促进新生仔猪肠道发育, 增加仔猪肝脏、肌肉糖原含量	Gabler 等 ^[10]
鱼油 Fish oil	妊娠 90 d 至分娩	1%	母猪血液 IL-2 受体、PKC- α 、TLR 等炎症因子浓度降低。	Mateo 等 ^[42]
鱼油 Fish oil	泌乳期	8%	仔猪生长性能不受影响	Lauridsen 等 ^[35]
鱼油 Fish oil	分娩前 7 d、泌乳期 28 d	8%	鱼油组哺乳仔猪生长性能比椰子油、棕榈油、向日葵油低 6 kg 左右	Lauridsen 等 ^[23]
鱼油 Fish oil	妊娠期	10%	鱼油组与其他组对母猪繁殖性能差异不显著	Laws 等 ^[24]

9 小 结

母猪日粮中添加鱼油能够改变母体繁殖组织以及后代组织中的脂肪酸组成, n-3 PUFA 的沉积提高, 竞争性降低 n-6 PUFA 和 SFA 的沉积。母猪日粮添加鱼油能够增加母猪的产仔数, 提高泌乳期新生仔猪的生产性能, 减小母猪免疫应激, 提高母猪及仔猪的健康状况。通过总结部分研究结果(表 1), 建议母猪妊娠和泌乳期日粮中添加 1%~2% 的鱼油, 以提高母猪的繁殖性能和新生仔猪的生长性能。

参考文献:

- [1] Saldeen P, Saldeen T. Omega 3 fatty acids; structure, function, and relation to the metabolic syndrome, infertility and pregnancy [J]. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, 2006, 4: 138-148.
- [2] Vermunt S H, Mensink R P, Simonis M M, et al. Effects of dietary α -linolenic acid on the conversion and oxidation of 13C- α -linolenic acid [J]. *Lipids*, 2000, 35: 137-142.
- [3] Winters B L, Yeh S M, Yeh Y Y. Linoleic acid provides a source of docosahexaenoic acid for artificially reared rat pups [J]. *Journal of Nutrition*, 1994,

- 124; 1 654-1 659.
- [4] Fritsche K. Fatty acid as modulators of the immune response[J]. *Annual Nutrition Review*, 2006, 26: 45-73.
- [5] Fritsche K L, Huang S C, Cassity N A. Enrichment of omega-3 fatty acids in suckling pigs by maternal dietary fish oil supplementation[J]. *Journal of Animal Science*, 1993, 71: 1 841-1 847.
- [6] Arbuckle L D, Innis S M. Docohexaenoic acid is transferred through maternal diet to milk and to tissues of naturally milk fed piglets[J]. *Journal of Nutrition*, 1993, 123: 1 668-1 675.
- [7] Rooke J A, Bland I M, Edwards S A. Effect of feeding tuna oil or soybean oil as supplements to sow in late pregnancy on piglet tissue composition and viability [J]. *British Journal of Nutrition*, 1998, 80: 273-280.
- [8] Rooke J A, Sinclair A G, Ewen M. Changes in piglet composition at birth in response to increasing maternal intake of long chain n-3 polyunsaturated fatty acids are non-linear[J]. *British Journal of Nutrition*, 2001a, 86: 461-470.
- [9] Gabler N K, Spencer J D, Webel D M, et al. In utero and postnatal exposure to long chain (n-3) PUFA enhances intestinal glucose absorption and energy stores in weanling pigs[J]. *Journal of Nutrition*, 2007, 137: 2 351-2 358.
- [10] Gabler N K, Radcliffec J S, Spencerd J D, et al. Feeding long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids during gestation increases intestinal glucose absorption potentially via the acute activation of AMPK [J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2009, 20 (1): 17-25.
- [11] Brazle A E, Johnson B J, Webel S K, et al. Omega-3 fatty acids in the gravid pig uterus as affected by maternal supplementation with omega-3 fatty acids [J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87: 994-1 002.
- [12] Ferguson E M, Leese H J. A potential role for triglyceride as an energy source during bovine oocyte maturation and early embryo development[J]. *Molecular Reproduction and Development*, 2006, 73: 1 195-1 201.
- [13] Wakefield S L, Lane M, Schulz S J, et al. Maternal supply of omega-3 polyunsaturated fatty acids alter mechanisms involved in oocyte and early embryo development in the mouse[J]. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 2008, 294: E425-E434.
- [14] Estienne M J, Harper A F, Estienne C E. Effects of dietary supplementation with omega-3 polyunsaturated fatty acids on some reproductive characteristics in gilts[J]. *Reproductive Biology*, 2006, 6(3): 231-241.
- [15] Perez Rigau A, Lindemann M D, Kornegay E T, et al. Role of dietary lipids on fetal tissue fatty acid composition and fetal survival in swine[J]. *Journal of Animal Science*, 1995, 73: 1 372-1 380.
- [16] Rooke J A, Sinclair A G, Edwards S A, et al. The effect of feeding salmon oil to sows throughout pregnancy on pre-weaning mortality of piglets[J]. *British Society of Animal Science*, 2001, 73: 489-500.
- [17] Webel S K, Otto E R, Webel D M, et al. Effect of protected n-3 polyunsaturated fatty acids (Fertilium™) on litter size in sows[J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81(Suppl. 1): 18. (Abstract)
- [18] Spencer J D, Wilson L, Webel S K, et al. Effect of feeding protected n-3 polyunsaturated fatty acids (Fertilium™) on litter size in gilts[J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 82 (Suppl. 1): 211. (Abstract)
- [19] Webel S K, Otto-Tice E R, Moser R L, et al. Effect of feeding duration of protected n-3 polyunsaturated fatty acids (Fertilium™) on litter size and embryo survival in sows [J]. *Journal of Animal Science*, 2004, 82(Suppl.1): 212. (Abstract)
- [20] Li P, Kim S W, Li X, et al. Dietary supplementation with cholesterol and docosahexaenoic acid increases the activity of the arginine-nitric oxide pathway in tissues of young pigs[J]. *Nitric Oxide*, 2008, 19: 259-265.
- [21] Mateo R D, Wu G, Bazer F W, et al. Dietary L-Arginine supplementation enhances the reproductive performance of gilts[J]. *Journal of Nutrition*, 2007, 137: 652-656.
- [22] Mateo R D, Carroll J A, Hyun Y, et al. Effect of dietary supplementation of n-3 fatty acids and elevated concentrations of dietary protein on the performance of sows[J]. *Journal of Animal Science*, 2009, 87: 948-959.
- [23] Lauridsen C, Danielsen V. Lactational dietary fat levels and sources influence milk composition and performance of sows and their progeny[J]. *Livestock Production Science*, 2004, 91: 95-105.
- [24] Laws J, Amusquivar E, Laws A, et al. Supplementation of sow diets with oil during gestation; sow body condition, milk yield and milk composition [J]. *Livestock Science*, 2009, 123: 88-96.
- [25] Rooke J A, Sinclair A G, Edwards S A. Feeding tu-

- na oil to the sow at different times during pregnancy has different effects on piglet long-chain polyunsaturated fatty acid composition at birth and subsequent growth[J]. *British Journal of Nutrition*, 2001, 86: 21-30.
- [26] Ng K F, Innis S M. Behavioral responses are altered in piglets with decreased frontal cortex docosahexaenoic acid [J]. *Journal of Nutrition*, 2003, 133: 3 222-3 227.
- [27] Gunnarsson S, Pickova J, Högborg A, et al. Influence of sow dietary fatty acid composition on the behaviour of the piglets[J]. *Livestock Science*, 2009, 123: 306-313.
- [28] Li P, Kim S W, Li X, et al. Dietary supplementation with cholesterol (Chol) and docosahexaenoic acid (DHA) alters the profiles of amino acids in tissues of neonatal pigs[J]. *The Journal of the Federation of American Societies for Experimental Biology*, 2008, 22: 1 116. (Abstract)
- [29] Papadopoulos G, Janssens G, Erkens T, et al. Periparturient feeding strategy with different n-6:n-3 ratios in sows: effects on sows' performance, inflammatory and periparturient metabolic parameters [J]. *British Journal of Nutrition*, 2009, 101: 348-357.
- [30] Pere M C, Etienne M, Dourmad J Y. Adaptations of glucose metabolism in multiparous sows; effects of pregnancy and feeding level[J]. *Journal of Animal Science*, 2000, 78: 2 933-2 941.
- [31] Kemp B, Soede N M, Vesseur P C, et al. Glucose tolerance of pregnant sows is related to postnatal pig mortality[J]. *Journal of Animal Science*, 1996, 74: 879-885.
- [32] Weldon W C, Lewis A J, Louis G F, et al. Postpartum hypophagia in primiparous sows: II. Effects of feeding level during gestation and exogenous insulin on lactation feed intake, glucose tolerance, and epinephrine-stimulated release of nonesterified fatty acids and glucose[J]. *Journal of Animal Science*, 1994, 72: 395-403.
- [33] Storlien L H, Kraegen E W, Chisholm D J, et al. Fish oil prevents insulin resistance induced by high-fat feeding in rats[J]. *Science*, 1987, 237: 885-888.
- [34] Ferré P, Decaux J F, Issad T, et al. Changes in energy metabolism during the suckling and weaning period in the newborn[J]. *Reproduction Nutrition Development*, 1986, 26: 619-631.
- [35] Lauridsen C, Hedemann M S, Pierzynowski S, et al. Dietary manipulation of the sow milk does not influence the lipid absorption capacity of the progeny[J]. *Livestock Science*, 2007, 108: 167-170.
- [36] Pifferi F, Roux F, Langelier B, et al. (n-3) Polyunsaturated fatty acid deficiency reduces the expression of both isoforms of the brain glucose transporter GLUT1 in rats[J]. *Journal of Nutrition*, 2005, 135: 2 241-2 246.
- [37] Vicario M, Pedragosa E, Rivero M, et al. Dietary unsaturated long-chain fatty acids modify D-glucose absorption in weaning rats[J]. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 2005, 40: 151-156.
- [38] Lee J Y, Sohn K H, Rhee S H, et al. Saturated fatty acids, but not unsaturated fatty acids, induce the expression of cyclooxygenase-2 mediated through toll-like receptor 4[J]. *Journal of Biological Chemistry*, 2001, 276(20): 16 683-16 689.
- [39] Krauss J H, Seydel U, Weckesser J, et al. Structural analysis of the nontoxic lipid A of *Rhodobacter capsulatus* 37b4[J]. *European Journal of Biochemistry*, 1989, 180(3): 519-526.
- [40] Chartrand R, Matte J J, Lessard M, et al. Effect of dietary fat sources on systemic and intrauterine synthesis of prostaglandins during early pregnancy in gilts[J]. *Journal of Animal Science*, 2003, 81: 726-734.
- [41] Kutchera W, Jones D A, Matsunami N, et al. Prostaglandin H synthase 2 is expressed abnormally in human colon cancer; evidence for a transcriptional effect[J]. *The Proceedings of the National Academy of Sciences of USA*, 1996, 93: 4 816-4 820.
- [42] Mateo R. Arginine and omega-3 fatty acids for enhancing reproductive performance of sows[D]. Dissertation for the Doctor's Degree. Texas: Texas Tech University, 2007: 175-186.
- [43] Arkan M C, Hevener A L, Greten F R, et al. IKK- β links inflammation to obesity induced insulin resistance[J]. *Nature Medicine*, 2005, 11: 191-198.
- [44] Lauridsen C, Stagsted J, Jensen S K. n-6 and n-3 fatty acids ratio and vitamin E in porcine maternal diet influence the antioxidant status and immune cell eicosanoid response in the progeny[J]. *Prostaglandins and Other Lipid Mediators*, 2007, 84: 66-78.
- [45] Nonogaki T, Noda Y, Goto Y, et al. Developmental blockage of mouse embryos caused by fatty acids [J]. *Journal of Assisted Reproduction and Genetics*, 1994, 11: 482-488.

Effects of Dietary Fish Oil Supplementation on Reproductive Performance of Sows

ZHUO Yong^{1,2} WU De^{1,2*} FANG Zhengfeng^{1,2} ZUO Xiaoling^{1,3} LIN Yan^{1,2}

(1. *Institute of Animal Nutrition, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China*; 2. *Key Laboratory for Animal Disease-resistance Nutrition of China Ministry of Education, Ya'an 625014, China*; 3. *Guangxi Shangda Tech Co., Ltd., Nanning 530105, China*)

Abstract: The number of the healthy weaning piglets provided per sow per year is a determinant for profits available in swine production. Maternal diets supplementing with fish oil could change the fatty acid profile of the reproductive tissues, embryo and fetal tissues, and was observed to play a critical role in improving litter size of farrowing, enhancing the growth performance of suckling piglets and promoting the health status of sows and neonatal piglets. In conclusion, it is necessary to fortify 1%~2% fish oil in the maternal diet during gestation and lactation to enhance the reproductive performance of the sow. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2010, 22(2): 251-258]

Key words: Fish oil; Fatty acid composition; Reproductive performance; Neonatal piglet; Sow