

饲料中雌二醇的测定行业标准方法研究与改进

刘娟, 王莹, 舒长斌, 丁小荞, 袁驴军, 刘金燕, 蒋鑫, 张静, 赵立军*

(四川省饲料工作总站, 成都 610041)

摘要: 研究对NY/T 918—2004饲料中雌二醇的测定方法进行优化改进, 旨在准确、高效测定饲料中雌二醇含量, 以满足饲料质量安全监管要求。从方法的适用范围、前处理条件和方法定量限等方面进行优化。在原适用范围基础上, 研究新增精料补充料, 确立 $3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的方法定量限; 同时简化前处理过程, 将样品用量由10 g降低至2 g, 提取溶剂体积由50 mL缩减至20 mL, 提取时间由30 min缩短至20 min, 固相萃取柱规格由 $250\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 调整为 $200\text{ mg}\cdot 3\text{ mL}^{-1}$ 。优化方法的验证结果显示: 雌二醇在 $0.1\sim 10.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 范围内线性关系良好($R^2=0.999\ 9$), 检出限和定量限分别为 $1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 低、中、高3个浓度水平下的平均回收率在84.2%~107.1%, 批内RSD $\leq 6.1\%$, 批间RSD $\leq 8.5\%$ 。结果表明, 改进后的方法线性好、准确性高、精密度良好, 能满足饲料中雌二醇含量检测需求。优化后方法适用范围更广、样品及试剂用量更少、前处理操作高效简便, 可更好适应当前饲料行业检测与监管的发展需求。

关键词: 雌二醇; 饲料; 行业标准; 改进

中图分类号: S816.2 文献标志码: A 文章编号: 1001-0084(2026)04-0008-07

Research and Improvement on Industry Standard Method for Determination of Estradiol in Feeds

LIU Juan, WANG Ying, SHU Changbin, DING Xiaoqiao, YUAN Lvjun,

LIU Jinyan, JIANG Xin, ZHANG Jing, ZHAO Lijun*

(Feed Station of Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

Abstract: The determination method for estradiol in feeds specified in NY/T 918—2004 was optimized and improved, aiming to achieve accurate and efficient detection of estradiol content in feeds and meet the requirements for feed quality and safety supervision. Optimizations were carried out in terms of the application scope, sample pretreatment conditions, and limit of quantification of the method. On the basis of the original applicable scope, this study added supplementary concentrate feed and established a method limit of quantification of $3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Simultaneously, the pretreatment procedure was simplified: the sample amount was reduced from 10 g to 2 g, the extraction solvent volume was reduced from 50 mL to 20 mL, the extraction time was shortened from 30 min to 20 min, and the solid-phase extraction cartridge specification was adjusted from $250\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ to $200\text{ mg}\cdot 3\text{ mL}^{-1}$. The validation results of the optimized method showed that estradiol exhibited a good linear relationship within the concentration range of $0.1\sim 10.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, with a correlation coefficient (R^2) of 0.999 9. The limit of detection and the limit of quantification were $1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively. The average recoveries at low, medium and high concentration levels ranged from 84.2% to 107.1%, with intra-batch relative standard deviation (RSD) $\leq 6.1\%$

基金项目: 农业行业标准制定和修订项目(LX17709)

作者简介: 刘娟(1992—), 女, 硕士, 主管药师, 研究方向为饲料及畜产品质量安全。

*通信作者: 赵立军(1982—), 男, 正高级畜牧师, 研究方向为饲料及畜产品质量安全。

and inter-batch RSD $\leq$ 8.5%. The improved method featured favorable linearity, high accuracy and satisfactory precision, and was applicable to the determination of estradiol in feeds. With a wider application scope, lower consumption of samples and reagents, and more efficient and simplified pretreatment operation, the optimized method could better adapt to the current development needs of detection and supervision in the feed industry.

Key words: estradiol; feeds; industry standard; improvement

雌二醇是一种甾体雌激素,由卵巢内卵泡的颗粒细胞分泌,是促进雌性动物第二性征发育及性器官成熟的物质,在人体中起到调节细胞与组织代谢的作用^[1-2]。由于雌激素添加到饲料中不仅可促进雌性动物排卵以提高发情动物的数量和受胎率,还可以促进蛋白质合成和动物生长,常被不法分子作为饲料添加剂用于畜禽养殖^[3-5]。雌激素类药物的滥用,会导致动物性食品中雌激素的残留,通过食物链危害人类健康,易引发儿童性发育异常,男性生殖系统病变,还会提高生殖道癌、乳腺癌、消化道癌等多种癌症以及部分神经系统疾病的发病率^[6-9]。为保证畜产品质量安全,保障人体健康,有效监控饲料中的雌二醇含量至关重要,我国农业部早在2002年发布了176号公告,禁止在饲料和动物饮用水中使用雌二醇。农业农村部在2020年实施的第194号公告,也全面禁止了除中药外的所有促生长类药物饲料添加剂,雌二醇不在允许添加之列。目前,有关饲料中雌二醇的检测普遍采用高效液相色谱法^[10-12]、气相色谱质谱联用技术^[13-15]及液相色谱质谱联用技术^[16-18]等仪器分析方法,采用气相色谱法的前处理需衍生化,较为繁琐,耗时长;液相色谱质谱联用法具有灵敏度高、准确度高、特异性强等优势,是饲料中雌二醇检测的最优技术方案,但受限于仪器购置成本高,基层普及率较低,难以大规模推广应用。而高效液相色谱法设备普及度高、操作简便、易于推广,仍是目前饲料中雌二醇最常用、最高效的检测方法。农业行业标准NY/T 918—2004《饲料中雌二醇的测定 高效液相色谱法》^[19]的发布实施,在我国饲料质量安全监测工作中发挥了重要作用,但其标龄过长,部分技术参数滞后:适用范围仅覆盖配合饲料、浓缩饲料、添加剂预混料三类饲料;该标准仅有检出限,无明确规定定量限;前处理样品和试剂用量大、耗时长,难以满足现阶段饲料行业复杂基质检测、

精准定量、快速检测等技术监管新要求。本研究对该标准方法进行优化,旨在拓展适用范围、减少样品及试剂用量、简化前处理操作,更好地适应当前饲料行业检测与监管的发展需求。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

Agilent 1200 高效液相色谱仪配有二极管阵列检测器(美国安捷伦公司);电子天平(北京赛多利斯公司);离心机(日本日立公司);多管旋涡振荡器(德国 Heidolph 公司)。雌二醇标准品(纯度 $\geq$ 98%,天津阿尔塔科技有限公司)。C₁₈固相萃取柱(天津博纳艾杰尔科技有限公司产品);甲醇、乙腈(色谱纯),美国 Sigma 公司产品;实验室用水为 Milli-Q 超纯水,德国默克产品。

1.2 试验方法

1.2.1 标准溶液配制

准确称取雌二醇标准品适量,用甲醇溶解并定容,配制成质量浓度为1 mg·mL⁻¹标准储备液;准确移取适量标准储备液用乙腈稀释、定容、混匀,配制成质量浓度为100 μ g·mL⁻¹的标准中间液;取适量标准中间液用乙腈逐级稀释成质量浓度为0.10、0.25、0.50、1.00、2.50、5.00、10.00 μ g·mL⁻¹的标准系列溶液。

1.2.2 试样制备

对照组试样制备(参照农业行业标准 NY/T 918—2004):准确称取10 g 试样,置于250 mL 玻璃具塞三角瓶中,准确加入50 mL 甲醇,震荡30 min; C₁₈萃取柱(250 mg·mL⁻¹)依次用甲醇和水各5 mL 活化,取上清液1~2 mL,加3 mL 水混合后,过柱,用3 mL 水淋洗后,用1 mL 乙腈洗脱,洗脱液供高效液相色谱仪测定。

试验组试样制备:准确称取2 g 试样,置于50 mL 离心管中,准确加入20 mL 甲醇,震荡20 min 后,8 000 r·min⁻¹离心5 min,取上清液备用; C₁₈固相萃取柱(200 mg·3 mL⁻¹)依次用甲醇和水各3 mL

活化，取上清液 1~2 mL，加 3 mL 水混合后，过柱，用 3 mL 水淋洗后，压干，用 1 mL 乙腈洗脱，过 0.22 μm 滤膜，供高效液相色谱仪测定。

1.2.3 高效液相色谱条件

色谱柱：Agilent ZORBAX Extend- C₁₈ (4.6 × 150.0 mm, 5 μm)；流动相：乙腈-水(40:60)；流速：1.0 mL·min⁻¹；柱温：40 ℃；检测器：二极管阵列检测器；检测波长：280 nm；进样量：20 μL；外标法定量分析。

2 结果与分析

2.1 试验条件的优化

2.1.1 样品用量的优化

样品用量是影响目标化合物提取效率的重要因素之一^[20-21]。本试验选取基质较为复杂的产蛋鸡配合饲料，考察了 2 g 和 10 g 两种样品用量，分别使用 20 mL 或 50 mL 的甲醇和乙腈作为溶剂进行提取，空白基质加标量为 62.5 mg·kg⁻¹，上机测定，计算其回收率。试验结果显示，样品用量为 10 g，提取溶剂分别为 50 mL 乙腈和 50 mL 甲醇时回收率分别为 68.6% 和 87.4% (即为原标准方法)；样品用量为 2 g，提取溶剂分别为 20 mL 乙腈和 20 mL 甲醇时回收率分别为 83.1% 和 100.1%，结果见表 1。试验结果显示，样品用量 2 g 条件下雌二醇回收率显著高于 10 g，证明 2 g 称样量的提取更加充分，能更准确测定饲料中雌二醇的含量。因此本研究将行业标准 10 g 的取样量调整为 2 g。

表 1 样品用量对雌二醇回收率的影响

样品用量/g	提取溶剂	提取溶剂体积/mL	回收率/%
10	乙腈	50	68.6
10	甲醇	50	87.4
2	乙腈	20	83.1
2	甲醇	20	100.1

2.1.2 提取溶剂体积的优化

选用产蛋鸡配合饲料和乳猪浓缩饲料两种基质，分别考察 5、10、20、30 mL 不同体积提取溶剂对雌二醇提取回收率的影响，结果见图 1。随着提取溶剂体积增加，雌二醇的回收率逐渐升高，在 20 mL 后待测物的回收率趋于稳定，此后无明显增加。提取溶剂体积为 30 mL 时，回收率虽满意，但会造成试剂的浪费，而且会影响低浓度样品的测定

灵敏度。因此本试验将提取溶剂体积由行业标准 50 mL 缩减至 20 mL，既可满足方法学要求，又节约溶剂，便于移取操作。

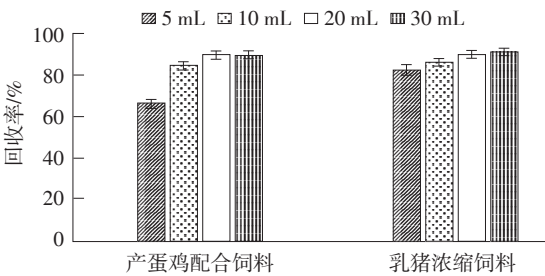


图 1 提取溶剂体积对雌二醇回收率的影响

2.1.3 提取时间的优化

进一步考察提取时间对提取效率的影响，固定提取溶剂甲醇为 20 mL，考察提取时间分别为 5、10、20、30、40 min 时对目标物提取回收率的影响，结果见图 2。试验结果表明，随着提取时间的增加，样品中雌二醇的回收率逐渐升高，在 20 min 后待测物的回收率趋于稳定，此后无明显增加。为提高检测效率，本试验将提取时间由行业标准 30 min 缩短至 20 min。

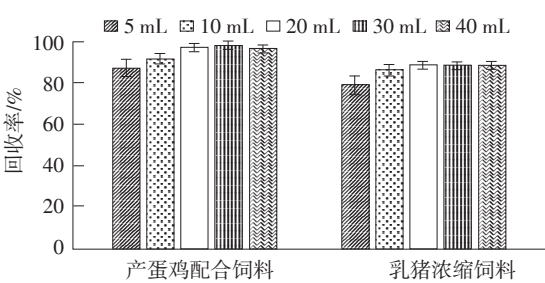


图 2 提取时间对雌二醇回收率的影响

2.1.4 固相萃取柱的优化

雌二醇属于甾体类固醇激素，具有环戊烷多氢菲甾体母核结构，由 3 个六元环与 1 个五元环稠合而成，其分子中极性官能团数量少，整体为弱极性脂溶性化合物^[22]。C₁₈ 填料长烷基碳链可提供强疏水相互作用，对弱极性的雌二醇吸附保留能力强，因此本试验选用 C₁₈ 固相萃取柱进行样品净化。本试验选择了 4 个不同厂家、两种填料规格的 C₁₈ 固相萃取柱对样品提取液进行净化，以雌二醇回收率为评价指标，结果见图 3。试验结果表明，4 个不同厂家、两种填料规格的 C₁₈ 固相萃取柱均可对样品

提取液进行有效净化，雌二醇回收率与方法重现性均表现良好。综合通用性与实际应用普及度，本试验

将 C_{18} 固相萃取柱规格由行业标准 $250\text{ mg}\cdot\text{mL}^{-1}$ 调整为 $200\text{ mg}\cdot 3\text{ mL}^{-1}$ 。

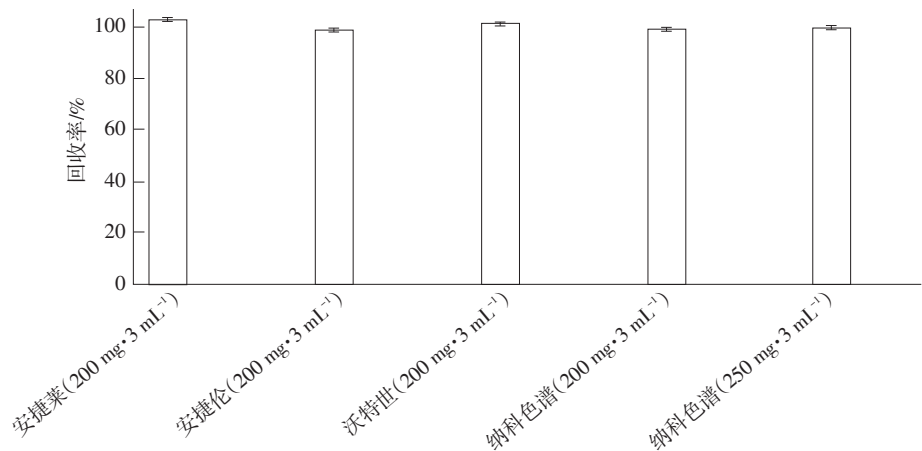


图3 不同品牌 and 不同规格萃取柱对雌二醇回收率的影响

2.2 方法学验证

2.2.1 线性范围、检出限和定量限

配制质量浓度为 0.10 、 0.25 、 0.50 、 1.00 、 2.50 、 5.00 、 $10.00\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 雌二醇标准系列溶液，供高效液相色谱仪测定。以标准溶液中待测组分的色谱峰面积为纵坐标，以待测组分的浓度为横坐标绘制标准曲线。结果表明，雌二醇在 $0.1\sim 10.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 浓度范围内线性关系良好，线性回归方程为 $Y=9.869\ 9x+0.131\ 2$ ，线性相关系数 $R^2=0.999\ 9$ 。添加适量标准溶液于空白样品中，经提取净化处理后供高效液相色谱仪检测。依据分析物信噪比 $(S/N)\geq 3$ 确定检出限、信噪比 $(S/N)\geq 10$ 确定定量限的原则，测得本方法的检出限为 $1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ，定量限为 $3\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.2.2 回收率及精密度

为进一步考察方法准确度和精密度，选用产蛋鸡配合饲料、宠物饲料犬粮、育肥猪配合饲料、乳猪浓缩饲料、羊精料补充饲料、肉牛精料补充料、畜禽维生素预混合饲料、猪用复合预混合饲料和微量元素预混合饲料9种饲料分别进行加标回收试验。对于产蛋鸡配合饲料、宠物饲料犬粮、育肥猪配合饲料和羊精料补充饲料在 3 、 15 和 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 3个浓度水平进行雌二醇加标回收试验，对于乳猪浓缩饲料、肉牛精料补充饲料、畜禽微生物预混合饲料、猪用复合预混合饲料、微量元素预混合饲料

在 3 、 15 和 $60\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 3个浓度水平进行雌二醇加标回收试验。每个添加浓度制备6个平行样品，重复3个批次，结果见表2。结果显示，雌二醇在3个浓度水平下的平均回收率在 $84.2\%\sim 107.1\%$ 范围内，批内 $RSD\leq 6.1\%$ ，批间 $RSD\leq 8.5\%$ ，其中精料补充料的平均回收率在 $91.9\%\sim 105.0\%$ 范围内，批内 $RSD\leq 4.8\%$ ，批间 $RSD\leq 4.1\%$ ，表明本方法重复性好，准确度高，适用于配合饲料、浓缩饲料、添加剂预混合料以及新增的精料补充料中雌二醇的检测。因此本研究适用范围由行业标准的配合饲料、浓缩饲料和添加剂预混合料扩增为配合饲料、浓缩饲料、添加剂预混合料和精料补充料。

2.3 本试验方法与行业标准 NY/T 918—2004 方法测定雌二醇含量的比较

为考察优化的合理性，对比本试验方法与行业标准 NY/T 918—2004 方法对雌二醇含量检测的准确性。通过在配合饲料中设置 3 、 15 和 $30\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、浓缩饲料和添加剂预混合饲料中设置 3 、 15 和 $60\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 3个加标水平，进行雌二醇加标回收比对试验，结果见表4。结果显示本试验方法在低、中、高3个浓度水平下的回收率相较于行业标准方法分别提高了 $1.0\%\sim 8.1\%$ 、 $9.5\%\sim 17.6\%$ 、 $6.0\%\sim 19.3\%$ ，说明本试验方法比行业标准方法能更准确地测定试样中雌二醇的含量。

表2 雌二醇回收率及精密度结果 %

饲料类别	批次	添加浓度								
		3 mg·kg ⁻¹			15 mg·kg ⁻¹			30(60) mg·kg ⁻¹		
		平均回收率	批内RSD	批间RSD	平均回收率	批内RSD	批间RSD	平均回收率	批内RSD	批间RSD
产蛋鸡配合饲料	I	98.2	4.7		100.9	4.4		103.9	0.4	
	II	101.9	3.7	4.0	98.1	5.8	4.2	97.5	3.9	3.9
	III	102.5	3.9		98.8	3.2		97.4	2.9	
宠物饲料犬粮	I	94.4	3.9		100.2	5.0		87.1	2.9	
	II	99.9	4.7	5.6	98.6	4.3	4.2	85.8	2.5	8.5
	III	103.8	4.7		104.1	2.7		102.1	2.2	
育肥猪配合饲料	I	97.2	2.6		107.1	2.4		96.6	2.0	
	II	94.8	6.1	4.2	99.0	2.8	4.9	96.3	1.5	1.8
	III	92.5	3.3		97.1	2.1		94.9	2.1	
羊精料补充饲料	I	98.8	1.3		104.5	1.4		103.5	2.8	
	II	104.5	2.9	4.1	104.1	0.9	2.3	102.6	3.1	3.1
	III	96.2	2.6		100.7	2.6		99.1	2.5	
乳猪浓缩饲料	I	94.7	4.2		100.4	1.1		94.3	0.9	
	II	102.8	1.5	4.9	105.6	1.5	2.4	97.4	2.3	2.8
	III	96.5	5.1		102.6	1.5		99.5	2.0	
肉牛精料补充饲料	I	94.7	3.7		98.7	0.8		94.0	0.8	
	II	96.9	4.8	3.9	105.0	2.8	3.2	91.9	1.7	1.4
	III	92.5	3.1		103.6	1.7		93.5	0.6	
畜禽维生素预混合料	I	91.9	5.2		93.2	1.9		84.2	1.6	
	II	91.6	2.8	5.5	100.4	3.2	5.3	91.6	1.3	8.0
	III	99.4	4.8		105.0	0.8		101.4	2.6	
猪用复合预混合饲料	I	101.6	3.2		101.4	1.2		100.3	1.3	
	II	97.9	2.6	3.9	102.8	1.2	1.9	105.4	0.8	2.5
	III	96.2	4.9		100.4	2.7		100.7	0.8	
微量元素预混合料	I	97.7	3.7		97.9	3.2		94.1	2.9	
	II	90.6	2.2	5.5	93.7	2.9	3.6	97.7	3.2	4.0
	III	102.0	1.7		100.0	1.2		101.8	1.9	

表3 雌二醇耐用性考察结果 %

类别		添加浓度					
		3 mg·kg ⁻¹		15 mg·kg ⁻¹		30 mg·kg ⁻¹	
		平均回收率	RSD	平均回收率	RSD	平均回收率	RSD
仪器耐用性	Agilent 1 200	94.7	4.2	100.4	1.1	94.3	0.9
	Agilent 1 260	97.9	2.6	102.8	1.2	105.4	0.8
色谱柱耐用性	Agilent ZORBAX Extend-C ₁₈	101.6	3.2	101.4	1.2	100.3	1.3
	Waters Symmetry®C ₁₈	94.8	6.1	99.0	2.8	96.3	1.5
	Agela Technologies Venusil MP C ₁₈	90.6	2.2	93.7	2.9	97.7	3.2
	逗点生物 CommaSil®C ₁₈	102.0	1.7	100.0	1.2	101.8	1.9

表4 本试验方法与NY/T 918—2004方法测定雌二醇含量的比较

添加浓度	NY/T 918—2004方法						本试验方法					
	3 mg·kg ⁻¹		15 mg·kg ⁻¹		30(60) mg·kg ⁻¹		3 mg·kg ⁻¹		15 mg·kg ⁻¹		30(60) mg·kg ⁻¹	
饲料类别	实测浓度/ (mg·kg ⁻¹)	回收 率/%	实测浓度/ (mg·kg ⁻¹)	回收 率/%	实测浓度/ (mg·kg ⁻¹)	回收 率/%	实测浓度/ (mg·kg ⁻¹)	回收 率/%	实测浓度/ (mg·kg ⁻¹)	回收 率/%	实测浓度/ (mg·kg ⁻¹)	回收 率/%
育肥猪 配合饲料	3.0	101.3	12.5	83.6	24.4	81.4	3.1	103.0	15.2	101.2	29.2	97.4
猪用 浓缩料	2.8	92.2	12.8	85.2	55.2	92.0	2.8	93.2	14.2	94.7	58.8	98.0
微量元素 预混合饲料	2.8	94.3	13.6	90.4	46.9	78.1	3.1	102.4	15.1	100.6	58.4	97.4

3 结 论

为了准确、高效测定配合饲料、浓缩饲料、精料补充料、添加剂预混合饲料中雌二醇的含量，本研究在行业标准 NY/T 918—2004 的基础上，对方法适用范围、方法定量限和前处理条件等方面进行了优化改进。在原适用范围基础上新增精料补充料，确立 3 mg·kg⁻¹ 的方法定量限；同时简化前处理过程，将样品用量由 10 g 降至 2 g，提取溶剂体积由 50 mL 缩减至 20 mL，提取时间由 30 min 缩短至 20 min，固相萃取柱规格由 250 mg·mL⁻¹ 调整为 200 mg·3 mL⁻¹。优化后的方法拓宽了适用范围，减少了样品和有机试剂用量，缩短了前处理时长，降低了有机试剂对操作人员健康的危害，步骤科学合理，增强了方法的实用性和适用性。经验证，优化后的方法各项参数均符合 GB/T 23182—2025《饲料质量安全检测方法建立、确认、验证和实验室内部质量控制实施指南》方法学要求，适用于饲料中雌二醇的测定，对加强饲料质量安全监管，保障我国畜产品质量安全具有重要意义。

[参 考 文 献]

[1] MISHRA P, ESFAHANI E, FERNYHOUGH P, et al. Effects of 17- β -estradiol on inflammation and mitochondrial function in Alzheimer's disease[J]. Alzheimer's Dementia, 2024, 20. DOI: org/10.1002/alz.091551.

[2] MCGILL C J, CHRISTENSEN A, QIAN W, et al. Protection against APOE4-associated phenotypes with the longevity-promot-

ing intervention 17 α -estradiol in middle-aged male mice[J]. Communications Medicine (Lond), 2025, 5(1). DOI: 10.1038/s43856-025-00942-3.

[3] 陆春甜. 牛奶及奶制品中雌激素残留和检测的研究[J]. 食品界, 2017(3): 84.

[4] LAMMERS B P, HEINRICHS A J, KENSINGER R S. The effects of accelerated growth rates and estrogen implants in prepubertal Holstein heiferson growth, feed efficiency, and blood parameters[J]. Journal of Dairy Science, 1999, 82(8). DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75405-6.

[5] 戴小华, 吴国娟, 沈红, 等. 畜产品中雌二醇检测方法的研究进展[J]. 中国农学通报, 2005(5): 131-132+183.

[6] 张东, 谭利娜, 罗淑颖, 等. 血清瘦素和雌二醇联合诊断女童性早熟的价值分析[J]. 实验与检验医学, 2023, 41(1): 48-51.

[7] 蒋巍, 应晶晶, 陈瑾. 雌二醇胰岛素样生长因子结合蛋白-3 瘦素在中枢性性早熟女童中的表达及与环境内分泌干扰物的相关性[J]. 中国妇幼保健, 2023, 38(24): 4828-4831.

[8] CALAF C M, ROY D, JARA L, et al. Genes associated with the immune system affected by ionizing radiation and estrogen in an experimental breast cancer model[J]. Biology, 2024, 13(12). DOI: 10.3390/biology13121078.

[9] GAN X N, DAI G Q, LI Y H, et al. Intricate roles of estrogen and estrogen receptors in digestive system cancers: A systematic review[J]. Cancer Biology Medicine, 2024, 21(10). DOI: 10.20892/j.issn.2095-3941.2024.0224.

[10] 隆雪明, 匡光伟, 陈福华, 等. 高效液相色谱法测定饲料中雌二醇、炔雌醇和己烯雌酚的含量[J]. 饲料研究, 2017(2): 27-29.

[11] 曾文灿. 高效液相色谱法同时测定饲料中的雌二醇和甲基睾丸酮[J]. 福建分析测试, 2011, 20(6): 11-14.

- [12] 康岚, 查荣博, 姜蕊, 等. 不同产地哈蟆油中雌二醇的含量测定及差异性分析[J]. 特产研究, 2025, 47(4): 163-167.
- [13] 张晓芝, 王理. 气相色谱-质谱法测定水环境中 β -雌二醇的残留量[J]. 人民珠江, 2022, 43(S1): 45-48.
- [14] 张巍. 气相色谱质谱法测定饲料中雌二醇的测量不确定度分析[J]. 黑龙江农业科学, 2016(10): 79-82.
- [15] 林小莉, 李宁, 霍峰, 等. 气相色谱-质谱法同时测定饲料中6种雌激素类药物[J]. 分析测试学报, 2016, 35(3): 322-326.
- [16] 肖明昊, 袁梓沔, 李诗婷, 等. QuEChERS结合超高效液相色谱-串联质谱法测定水产品中17 α -雌二醇和17 β -雌二醇[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(16): 67-74.
- [17] 张朝辉, 覃淋, 李丹, 等. 分散液液微萃取-高效液相色谱法快速测定乳品中的雌二醇[J]. 广州化工, 2025, 54(18): 105-108.
- [18] 房克艳, 赵超敏, 邓晓军, 等. 固相萃取-超高效液相色谱-三重四极杆质谱法同时测定饲料中5种雌激素[J]. 现代食品科技, 2018, 34(11): 255-261+267.
- [19] 中华人民共和国农业部. NY/T 918—2004, 饲料中雌二醇的测定高效液相色谱法[S]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [20] 王文瑞, 孟华平. 甲醇提取工艺优化研究[J]. 山西化工, 2025, 45(11): 155-156.
- [21] 毛彩红, 刘海彦, 薛丽丽. 食品农药残留检验中前处理问题与优化对策[J]. 食品安全导刊, 2025, 19(35): 114-116.
- [22] 唐春花, 杨洁, 卢晓玲, 等. 甾体激素核酸适配体的筛选与应用[J]. 生物化学与生物物理进展, 2023, 50(9): 2146-2161.