湖南农业大学学报(自然科学版) 2025，51(4)：78–83. DOI：10.13331/j.cnki.jhau.2025.04.010
Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)

引用格式：
陆胜涛，林佳乐，周盘红，胡海，朱靖，彭珊，罗志军，袁中彪，施晓丽. 没食子酸丙酯对仔猪浓缩料氧化稳定性的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版)，2025，51(4)：78–83.
LU S T，LIN J L，ZHOU P H，HU H，ZHU J，PENG S，LUO Z J，YUAN Z B，SHI X L. Effect of propyl gallate on the oxidative stability of piglet concentrate feed[J]. Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)，2025，51(4)：78–83.
投稿网址：http://xb.hunau.edu.cn

没食子酸丙酯对仔猪浓缩料氧化稳定性的影响

陆胜涛[1,2]，林佳乐[1,2]，周盘红[1,2]，胡海[1,2]，朱靖[3]，彭珊[3]，罗志军[4]，袁中彪[5]，施晓丽[1,2*]

(1. 高原山地动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室，贵州 贵阳 550025；2. 贵州大学动物科学学院，贵州 贵阳 550025；3. 贵阳市农业农村局，贵州 贵阳 550081；4. 贵阳倍隆生物科技有限公司，贵州 贵阳 550200；5. 贵阳恒晨饲料有限公司，贵州 贵阳 550027)

摘要：为了研究没食子酸丙酯(PG)在不同贮存条件下对饲料稳定性的影响，采用$L_9(3^3)$正交试验设计，探究PG添加量(0%、0.05%和0.10%)、温度(25、30和35 ℃)及含水量(9%、16%和19%)对仔猪浓缩料的总抗氧化能力(T-AOC)、过氧化值(POV)、酸价(AV)、维生素A质量分数的影响。结果表明：1) PG对T-AOC有极显著影响(P<0.01)，0.10%PG添加量可降低饲料酸价，减少维生素A的损失，提高饲料抗氧化能力，增强了饲料稳定性；2) 温度对过氧化值、酸价和维生素A质量分数均产生极显著影响(P<0.01)，随着贮存温度升高，维生素A质量分数随之降低，过氧化值和酸价升高；3) 在整个贮存周期中，含水量变化是饲料酸价变化的主要因素(P<0.01)，随着含水量增加，饲料酸价明显升高。综上所述，贮存饲料中添加PG可提高饲料抗氧化能力、抑制脂肪酸败，并减少维生素A的损失；在25~35 ℃，饲料含水量为13%~19%的贮存条件下，PG的适宜添加量为0.10% 。

关键词：没食子酸丙酯；饲料贮存；过氧化值；酸价；总抗氧化能力

中图分类号：S816.9　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1007–1032(2025)04–0078–06

Effect of propyl gallate on the oxidative stability of piglet concentrate feed

LU Shengtao[1,2]，LIN Jiale[1,2]，ZHOU Panhong[1,2]，HU Hai[1,2]，ZHU Jing[3]，
PENG Shan[3]，LUO Zhijun[4]，YUAN Zhongbiao[5]，SHI Xiaoli[1,2*]

(1. Key Laboratory of Animal Genetics, Breeding and Reproduction in the Plateau Mountain Region, Ministry of Education, Guiyang, Guizhou 550025, China; 2. College of Animal Science, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China; 3. Guiyang Agriculture and Rural Bureau, Guiyang, Guizhou 550081, China; 4. Gallochem Co. Ltd., Guiyang, Guizhou 550200, China; 5. Hengcheng Feed Co. Ltd., Guiyang, Guizhou 550027, China)

Abstract: To study the effect of propyl gallate(PG) on storage stability at different temperature and feed moisture, L9(3^3) orthogonal experimental design was used to explore the effects of PG dosage(0%, 0.05% and 0.10%) on total antioxidant capacity(T-AOC), peroxide value(POV), acid value(AV) and vitamin A mass fraction of concentrate feed in piglets at different temperatures(25 °C, 30 °C and 35 °C) and moisture(9%, 16% and 19%) . The results were shown as follows. 1) PG addition had an extremely significant effect on T-AOC(P<0.01). The loss of vitamin A and AV of feed were reduced with 0.10% PG supplement. Therefore, PG addition enhanced the stability of feed. 2) Temperature had a significant effect on POV, AV and mass fraction of vitamin A(P<0.01). The mass fraction of vitamin A was declined, but

收稿日期：2024–10–03　　**修回日期**：2024–11–18
基金项目：国家重点研发计划项目(2023YFD1301203)；贵州省科技支撑项目(黔科合支撑〔2021〕一般 150)
作者简介：陆胜涛(1997—)，男，贵州独山人，硕士，主要从事动物营养与饲料科学研究，15519413021@163.com；*通信作者，施晓丽，博士，教授，主要从事动物营养与饲料科学研究，shixl16@163.com

POV and AV increased with the increase of temperature. 3) Moisture of feed was the main factor affecting AV of feed(P<0.01), and AV of feed was increased with the increase of moisture. To sum up, the addition of PG can improve the antioxidant capacity of feed, inhibit lipid hydrolysis, and reduce the loss of vitamin A in feed. The optimal dosage of PG in concentrate feed is 0.1% under 25~30℃ and moisture of 9%~16%.

Keywords: propyl gallate(PG); feed storage; peroxide value; acid value; total antioxidant capacity

为减少饲料养分在贮存中因氧化造成的损失及其对动物机体的不利影响，往往需在饲料中添加抗氧化剂[1]。目前，在饲料工业中广泛使用的抗氧化剂有乙氧基喹啉(EQ)、二丁基羟基甲苯(BHT)和丁基羟基茴香醚(BHA)，三者均为化学合成抗氧化剂[2–4]。研究报道表明，这3种抗氧化剂均会影响人和畜禽健康，对畜禽生产和繁殖性能有不利影响，甚至有致癌症风险[5–8]。因此，寻找安全天然的抗氧化剂成为饲料工业的研究热点。

从中草药五倍子中提取的没食子酸，经丙酯化反应后生成没食子酸丙酯(PG)，这是一种无毒、安全、具有巨大应用潜力的抗氧化剂[9–10]。研究显示，PG对植物油脂有很好的抗氧化效果[11–13]，PG能有效提升猪油稳定性[14]，提示PG可能是一种有效的饲用抗氧化剂，但有关PG在生产中作为饲料抗氧化剂的应用研究较少。在高水分含量和高温条件下，浓缩料中高浓度的铁、铜等过渡金属元素对油脂和维生素等养分的破坏作用加剧，故试验拟在极端条件下(含水量为9%~16%，温度为25~35 ℃)，探索PG作为饲用抗氧化剂的潜力，以期为PG在饲料工业中的应用提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验材料

供试没食子酸丙酯的纯度大于等于99%，由贵阳倍隆生物科技有限公司提供。

仔猪浓缩料：参照《猪营养需要》(NRC，2012)设计仔猪浓缩料配方，其具体组成和营养水平见表1。

表1　仔猪浓缩料的组成及营养水平(风干基础)

Table 1　Ingredients and nutrient content of concentrated feed for piglets(air-dried basis)

原料	配比/%	养分	质量分数/%
豆粕	78.80	干物质	8.46
玉米蛋白粉	5.00	代谢能[3)]	11.58
豆油	2.00	粗蛋白	41.60
$CaHPO_4·2H_2O$	3.25	粗脂肪	2.76

表1(续)

原料	配比/%	养分	质量分数/%
石粉	4.00	钙	2.04
赖氨酸硫酸盐	2.00	磷	0.81
苏氨酸	0.30	赖氨酸	5.21
NaCl	0.10	蛋氨酸+胱氨酸	1.24
维生素预混料[1)]	0.55	苏氨酸	1.86
矿物质预混料[2)]	4.00		
合计	100.00		

注：1) 维生素预混料为每kg浓缩料提供维生素A 25 000 kIU，维生素D_3 5 000 kIU，维生素E 175 kIU，维生素K_3 5 000 mg，维生素B_1 7 840 mg，维生素B_2 17 600 mg，泛酸钙48 950 mg，烟酰胺79 200 mg，维生素B_6 7 840 mg，生物素1 600 mg，叶酸4 800 mg，维生素B_{12} 100 mg。

2) 矿物质预混料为每kg浓缩料提供铁71 000 mg，铜10 000 mg，镁62 000 mg，锌63 000 mg，硒300 mg，碘800 mg，钴1 000 mg。

3) 消化能单位为MJ/kg。

1.2　正交试验设计

为考察在不同饲料温度和含水量下，PG对饲料贮存稳定性的影响，采用$L_9(3^3)$正交试验设计，针对温度(因素A)、含水量(因素B)和PG添加量(因素C)3个因素，开展3因素3水平正交试验，具体见表2。试验共设9个试验组，每个试验组设置3个重复，本试验为期60 d。

表2　$L_9(3^3)$正交试验设计

Table 2　$L_9(3^3)$ orthogonal experimental design

水平	因素		
	A/℃	B/%	C/%
1	25	9	0.00
2	30	16	0.05
3	35	19	0.10

1.3　指标测定

1.3.1　总抗氧化能力(T-AOC)

采用铁离子还原抗氧化能力测定法(FRAP法)对饲料的总抗氧化能力进行测定。取粉碎处理后的饲料样品0.5 g，置于10 mL离心管中，用5 mL 0.9%NaCl溶液稀释，离心10 min，取上清液测定。在590 nm下用UV-2100型分光光度计(Unico)测定吸光值，计算T-AOC。试剂盒购自苏州格锐思

生物科技有限公司。

1.3.2 过氧化值(POV)

采用分光光度法对饲料油脂过氧化值进行测定[15]，其计算公式如下：

$$X_1=\frac{m}{m_1\times 1\,000}\times 78.8$$

式中：X_1为样品过氧化值；m为样品吸光值对应的碘的质量；m_1为样品质量。

1.3.3 酸价(AV)

采用滴定法测定饲料酸价，其计算公式如下：

$$X_2=\frac{V\times c\times 40}{m_1}$$

式中：X_2为样品酸价；V为消耗的氢氧化钠体积；c为氢氧化钠标准溶液浓度。

1.3.4 维生素A质量分数

采用高效液相色谱法测定饲料中维生素A质量分数，其计算公式如下：

$$X_3=\frac{\omega\times V_3\times f\times 100}{m}$$

式中：X_3为试样中维生素A的质量分数；V_3为试样定容体积；ω为根据标准曲线计算得到的试样维生素A的质量分数；f为换算因子，f=1。

1.4 主要仪器与设备

本研究所用仪器如下：THZ-82数显恒温振荡器、JD-2000液相色谱柱恒温箱、80-2离心沉淀机、DH3600II电热恒温仪、R-1001-VN旋转蒸发仪、DK-98-II电热恒温水浴锅、UV-2100型紫外可见分光光度计、微量可调单道移液器、1 000 A多功能粉碎机。

1.5 数据处理

先用Excel 2016初步处理试验数据，再使用SPSS 26对数据进行多元方差分析。

2 结果与分析

2.1 浓缩料中总抗氧化能力、过氧化值、酸价和维生素A质量分数的变化和极差分析结果

由表3可见，试验6组浓缩料的总抗氧化能力最高，其次是试验7组和试验2组的；结合极差分析结果可以看出，PG添加量对浓缩料总抗氧化能

表3 三因素组合对浓缩料贮存稳定性的影响及极差分析结果

Table 3 Effects of three factors combination on concentrate feed storage stability and range analysis results

试验组	因素与水平	总抗氧化能力	维生素 A 质量分数/10^{-8}	过氧化值	酸价
1	$A_1B_1C_1$	1.10	129.27	3.05	0.81
2	$A_1B_2C_3$	1.49	150.48	2.99	0.96
3	$A_1B_3C_2$	1.33	150.49	3.01	2.93
4	$A_2B_1C_2$	1.18	129.10	3.14	0.81
5	$A_2B_2C_1$	1.08	111.27	3.23	1.05
6	$A_2B_3C_3$	2.32	142.07	3.09	3.08
7	$A_3B_1C_3$	1.60	138.07	3.16	0.92
8	$A_3B_2C_2$	1.27	119.64	3.19	1.09
9	$A_3B_3C_1$	1.08	94.23	3.22	3.44
温度	$K_{A,1}$	1.31	143.41	3.02	1.57
	$K_{A,2}$	1.53	127.48	3.15	1.65
	$K_{A,3}$	1.32	117.31	3.19	1.82
	极差	0.22	26.10	0.17	0.25
含水量	$K_{B,1}$	1.30	132.14	3.12	0.84
	$K_{B,2}$	1.28	127.13	3.14	1.03
	$K_{B,3}$	1.58	128.93	3.11	3.15
	极差	0.30	5.01	0.03	2.30
PG 添加量	$K_{C,1}$	1.09	111.59	3.17	1.77
	$K_{C,2}$	1.26	133.07	3.11	1.61
	$K_{C,3}$	1.80	143.54	3.08	1.65
	极差	0.72	31.95	0.08	0.16

注：$K_{A,i}$，$K_{B,i}$和$K_{C,i}$分别为温度(因素A)、含水量(因素B)和PG添加量(因素C)在i(i=1, 2, 3)水平下各项指标的平均值。

力有较大影响。试验2组和试验3组的维生素A质量分数均较高，其次是试验6组的；极差分析结果表明，PG添加量对维生素A质量分数影响较大，其次是温度。从过氧化值来看，试验2组和试验3组的较低，而试验5组和试验9组的较高；极差分析结果显示，温度对浓缩料中过氧化值的影响较大，其次是PG添加量。浓缩料酸价则是试验1和试验4组的较低，试验9组的最高，结合极差分析结果可知，浓缩料含水量对过氧化值影响较大，其次是温度和PG添加量。

2.2　不同因素对浓缩料中T-AOC影响的方差分析结果

方差分析结果(表4)显示，PG添加量极显著(P<0.001)影响饲料的T-AOC，含水量显著(P<0.05)影响饲料的T-AOC，而温度对饲料无显著影响(P>0.05)。PG添加量、含水量、温度对饲料T-AOC的影响程度依次减小。结合表3可知，随着PG添加量增加，饲料总抗氧化能力随之增强，0.10%PG添加量下的T-AOC高于0.05%PG添加量和0%PG添加量下的，表明添加PG可明显提高该贮存条件下饲料的抗氧化能力。结果还显示，高含水量有提高饲料T-AOC的作用。

表4　不同因素对浓缩料中总抗氧化能力影响的方差分析结果

Table 4　Results of variance analysis of the effects of different factors on the total antioxidant capacity in concentrate feed

方差来源	均方和	自由度	均方	F	P
温度	0.181	2.00	0.091	3.090	0.086
含水量	0.335	2.00	0.167	5.700	0.020
PG添加量	1.673	2.00	0.837	28.510	<0.001
误差	0.323	11.00	0.029		
总和	2.512	17.00			

2.3　不同因素对浓缩料POV影响的方差分析结果

由表5可见，温度和PG添加量对饲料过氧化值(POV)有极显著影响(P<0.01)，而含水量对POV无显著影响。温度、PG添加量、含水量对饲料POV的影响程度依次减小。结合表3可知，在贮存温度为35 ℃时，饲料POV最高，表明高温激发了脂肪氧化，不利于饲料贮存。随着PG添加量的增加，POV随之降低，显示PG有抑制脂肪氧化的能力。

表5　不同因素对浓缩料中过氧化值影响的方差分析结果

Table 5　Results of variance analysis of the influence of different factors on peroxide value in concentrate feed

方差来源	均方和	自由度	均方	F	P
温度	0.098	2.00	0.049	117.125	<0.001
含水量	0.002	2.00	0.001	2.949	0.094
PG添加量	0.020	2.00	0.010	24.110	<0.001
误差	0.005	11.00	0.000		
总和	0.125	17.00			

2.4　不同因素对浓缩料AV影响的方差分析结果

由表6可知，温度、含水量和PG添加量对饲料酸价AV均有极显著影响(P<0.01)，其中，对饲料AV影响最大的因素为含水量，其次是温度，最后是PG添加量。结合表3可知，随着含水量和温度升高，脂肪酸水解速度加快，饲料AV升高(P<0.01)；而添加PG则在一定程度上降低了AV。

表6　不同因素对浓缩料中酸价影响的方差分析结果

Table 6　Results of variance analysis of the influence of different factors on the acid value in concentrate feed

方差来源	均方和	自由度	均方	F	P
温度	0.194	2.00	0.097	25.442	<0.001
含水量	19.678	2.00	9.839	2 585.506	<0.001
PG添加量	0.079	2.00	0.040	10.445	0.003
误差	0.042	11.00	0.004		
总和	19.993	17.00			

2.5 不同因素对浓缩料维生素A质量分数影响的方差分析结果

不同因素对浓缩料中维生素A的方差分析结果(表7)显示，温度和PG添加量对饲料中维生素A的存留量均有极显著影响(P<0.01)，而含水量对维生素A的存留量无显著影响(P>0.05)。PG添加量对饲料维生素A的存留量的影响大于贮存温度和含水量的影响。结合表3可知，温度升高会加速饲料中维生素A的损失，35 ℃下饲料维生素A损失最多。随着PG添加量的增加，饲料中维生素A的存留量显著增加，表明PG的添加可减少饲料中维生素A的损失，且PG添加量为0.10%时对饲料维生素A的保护效果最好。

表7 不同因素对浓缩料中维生素A质量分数影响的方差分析结果

Table 7 Results of variance analysis of the effects of different factors on mass fractions of vitamin A in concentrate feed

方差来源	均方和	自由度	均方	F	P
温度	2 076.923	2.00	1 038.461	26.316	< 0.010
含水量	77.453	2.00	38.726	0.981	0.405
PG添加量	3 183.848	2.00	1 591.924	40.342	< 0.010
误差	434.072	11.00	39.461		
总和	5 772.296	17.00			

3 讨论

人们在饲料中广泛添加铁、铜、锰、锌等，以满足动物机体需求，但因铁、铜、锰、锌为过渡金属元素，易得失电子，故很容易催化或攻击维生素A和脂肪酸等的不饱和键，导致维生素A失活、脂质过氧化，生成醛、酮和自由基，产生难闻气味，并破坏其他营养成分[16–18]。因此，在饲料中往往要添加EQ等化学合成抗氧化剂以减少饲料贮存过程中营养成分的损失和过氧化产物对动物生产和健康的不利影响。EQ是一种抗氧化效果较好的饲用抗氧化剂，但其具有致癌风险和细胞毒性[7,8]，且对畜繁生殖和免疫功能产生损害[6,19]，因此，欧盟禁止在饲料贮存中使用EQ。BHT和BHA也有类似毒害作用。

研究表明，没食子酸丙酯PG可有效清除自由基[9,20]，对油脂及油脂类食品有很好的抗氧化作用，可延长食品保质期[13]。体外实验结果显示，PG比维生素C有更强的抗氧化能力[21]。添加PG能更好地控制牡蛎在热风干燥过程中的脂质氧化，延长食品保质期[22]。丁君等[23]研究发现，PG可以有效增强生姜中过氧化物酶(POD)的活性，延长了生姜结构品质。PG在饲料工业和畜禽生产中的应用报道较少。有研究显示，PG和没食子酸可改善玉米青贮品质[24]。相较于全价配合料和预混料，浓缩料中含有高浓度的金属元素如铁、铜、锰和锌等及一定的脂肪，能更好反映PG的抗氧化作用，故本试验在乳猪浓缩料中分别添加0.05%和0.10%的PG，从饲料的抗氧化能力、养分的保护(维生素A的存留)以及抑制脂肪酸水解和过氧化物产生3个方面，探讨PG在不同贮存温度和水分条件下对饲料贮存稳定性的影响。试验结果表明，随着PG的添加量的提高，浓缩饲料的总抗氧化能力随之提高，饲料过氧化值随之降低，饲料酸败过程减缓，维生素A损失减少。PG对饲料抗氧化能力受温度和含水量影响。高温促发脂肪氧化酸败，增加维生素A的损失，不利于饲料贮存[25]。本次实验结果与植物油脂、预混料和基础饲料贮存试验结果相符[26–29]。饲料酸价和总抗氧化能力随饲料含水量的增加显著升高，对饲料过氧化值和维生素A含量的稳定性无影响。含水量的变化是造成饲料油脂酸败的主要因素之一[27]。这与石华乐[30]和黄亚宽[31]的试验结果一致，高含水量会加速饲料中的脂肪水解。本试验中，在温度和水分升高的贮藏条件下，添加PG可提高饲料总抗氧化能力，降低饲料酸价和过氧化值，抑制维生素A质量分数的降低。当含水量为19%时，饲料的总抗氧能力相较于含水量分别为9%和16%时反而升高了，这与前人研究结果[30–31]不一致，这可能是因为高水分含量有利于PG释放H离子[20]，从而提高了饲料的总抗氧化能力。

4 结论

在仔猪浓缩料中添加PG可抑制脂肪酸败，提高饲料抗氧化能力并减少维生素A的损失，增强饲料的贮存稳定性。在25~35 ℃、饲料含水量9%~19%的贮存条件下，PG在仔猪浓缩料中的适宜添加量为0.10%。

参考文献：

[1] 鲁昱方，张婧菲，王恬. 复合抗氧化剂及其对饲用油脂抗氧化协同功效的研究进展[J]. 饲料工业，2023(10)：22–30.

[2] DAI S Y，YU C，LIANG M，et al. Oxidation characteristics and thermal stability of Butylated hydroxytoluene[J]. Arabian Journal of Chemistry，2023，16(8)：104932.

[3] 樊霞，冯玉超，李润娴，等. 乙氧基喹啉在饲料行业的应用研究及其安全性评估[J]. 饲料工业，2023，44(19)：1–9.

[4] ZHANG X J，DIAO M N，ZHANG Y F. A review of the occurrence，metabolites and health risks of butylated hydroxyanisole(BHA)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture，2023，103(13)：6150–6166.

[5] 戴梦红，王湘如，崔潞晴，等. 欧盟准用饲料药物添加剂使用和管理现状[J]. 中国兽药杂志，2019，53(1)：37–43.

[6] 王湘如，赵月，冯家伟，等. 欧盟禁用饲料药物添加剂的历史和法规[J]. 中国兽药杂志，2019，53(6)：72–79.

[7] BŁASZCZYK A，AUGUSTYNIAK A，SKOLIMOWSKI J. Ethoxyquin：an antioxidant used in animal feed[J]. International Journal of Food Science，2013，2013(1)：585931.

[8] XU X Q，LIU A M，HU S Y，et al. Synthetic phenolic antioxidants：metabolism，hazards and mechanism of action[J]. Food Chemistry，2021，353：129488.

[9] 孙澄慧，王春梅，陈琴，等. 五倍子提取物对蛋鸡的产蛋性能和蛋品质及血液生化指标的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版)，2023，49(3)：352–358.

[10] HOSSEINZADEH A，HOUSHMAND G，GOUDARZI M，et al. Ameliorative effect of Gallic acid on sodium arsenite-induced spleno-，cardio- and hemato-toxicity in rats[J]. Life Sciences，2019，217：91–100.

[11] 李涛林，罗志军，胡鹏刚，等. 五倍子提取物及其衍生物复合抗氧化剂对大豆油贮藏稳定性研究[J]. 食品科技，2024，49(03)：250–256.

[12] 李亚茹，钟海雁，龙奇志. 高温条件下外源多酚对油茶籽油氧化稳定性的影响[J]. 食品与机械，2020，36(1)：61–64.

[13] 吴永会，李法社，王霜，等. 没食子酸酯类抗氧化剂对不同植物油氧化稳定性能影响的研究[J]. 中国粮油学报，2019，34(5)：56–61.

[14] 张慧慧，高盼，陈哲，等. 没食子酸丙酯对猪油的抗氧化效果研究[J]. 食品安全质量检测学报，2023，14(23)：43–50.

[15] 赵梅，赵立慧，程瑞，等. 分光光度法测定油脂氧化物的过氧化值[J]. 中国皮革，2006，35(11)：39–40.

[16] 段俊红. 预混料中甲酸亚铁、碱式碳酸锌、碱式碳酸铜和硫酸锰对维生素稳定性的影响[D]. 雅安：四川农业大学，2007.

[17] 宋鸽，林靖，杨玉芬. 不同种类抗氧化剂对乳猪浓缩饲料脂肪氧化的影响[J]. 福建农林大学学报(自然科学版)，2018，47(2)：223–228.

[18] 赵金伟. 甲酸盐(铁、锌、铜)及硫酸锰组合效应对维生素稳定性影响的研究[D]. 雅安：四川农业大学，2007.

[19] BAMPIDIS V，AZIMONTI G，DE LOURDES BASTOS M，et al. Safety and efficacy of a feed additive consisting of ethoxyquin(6-ethoxy-1，2-dihydro-2，2，4-trimethylquinoline) for all animal species(FEFANA asbl)[J]. EFSA Journal，2022，20(3)：e07166.

[20] JAVAHERI-GHEZELDIZAJ F，ALIZADEH A M，DEHGHAN P，et al. Pharmacokinetic and toxicological overview of propyl gallate food additive[J]. Food Chemistry，2023，423：135219.

[21] 谢晓艳，刘洪涛，张吉，等. 没食子酸体外抗氧化作用研究[J]. 重庆医科大学学报，2011，36(03)：319–322.

[22] 刘雁飞，刘潇阳，周大勇. 没食子酸及其丙酯对大连湾牡蛎在热风干燥过程中的抗氧化作用[J]. 大连工业大学学报，2020，39(2)：86–92.

[23] 丁君，吴昊，王成荣. 没食子酸丙酯、壳聚糖对鲜切生姜保鲜特性的影响[J]. 中国调味品，2016，41(3)：41–44，63.

[24] 李玉萌，张志恒，朱亦朴，等. 没食子酸对全株玉米青贮品质的影响[J]. 动物营养学报，2023，35(5)：3390–3400.

[25] 尚秀国，林国钊，贾梦真，等. 温度和油脂种类对10%仔猪预混料脂质酸败的影响[J]. 饲料研究，2021，44(19)：121–125.

[26] HEMERY Y M，LAILLOU A，FONTAN L，et al. Storage conditions and packaging greatly affects the stability of fortified wheat flour：influence on vitamin A，iron，zinc，and oxidation[J]. Food Chemistry，2018，240：43–50.

[27] LIU J，QI M，HUANG Y K，et al. Effects of oils on feed mildew and quality[J]. Animal Science Journal，2017，88(8)：1075–1081.

[28] SAENSUKJAROENPHON M，EVANS C E，PAULK C B，et al. Impact of storage conditions and premix type on fat-soluble vitamin stability[J]. Translational Animal Science，2020，4(3)：txaa143.

[29] XU W，YAO J，YI Y，et al. Effects of storage condition on the physicochemical characteristics of sunflower seed oil[J]. RSC Advances，2019，9(72)：42262–42271.

[30] 石华乐. 包装材料、颗粒直径和水分含量对储存期间饲料品质的影响研究[D]. 北京：中国农业科学院，2015.

[31] 黄亚宽. 不同脂肪水平及水分条件下饲料生霉及品质变化规律研究[D]. 武汉：华中农业大学，2013.

责任编辑：伍锦花

英文编辑：张承平