

不同形式微量元素对鳗用复合预混料中 维生素稳定性的影响

■ 马德英^{1,2} 卢文标³ 陈学豪¹ 翟少伟^{1*}

(1.集美大学水产学院, 鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心, 福建厦门 361021;

2.青岛求实职业技术学院, 山东青岛 266000; 3.福建深纳生物工程有限公司, 福建永泰 350700)

摘要:为评价不同形式微量元素对鳗用复合预混料中维生素稳定性的影响,将鳗用复合预混料分为4个处理组,即无机微量元素组 I (ITE 组 I)、无机微量元素组 II (ITE 组 II)、有机微量元素组 (OTE 组,铜、铁、锰、锌为复合氨基酸微量元素络合物形式,碘、硒和钴为无机盐形式)和包被无机微量元素组 (CITE 组),其在配合饲料中的添加水平分别为 0.50%、0.75%、0.75% 和 0.50%,不同组复合预混料为每千克配合饲料提供的微量元素水平一致;每组 3 个重复。在 40℃ 恒温储存的第 1 d、第 30 d 和第 60 d 测定并计算维生素的保留率。结果表明:与第 30 d 和第 60 d 的 ITE 组 I 相比,ITE 组 II 中维生素 K 保留率显著增加 ($P < 0.05$),其他维生素保留率无显著变化 ($P > 0.05$);OTE 组 (除维生素 B₁ 外)和 CITE 组各种维生素的保留率均显著升高 ($P < 0.05$)。CITE 组仅维生素 B₁ 和叶酸保留率显著高于 OTE 组 ($P < 0.05$)。不同处理组维生素保留率随储存时间延长逐渐降低,所有处理组在第 60 d 的维生素 A 和维生素 D 保留率均低于第 30 d,OTE 组和 CITE 组对维生素的保护效果优于 ITE 组。表明:与比传统无机微量元素相比,包被无机微量元素和复合氨基酸微量元素络合物可提高鳗用复合预混料中维生素的稳定性,且包被无机微量元素效果更佳。

关键词:复合预混料;微量元素;维生素;稳定性;保留率

doi:10.13302/j.cnki.fi.2021.22.006

中图分类号:S816.72

文献标识码:A

文章编号:1001-991X(2021)22-0031-06

Effects of Different Trace Elements on Stability of Vitamins in Compound Premix for Eel

MA Deying^{1,2} LU Wenbiao³ CHEN Xuehao¹ ZHAI Shaowei^{1*}

(1. Fisheries College of Jimei University, Engineering Research Center of the Modern Industry Technology for Eel, Ministry of Education, Fujian Xiamen 361021, China; 2. Qingdao Qiushi College, Shandong Qingdao 26600, China; 3. Fujian Syno Biotech Co., Ltd., Fujian Yongtai 350700, China)

Abstract: In order to evaluate the protective effects of different forms of trace elements on vitamins in compound premixes for eel, the compound premixes for eel were divided into four treatment groups, and they were inorganic trace element group I (ITE group I), inorganic trace element group II (ITE group II), organic-inorganic

作者简介:马德英,硕士,研究方向为鳗鱼营养与饲料。

*通讯作者:翟少伟,教授,硕士生导师。

收稿日期:2021-10-16

基金项目:财政部和农业农村部“国家现代农业产业技术体系”资助[CARS-46]

- 版,2016(7):40.
- [15] MAY K D, WELLS J E, MAXWELL C V, et al. Granulated lysozyme as an alternative to antibiotics improves growth performance and small intestinal morphology of 10-day-old pigs[J]. Journal of Animal Science, 2012, 90(4): 1118-1125.
- [16] 李欣泽,郝贺,卓春柳,等. 发酵中药对热应激肉鸡生长性能、免疫与抗氧化功能及肌肉氨基酸含量的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(5): 1-10.
- [17] CHEN Y, CHENG Y, DU M, et al. Protective effects of dietary synbiotic supplementation on meat quality and oxidative status in broilers under heat stress[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021(prepublish).
- [18] O Z J, ANNE F, TAMARA E, et al. Effects of supplementation of DL-methionine on tissue and plasma antioxidant status during heat-induced oxidative stress in broilers[J]. Poultry Science, 2020, 99(12).
- [19] ABDEL-LATIF M A, EL-FAR A H, ELBESTAWY A R, et al. Exogenous dietary lysozyme improves the growth performance and gut microbiota in broiler chickens targeting the antioxidant and non-specific immunity mRNA expression[J]. Plos One, 2017, 12(10): 1-17.

(编辑:王芳,xfang2005@163.com)

trace element group (OTE group, the form of copper, iron, manganese and zinc was the metal specific amino acid complex, the form of iodide, cobalt and selenium were inorganic form), and coated inorganic trace element group (CITE group). The supplementation levels of these four compound premixes in formulated diet of eel were 0.50%, 0.75%, 0.75% and 0.50%, respectively. There were three replicates in each treatment group. The same levels of different minerals for formulated eel diet were provided by the four compound premixes for eel. There were three replicates in each group. The four compound premixes were store at a constant temperature of 40 °C, the contents of different vitamins were measured and retention rates of different vitamins were calculated on the first day, the 30th day, and the 60th day, respectively. On the 30th and the 60th day, retention rate of vitamin K in ITE group II was significantly increased in comparison with ITE group I ($P<0.05$), there were no significant changes of retention rate of the other vitamins between those two groups ($P>0.05$). The retention rates of these vitamins in OTE group (except Vitamin B₁) and CITE group were significantly higher than those of ITE group ($P<0.05$). The retention rates of vitamin B₁ and folic acid in CITE group were significantly higher than those of OTE group ($P<0.05$). The retention rates of vitamins in all the treatments were decreased with the storage time. The retention rates of vitamins A and D on the 60th day were lowered significantly than those on the 30th day ($P<0.05$). The protection effects of vitamin in groups of OTE and CITE were better than that of ITE group. In conclusion, the stability of vitamins might be improved by organic trace elements and coated inorganic trace elements in eel compound premix, and better protective effects of coated inorganic trace elements were found on vitamins.

Key words: compound premix; trace element; vitamin; stability; retention rate

维生素主要以辅酶和催化剂的形式参与动物体内几乎所有的新陈代谢,对维持细胞功能和调节三大物质代谢有不可替代的作用。但大多数维生素含有不饱和的碳原子、双键、羟基等对化学反应极敏感的结构部分,极易被氧化,导致活性降低甚至全部丧失^[1],在饲料中最易受到微量元素金属离子的氧化破坏作用,影响维生素稳定性^[2]。目前,动物饲料中添加的微量元素形式可分为传统无机微量元素、有机微量元素和包被无机微量元素,且传统无机微量元素是普遍采用的添加形式。研究表明,动物复合预混料中的无机形式微量元素对维生素的破坏作用较大^[3-5],而有机微量元素替代无机微量元素可降低复合预混料中维生素的损耗率^[6-7],包被的硫酸铜、硫酸亚铁和硫酸锌分别替代相应的无机化合物可降低复合预混料中维生素A的损失率^[8-10]。目前,还鲜见不同形式微量元素对动物复合预混料中不同种类维生素保护效果的比较研究。因此,本试验在鳗用复合预混料中使用无机微量元素、有机微量元素和包被无机微量元素,通过比较不同储存时间维生素的保留率差异情况,评价不同形式微量元素对维生素稳定性的影响,为微量元素在饲料中

的科学应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验采用单因素完全随机区组试验设计。将使用不同形式微量元素配制的鳗用复合预混料分为4个处理组,即无机微量元素配制成的0.50%鳗用复合预混料组(ITE组I)、无机微量元素配制成的0.75%鳗用复合预混料组(ITE组II)、有机微量元素为主配制成的0.75%鳗用复合预混料组(OTE组)和包被无机微量元素配制成的0.50%鳗用复合预混料组(CITE组),每组3个重复,不同组复合预混料为每千克配合饲料提供的各种微量元素水平一致(其中:铜7 mg/kg、铁200 mg/kg、锰30 mg/kg、锌70 mg/kg、碘1.6 mg/kg、硒0.4 mg/kg、钴1.2 mg/kg;不同鳗用复合预混料的配方情况见表1)。所有处理组鳗用复合预混料中的碘、硒、钴元素均采用无机盐形式;在OTE组中,铜、铁、锰、锌为复合氨基酸微量元素络合物的有机微量元素形式。由于有机微量元素的容重较小,体积较大,最低配制成0.75%复合预混料,考虑到复合预混料中载体或稀释剂对维生素保留率的影响,设置了与OTE组相同添加水平的ITE组II。

表1 鳊用复合预混料配方(g/kg)

项目	ITE组 I	ITE组 II	OTE组	CITE组
碱式氯化铜	2.41	1.61	9.33*	2.41
一水硫酸亚铁	133.33	88.89	296.29*	133.33
一水硫酸锰	18.87	12.58	50.00*	18.87
一水硫酸锌	40.58	27.05	77.78*	40.58
碘酸钙	0.52	0.35	0.35	0.52
亚硒酸钠	0.18	0.12	0.12	0.18
硫酸钴	0.73	0.49	0.49	0.73
石粉	3.39	335.59	32.31	3.39
复合维生素	800.00	533.33	533.33	800.00
合计	1 000.00	1 000.00	1 000.00	1 000.00

注:1. 不同组鳊用复合预混料均可为每千克配合饲料提供(mg):Cu 7、Fe 200、Mn 30、Zn 70、I 1.6、Se 0.4、Co 1.2、VA 1 050、VD 240、VE 10、VK 4、VC 50、VB₁ 5、VB₂ 4、烟酰胺20、叶酸1.2;
2. “*”表示OTE组中微量元素铜、铁、锰、锌分别为复合氨基酸铜络合物、复合氨基酸铁络合物、复合氨基酸锰络合物和复合氨基酸锌络合物。

1.2 鳊用复合预混合料的配制

试验中鳊用复合预混料由不同形式微量元素和维生素预混料按一定比例混合而成。所有原料用超细粉碎机(ZFJ-300,江阴市睿总机械制造有限公司)粉碎后过80目筛,按表1中的配方比例用万分之一感量的电子天平依次称取各种微量元素原料和复合维生素,逐级混合均匀,然后用自封袋密封包装,40℃恒温储存,于第1 d、第30 d和第60 d取样测定不同组鳊用复合预混料中的维生素,主要包括维生素A、维生素D、维生素E、维生素K、维生素B₁、维生素B₆、烟酰胺、维生素C和叶酸含量。由于以往研究认为无机微量元素对泛酸保留率的影响较小^[6-7],本试验中未测定泛酸含量。

1.3 评价指标及方法

$$\text{维生素保留率}(\%) = \frac{\text{不同储存时间后鳊用复合预混料中维生素含量}}{\text{鳊用复合预混料中的初始维生素含量}} \times 100$$

其中,维生素A、维生素D、维生素E、维生素K、维生素B₁、维生素B₆、烟酰胺和叶酸测定采用高效液相色谱法,维生素C采用邻苯二胺荧光法,具体步骤参照《饲料工业标准汇编》(2019版)^[11]。

1.4 数据统计与分析

试验结果以“平均值±标准差”表示,采用SPSS

22.0软件进行单因素方差分析(one-way ANOVA),若存在显著差异,则用Duncan's法进行多重比较, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 第30 d不同组鳊用复合预混料的维生素保留率(见表2)

表2 第30 d不同组鳊用复合预混料的维生素保留率(%)

项目	ITE组 I	ITE组 II	OTE组	CITE组
维生素A	89.41±3.02 ^a	86.98±4.15 ^a	99.56±0.52 ^b	99.72±0.12 ^b
维生素D	81.67±4.12 ^a	80.03±3.02 ^a	95.99±4.57 ^b	94.44±5.65 ^b
维生素E	89.74±2.15 ^a	85.62±2.54 ^a	99.99±1.01 ^b	98.91±1.03 ^b
维生素K	39.84±4.56 ^a	65.04±6.25 ^b	87.74±4.87 ^c	91.46±4.02 ^c
维生素B ₁	83.77±1.02 ^a	82.48±1.24 ^a	86.58±2.15 ^b	92.76±1.21 ^c
维生素B ₆	94.15±1.02 ^a	95.31±1.54 ^a	98.64±2.78 ^b	99.99±2.05 ^b
维生素C	79.78±1.14 ^a	81.34±4.01 ^a	87.47±1.25 ^b	91.74±3.05 ^c
烟酰胺	88.64±1.02 ^a	86.89±3.54 ^a	93.71±1.04 ^b	92.37±1.08 ^b
叶酸	87.82±2.01 ^a	89.37±2.08 ^{ab}	92.94±1.47 ^b	97.85±3.87 ^c

注:同行数据肩标含有不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),含有相同字母表示差异不显著($P > 0.05$);下表同。

由表2可知,与ITE组 I相比,ITE组 II中维生素K保留率显著增加($P < 0.05$),其他8种维生素保留率无显著变化($P > 0.05$);OTE组和CITE组各种维生素的保留率均显著升高($P < 0.05$)。CITE组的维生素B₁、维生素C和叶酸保留率显著高于OTE组($P < 0.05$),两组间的其他维生素保留率接近($P > 0.05$)。

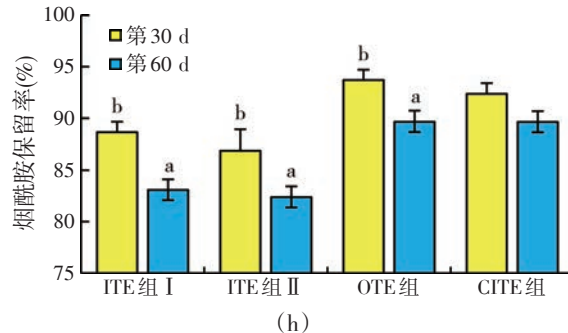
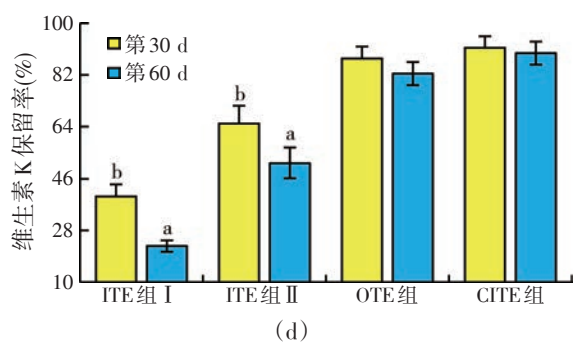
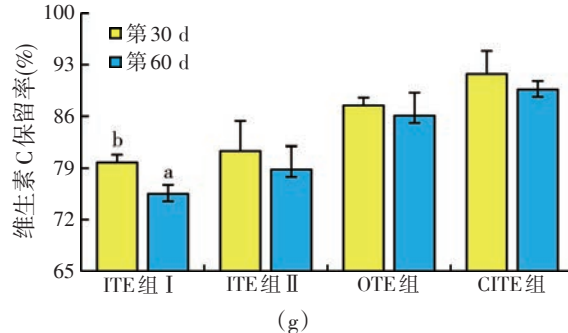
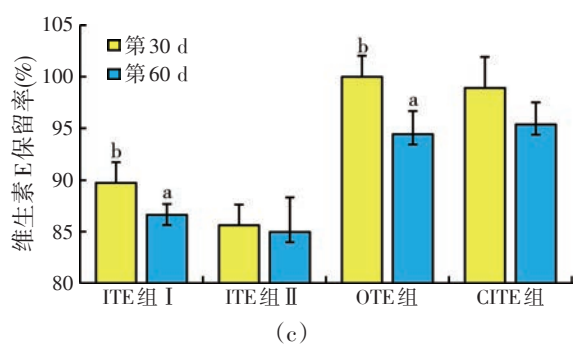
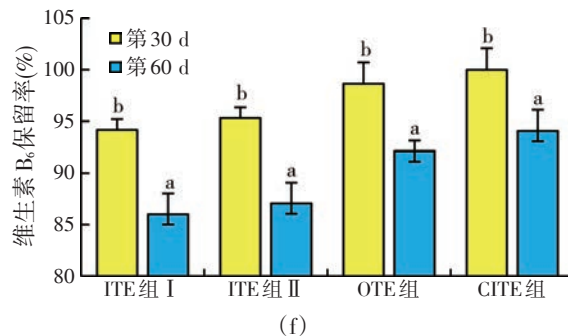
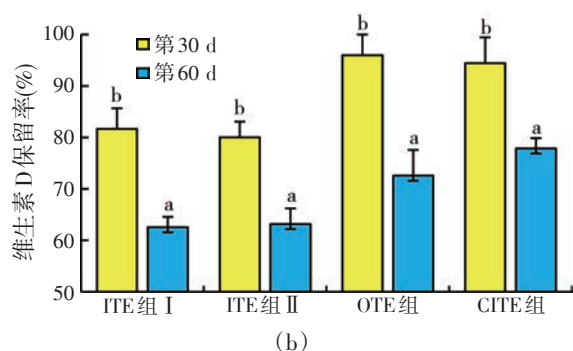
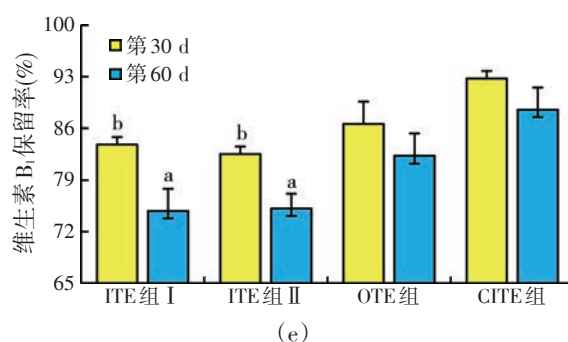
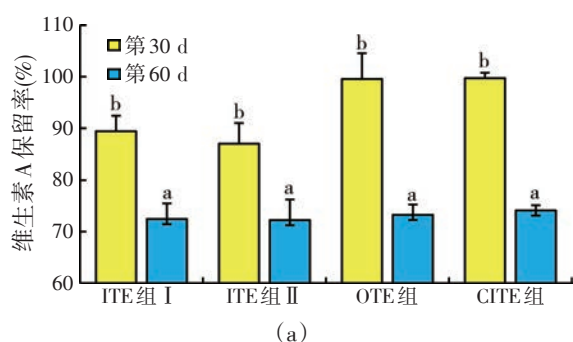
2.2 第60 d不同组鳊用复合预混料的维生素保留率(见表3)

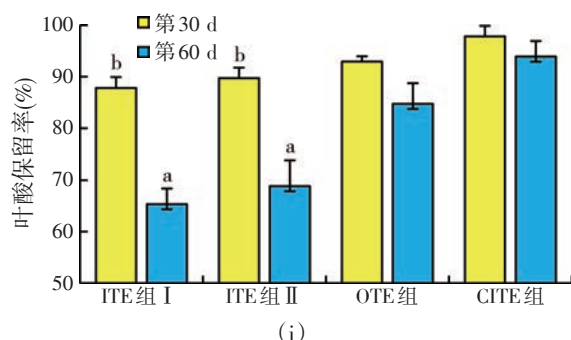
由表3可知,与ITE组 I相比,ITE组 II的维生素K保留率显著增加($P < 0.05$),其他8种维生素保留率无显著变化($P > 0.05$);OTE组(除维生素B₁外)和CITE组各种维生素保留率均显著升高($P < 0.05$)。CITE组维生素K、维生素B₁和叶酸保留率显著高于OTE组($P < 0.05$),两组间的其他维生素保留率无显著差异($P > 0.05$)。

2.3 储存不同时间后鳊用复合预混料维生素保留率比较(见图1)

表3 第60 d不同组鳗用复合预混料的维生素保留率(%)

项目	ITE组 I	ITE组 II	OTE组	CITE组
维生素A	63.46±3.11 ^a	65.25±4.21 ^a	73.28±2.04 ^b	74.13±1.54 ^b
维生素D	62.55±2.15 ^a	63.17±3.14 ^a	72.57±5.47 ^b	77.86±2.56 ^b
维生素E	84.64±1.02 ^a	84.97±3.45 ^a	94.41±2.54 ^b	95.36±2.64 ^b
维生素K	22.57±2.47 ^a	51.46±5.46 ^b	82.48±2.62 ^c	89.60±4.05 ^d
维生素B ₁	74.82±5.01 ^a	75.15±4.02 ^a	82.25±3.02 ^{ab}	88.51±3.01 ^c
维生素B ₆	86.01±4.52 ^a	87.07±2.54 ^{ab}	92.12±3.04 ^{bc}	94.05±2.04 ^c
维生素C	75.51±1.02 ^a	78.82±3.05 ^a	86.08±3.01 ^b	89.62±1.11 ^b
烟酰胺	83.09±1.52 ^a	82.38±1.07 ^a	89.65±1.08 ^b	89.63±1.87 ^b
叶酸	65.35±3.05 ^a	68.85±5.21 ^a	84.72±4.87 ^b	93.92±3.54 ^c





注:柱状图上标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图1 储存不同时间后鳊用复合预混料中维生素保留率比较

由图1可知,ITE组 I、ITE组 II(除维生素E和维生素C外)在第60 d的各种维生素保留率均显著低于第30 d的保留率($P<0.05$)。OTE组在第60 d的维生素A、维生素D、维生素E、维生素B₆和烟酰胺保留率显著低于第30 d的维生素保留率,其他维生素的保留率在第60 d和第30 d均无显著差异($P>0.05$)。CITE组在第60 d的维生素A、维生素D、维生素B₆保留率显著低于第30 d的维生素保留率,其他维生素的保留率在第60 d和第30 d均无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

研究表明,微量元素是影响复合预混合料中维生素稳定性的最大因素,其对维生素的稳定性均具有很强的破坏作用,尤其对饲料中脂溶性维生素的稳定性有重要影响^[12];维生素与微量元素混合后,极易发生氧化与还原作用而遭到破坏,使效价明显降低^[13-14];在微量元素中,铜是影响维生素的主要元素,影响维生素损失率顺序为铜>锌>铁^[8,15]。大多数维生素含有对化学反应极敏感的不饱和碳原子、双键、羟基等结构,易发生氧化反应生成氢过氧化物,产生大量的自由基。无机微量元素金属离子所带的电荷可直接诱导维生素的敏感键发生氧化反应,还可参与氧化反应来催化维生素产生活性氧自由基,缩短氧化的诱导期或加快氧化的速率^[16]。目前,金属离子(M^{n+} 表示微量元素金属离子)氧化维生素的主要途径有:①加速氢过氧化物分解: $M^{n+}+ROOH \rightarrow M^{(n+1)+}+OH^-+RO^-$ 。②直接与未氧化物质反应: $M^{n+}+ROOH \rightarrow M^{(n-1)+}+H^++ROO^-$; $M^{n+}+RH \rightarrow M^{(n-1)+}+H^++R^-$ 。③分子活化单重态氧和过氧化自由基: $M^{n+}+O_2 \rightarrow M^{(n+1)+}+O_2^-$; $O_2-e^- \rightarrow O_2^-$ 或 $O_2^-+H^+ \rightarrow OH^-$ ^[17]。目前,已有微囊化处理或包衣处理技术改善维生素稳定性的报道,具有提高维生素储存过程中的含量和存留率效果^[13,18],从改变传统无机微量元素的形式出发保护维生素也是一条重要途径。

本试验中,OTE组比ITE组 I 鳊用复合预混料中维生素A、维生素D、维生素E、维生素B₁、维生素B₆、叶酸和维生素C储存第30 d保留率提高的幅度为2.81%~14.32%(维生素K的保留率提高47.90%),储存第60 d保留率提高的幅度为6.11%~19.37%(维生素K的保留率提高59.91%),且OTE组储存第30 d和第60 d维生素K、维生素C、维生素B₁和叶酸保留率无显著差异;而ITE组 I 第30 d和第60 d维生素保留率逐渐降低,且存在显著差异,说明鳊用复合预混料中使用有机形式的复合氨基酸微量元素络合物对维生素的保护效果优于无机微量元素。研究表明,用有机微量元素替代无机微量元素,可以使储存120 d后的维生素损耗降低约40%~50%^[6-7];还有一些研究也认为预混料中添加有机微量元素对维生素A、维生素B₁、维生素C和维生素E的破坏作用明显小于添加无机微量元素^[19-20],上述研究报道与本试验的结果类似。有机微量元素提高预混料中维生素保留率的原因可能是其络合物中阳离子能与氨基酸等形成稳定的配位键,具有非常稳定的独特环状结构,能紧紧地微量元素离子包裹在中间,使游离形式存在的金属离子减少,从而降低了对饲料中维生素的氧化破坏作用^[21];还可能与其降低某些维生素氧化降解速度常数K_a值、减缓维生素的氧化作用、降低维生素的破坏作用有关^[22]。

本试验中,CITE组比ITE组 I 鳊用复合预混料中维生素D、维生素E、维生素K、维生素B₁、维生素B₆、烟酰胺、叶酸和维生素C储存第30 d保留率提高3.73%~12.77%(除维生素K保留率提高51.62%外),储存第60 d保留率提高6.54%~28.60%(除维生素K保留率提高67.03%外),且CITE组储存第30 d和第60 d维生素E、维生素K、维生素C、维生素B₁、烟酰胺和叶酸的保留率无显著变化;而ITE组 I 第30 d和第60 d维生素保留率逐渐下降,且存在显著差异,说明包被无机微量元素对维生素的保护效果优于无机微量元素。研究表明,包被处理后硫酸铜对高温下和低温下维生素A的破坏显著降低,有利于延长维生素A储存时间^[15];预混料中添加包被硫酸亚铁或包被硫酸锌较替代无机形式的硫酸亚铁或硫酸锌,可使维生素A、维生素C的损失率分别降低9.95%和5.70%^[10];添加包被硫酸铜、包被硫酸亚铁和包被硫酸锌比仅使用硫酸铜在40℃条件下储存8、16 d和24 d后的维生素A损失率分别降低3.23%、4.83%和4.24%^[8];包被复合无机微量元素可显著减少维生素A、维生素D和维生素E储存过程中的损失^[23]。这些报道与本试验的研究结果

接近,可能是包被无机微量元素采用液固相融合分散的物理包被技术,使用可消化的食品级包材,直接实现与维生素的物理隔离,避免易发生氧化反应的金属离子直接与维生素接触,从而直接起到保护作用^[23]。

本试验中,CITE组鳗用复合预混料中维生素K、维生素B₁、维生素C和叶酸在储存第30 d和第60 d的保留率比OTE组提高3.54%~9.20%,表明鳗用复合预混料中添加包被无机微量元素对某些维生素的保护效果优于复合氨基酸微量元素络合物形式的有机微量元素,具体原因有待查明。此外,ITE组I与ITE组II鳗用复合预混料中维生素保留率差异不大,说明本试验条件下无机微量元素稀释1.5倍对维生素产生的保护效果较小,进一步稀释对维生素的保护作用还有待研究。一般认为稀释可使复合预混料中维生素和微量元素的空间距离加大,暴露于空气中的面积减少,可能减弱维生素的氧化程度^[24-25]。

维生素的稳定性易受高温的影响,主要是高温可提高水分子和金属离子的活性,为金属离子催化氧化自由基链式反应提供能量;高温还可使硫酸盐易脱去部分结晶水,而处于一种极不稳定的状态,同时物料更易吸潮、结块^[25]。本试验中鳗用复合预混料密封储存在40℃条件下,而在复合预混料的生产、运输和储存过程中温度可能更高,包被无机微量元素和有机微量元素对维生素的保护效果有可能更为明显,这点还有待于进一步研究。

4 结论

本试验条件下,与无机微量元素相比,包被无机微量元素和复合氨基酸微量元素络合物可提高鳗用复合预混料中维生素的稳定性,且包被无机微量元素效果更佳。

参考文献

- [1] DOVE C R, EWAN R C. Effect of trace minerals on the minerals on the stability of vitamin E in swine grower diets[J]. *Journal of Animal Science*, 1991, 69(5): 1994-2000.
- [2] KILLEIT V. The stability of vitamins A selection of current literature[M]. Basel Switzerland: Hoffmann-LaRoche Co. Ltd., 1986: 2124.
- [3] 段俊红,王之盛. 微量元素对预混料中维生素稳定性的影响[J]. *饲料工业*, 2009, 30(21): 27-30.
- [4] ADAMS C R. Effect of environmental conditions on the stability of vitamin in feeds[J]. *National Academy of Science*, 1972(6): 142-148.
- [5] ADAMS C R. Effect of excess dietary copper, iron or zinc on the tocopherol and selenium status of growing pigs[J]. *Journal of Animal Science*, 1990, 68: 2407-2413.
- [6] 周俊华,李雅青. 有机和无机微量元素对预混料中维生素稳定性的影响[J]. *中国饲料*, 2018, 22(28): 28-31.
- [7] JERRY S, TROY S, DEAN K, et al. Metal-specific amino acid complexes, inorganic trace minerals effect on vitamins stability examined[J]. *Feedstuffs*, 1996, 68(45): 13-16.
- [8] 李芳,余敏,罗雄,等. 包被微量元素对复合预混合饲料中维生素A的影响[J]. *饲料博览*, 2019(4): 37-40.
- [9] 王志刚. 包被硫酸亚铁对维生素A稳定性及断奶仔猪生物学效价研究[D]. 硕士学位论文:雅安,四川农业大学,2006.
- [10] 周文艺. 包被硫酸锌和碱式碳酸铜对维生素A稳定性影响及其生物效价研究[D]. 硕士学位论文:雅安,四川农业大学,2006.
- [11] 中国标准出版社. 饲料工业标准汇编(下册)[M]. 第6版. 北京:中国标准出版社,2019.
- [12] 孔凡科,郭吉原,杨青,等. 储存时间、铜源及其添加水平对脂溶性维生素稳定性的影响[J]. *中国畜牧杂志*, 2020, 56(12): 129-132.
- [13] 杨在宾,梁孝平,李洪涛. 复合维生素包衣对维生素稳定性的影响[J]. *饲料工业*, 2020, 41(15): 8-12.
- [14] 冯祖云,王慧. 维生素预混料稳定性的影响因素及保护措施[J]. *湖南饲料*, 2021(2): 46-48.
- [15] 罗荣,李芳,余敏,等. 硫酸铜及温度对维生素A稳定性的影响[J]. *粮食与饲料工业*, 2020(1): 41-42, 50.
- [16] 胡慰望,谢笔钧. 食品化学[M]. 北京:科学出版社,1992: 28-29.
- [17] OWEAN R, FENNEMA. 食品化学[M]. 王璋等译. 北京:中国轻工业出版社,2003: 46-64.
- [18] 朱敏,杨攀,王华凯,等. 维生素预混合饲料加速稳定性试验及微胶囊包被效果评价[J]. *动物营养学报*, 2019, 31(6): 2882-2890.
- [19] 杨敏. 饲料添加剂预混料中维生素破坏因子的研究[D]. 硕士学位论文. 哈尔滨:东北农业大学,1996.
- [20] 徐学明,张晓鸣,袁信华,等. 微量元素氨基酸络合物在预混合饲料中理化性质的研究[J]. *饲料工业*, 2002, 23(2): 33-35.
- [21] FOUND M T. Chelation and chelated minerals[J]. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism*, 1974, 26: 6-8.
- [22] 张晓鸣,林萍,黄玲,等. 甘氨酸螯合铁理化性质的研究[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(5): 21-26.
- [23] LU W B, KUANG Y G, LIU M. Novel trace mineral technology prevents oxidation in premix [J]. *Asian Feed Magazine*, 2020(4): 14-17.
- [24] QIANG Z G. Factors affecting storage stability of vitamin A, riboflavin, and niacin in a broiler diet premix[D]. Master Thesis: Manhattan, Kansas State University, 1985.
- [25] 孙海霞,单安山. 影响预混料中维生素稳定性的因素[J]. *饲料工业*, 2001, 22(3): 39-42.

(编辑:沈桂宇,guiyush@126.com)