

# 饮水中添加复合维生素纳米乳对生长獭兔生长性能、免疫功能、抗氧化能力、肠道组织结构及盲肠微生态的影响

叶翔杨<sup>1,2</sup> 宫瑞光<sup>1</sup> 任战军<sup>1\*</sup>

(1.西北农林科技大学动物科技学院,杨凌 712100;2.广东省农业科学院动物科学研究所,畜禽育种国家重点实验室,农业农村部华南动物营养与饲料重点实验室,广东省畜禽育种与营养研究重点实验室,广州 510640)

**摘要:** 本试验采用纳米乳技术制备复合维生素纳米乳,研究在饮水中添加复合维生素纳米乳对生长獭兔生长性能、免疫功能、抗氧化能力、肠道组织结构及盲肠微生态的影响。选取 30 日龄断奶、体重接近的健康獭兔 150 只,随机分为 5 组,每组 3 个重复,每个重复 10 只(公母各占 1/2)。其中,对照组 I 饲喂含维生素(100%营养标准)的颗粒料,饮水中不添加复合维生素纳米乳;对照组 II 饲喂含维生素(100%营养标准)的颗粒料,饮水中添加吐温-80+丙三醇(与试验组 II 相同配比);试验组 I 饲喂不含维生素的颗粒料,饮水中添加含营养标准 80%的复合维生素纳米乳;试验组 II 饲喂不含维生素的颗粒料,饮水中添加含营养标准 100%的复合维生素纳米乳;试验组 III 饲喂不含维生素的颗粒料,饮水中添加含营养标准 120%的复合维生素纳米乳。试验期为 61 d,其中预试期 5 d,正试期 56 d。结果显示:与对照组 I 相比,1)第 1~28 天,对照组 II 和试验组 I 的腹泻率和腹泻死亡率均显著降低( $P<0.05$ ),第 29~56 天,试验组 II、III 的平均日采食量显著降低( $P<0.05$ ),而料重比差异不显著( $P>0.05$ );2)试验组 I、II 的胸腺指数显著降低( $P<0.05$ ),对照组 II 和试验组 II 的蜷突长度显著减少( $P<0.05$ ),试验组 I、III 的肝脏指数显著升高( $P<0.05$ );3)对照组 II 血液超氧化物歧化酶活性和试验组 II 血液总抗氧化能力显著增加( $P<0.05$ );4)对照组 II 回肠绒毛高度极显著增加( $P<0.01$ ),试验组 I 回肠隐窝深度显著降低( $P<0.05$ ),对照组 II 和各试验组回肠绒毛高度/隐窝深度均极显著增加( $P<0.01$ ),对照组 II 回肠单层柱状上皮中淋巴细胞比例显著升高( $P<0.05$ );5)试验组 II 盲肠菌群中厚壁菌门、疣微菌科、疣微菌科 UCG-014 的相对丰度均显著升高( $P<0.05$ )。由此可见,饮水中添加含营养标准 100%的复合维生素纳米乳能够在一定程度上增强生长獭兔的免疫功能和抗氧化能力,并改善其肠道组织结构和盲肠微生态环境。

**关键词:** 复合维生素纳米乳;獭兔;生长性能;免疫功能;抗氧化能力;肠道组织结构;盲肠微生态

中图分类号:S816

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)02-1044-11

维生素是一类生理功能和营养意义相似的有机化合物,参与机体代谢调节,维持人和动物正常

收稿日期:2020-06-13

基金项目:陕西省科技创新项目——家兔肉用性状功能基因解析与“四优”獭兔选育(K3310216062);陕西省农业科技创新与攻关项目(16NY-108);陕西省农业科技创新转化项目(NYKJ-2020-YL-16);杨凌示范区产学研用协同创新重大项目(1017cxy-15);陕西省重点研发项目(2018ZDXM-NY-041)

作者简介:叶翔杨(1992—),女,浙江瑞安人,硕士研究生,研究方向为动物营养。E-mail: 18792991617@163.com

\* 通信作者:任战军,教授,博士生导师,E-mail: renzhanjun@nwsuaf.edu.cn

生理功能。维生素在动物体内不能合成或合成量不足,只能从食物或饲料中摄取。然而,在饲料生产和贮藏都会对饲料中维生素含量产生影响。目前,国内外普遍认为在配合饲料加工中,温度、水分、压力、调质时间、摩擦等是影响维生素稳定性的主要因素。有研究显示,维生素在饲料热加工过程中损失很大,尤其是维生素 A,其活性可降低 30%~50%<sup>[1]</sup>。目前常通过过量添加的形式来补充维生素在饲料配制过程中的损失,但这种方式成本高、浪费大。

纳米乳又称微乳,是由油相、水相、表面活性剂及助表面活性剂,以适当比例混合形成的一种透明或半透明、低黏度的热力学稳定体系,其粒径一般介于 1~100 nm。它被广泛地应用于封装亲脂性生物活性成分(脂溶性维生素或营养素),加入以水为基质食品中,具有很高的光学清晰度,就像强化水、软饮料、果汁等<sup>[2]</sup>。纳米乳由于其粒径小、表面活性剂和助表面活性剂浓度高,可提高封装元件的生物利用度<sup>[3]</sup>。大量资料表明,纳米乳具有制备简单、安全性高、热力学稳定、能增大难溶性药物溶解度、提高易水解药物稳定性、吸收率高等优点。

纳米乳技术在食品和药物加工中已广泛应用,而在动物营养方面研究较少,尤其是家兔方面未见研究报告。本试验以獭兔为研究对象,采用纳米乳技术将脂溶性维生素 A、维生素 D、维生素 E 和水溶性维生素 B<sub>1</sub>、维生素 B<sub>6</sub>、生物素、泛酸、烟酸、胆碱复合制成维生素乳液,并对其品质

进行鉴定,通过饮水添加给獭兔,测定该复合维生素纳米乳对生长獭兔生长性能、免疫功能、抗氧化能力、肠道组织结构及盲肠微生态的影响,以期开发一种安全、稳定、高效、品质可控的兔用复合维生素饮品,为獭兔高效补充维生素提供理论依据。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 试验设计

根据谷子林等<sup>[4]</sup>推荐的断奶后生长育肥獭兔饲料中维生素含量,按照 1 mL 复合维生素纳米乳中各维生素的供应量等于 1 kg 饲料中各维生素的供应量,确定复合维生素纳米乳中的各维生素含量,详见表 1。采用自发乳化法制备复合维生素纳米乳,即在常温、常压下,将配方量的 km(表面活性剂吐温-80:助表面活性剂丙三醇=3:1)与油相(维生素 A 油、维生素 D 油和维生素 E 油混合物)混合,搅拌均匀,然后向体系中缓慢滴加水相(含配方量水溶性维生素泛酸钙、烟酰胺、生物素、维生素 B<sub>1</sub>、维生素 B<sub>6</sub>、胆碱的水溶液),km:油相:水相为 4:1:15。开始时体系黏度较低,随着水相的加入,体系会出现由稀变黏的过程,继续滴加,体系又会由黏变稀,最后将水相全部加入体系中,即形成稳定的复合维生素纳米乳。用高效液相色谱法对复合维生素纳米乳中各维生素的含量进行测定,结果见表 1(由于生物素的添加量过低,测量不准确,故未测定生物素含量;由于测定过程中操作不当,胆碱和泛酸含量数据有误,故未采用)。

表 1 复合维生素纳米乳中各维生素的设计含量与测定含量

Table 1 Setting contents and measured contents of vitamins in multivitamin nanoemulsion

项目 Items	设计含量 Setting content	测定含量 Measured content
脂溶性维生素 Fat-soluble vitamins		
维生素 A VA/(IU/mL)	6 000	6 982.61
维生素 D VD/(IU/mL)	900	724.80
维生素 E VE/(mg/mL)	50	48.17
水溶性维生素 Water-soluble vitamins		
维生素 B <sub>1</sub> VB <sub>1</sub> /(mg/mL)	2	2.23
维生素 B <sub>6</sub> VB <sub>6</sub> /(mg/mL)	2	2.04
烟酰胺 Nicotinamide/(mg/mL)	50	43.77
泛酸钙 Calcium pantothenate/(mg/mL)	20	—
胆碱 Choline/(mg/mL)	200	—
生物素 Biotin/(mg/mL)	0.1	—

基础饲粮为养殖场自配颗粒料,其组成及营养水平见表2。

表2 基础饲粮组成及营养水平(风干基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels <sup>2)</sup>	含量 Content
玉米 Corn	25	消化能 DE/(MJ/kg)	11.48
玉米皮 Corn bran	25	粗蛋白质 CP	16.20
豆粕 Soybean meal	17	粗纤维 CF	7.80
米糠 Rice bran	15	粗脂肪 EE	5.30
小麦麸 Wheat bran	12	蛋氨酸 Met	0.24
苜蓿草粉 Alfalfa meal	1	赖氨酸 Lys	0.71
预混料 Premix <sup>1)</sup>	5	蛋氨酸+半胱氨酸 Met+Cys	0.51
合计 Total	100	钙 Ca	1.91
		磷 P	0.55

1) 对照组预混料可为每千克饲粮提供 The premix of control groups provided the following per kg of diet: VA 6 000 IU, VD 900 IU, VE 50 mg, VK<sub>3</sub> 2 mg, VB<sub>1</sub> 2 mg, VB<sub>6</sub> 2 mg, 泛酸钙 calcium pantothenate 20 mg, 烟酰胺 nicotinamide 50 mg, 胆碱 choline 200 mg, 生物素 biotin 0.1 mg, Fe 90 mg, Cu 20 mg, Zn 70 mg, Mn 10 mg, Se 0.3 mg, I 0.2 mg, Co 0.15 mg, 氯羟吡啶 clopidol 4 g, Ca 18 g, NaCl 3 g。试验组预混料可为每千克饲粮提供 The premix of experimental groups provided the following per kg of diet: Fe 90 mg, Cu 20 mg, Zn 70 mg, Mn 10 mg, Se 0.3 mg, I 0.2 mg, Co 0.15 mg, 氯羟吡啶 clopidol 4 g, Ca 18 g, NaCl 3 g。

2) 营养水平均为计算值。All nutrient levels were calculated values.

## 1.2 试验动物与分组

试验采用单因素随机试验设计,选取30日龄断奶、体重接近的健康獭兔150只,随机分为5组,每组3个重复,每个重复10只(公母各占1/2),单笼饲养。其中对照组I饲喂含维生素(100%营养标准)的颗粒料,饮水中不添加复合维生素纳米乳;对照组II饲喂含维生素(100%营养标准)的颗粒料,饮水中添加吐温-80+丙三醇(与试验组II相同配比);试验组I饲喂不含维生素的颗粒料,饮水中添加含营养标准80%的复合维生素纳米乳;试验组II饲喂不含维生素的颗粒料,饮水中添加含营养标准100%的复合维生素纳米乳;试验组III饲喂不含维生素的颗粒料,饮水中添加含营养标准120%的复合维生素纳米乳。试验期为61 d,其中预试期5 d,正试期56 d。试验期间,在每日喂料前停止供水并清干饮水碗,添加稀释至10 mL的复合维生素纳米乳,然后喂料,确认饮水碗中水喝干净后再打开水阀,自由饮水。根据前1天的采食量确定各组每日复合维生素纳米乳的添加量,其计算公式为:

$$\text{复合维生素纳米乳添加量(mL)} = \text{前1天的采食量(kg)} \times \text{含营养标准的百分比。}$$

## 1.3 样品采集

试验结束后,从每个重复中随机选取公、母兔各1只,共30只,空腹称重后屠宰,分离胸腺、脾

脏、肝脏、蚓突。用抗凝采血管心脏采血5 mL,液氮速冻后于-80℃保存,用于测定血液免疫指标和抗氧化指标测定;取回肠中段,载玻片刮取黏膜,装于1.5 mL离心管中,液氮速冻后-80℃保存,用于测定回肠黏膜免疫指标。回肠、蚓突组织各取3 cm,生理盐水洗净后用4%多聚甲醛固定24 h,用于肠道组织形态观察;结扎盲肠两端,取盲肠内容物10 mL,超低温冰箱保存,用于分析盲肠菌群。

## 1.4 指标测定

### 1.4.1 生长性能测定

每天早上喂料前收集前1天剩余的饲粮,称重计算各重复獭兔的总采食量和平均日采食量(ADFI);正试期第1天至试验结束,每2周早晨空腹称重并记录每只试验兔重量,计算各重复獭兔的体增重和平均日增重(ADG);根据平均日采食量和平均日增重,计算各重复獭兔的料重比(F/G)。每日记录试验兔腹泻、死亡情况,计算腹泻率和腹泻死亡率。

$$\text{腹泻率(\%)} = (\text{试验期内腹泻獭兔只次数} / \text{试验獭兔只数}) \times 100;$$

$$\text{腹泻死亡率(\%)} = (\text{试验期内腹泻并死亡獭兔头数} / \text{试验獭兔头数}) \times 100。$$

### 1.4.2 免疫器官指数和蚓突长度测定

用天平对胸腺、脾脏、肝脏进行称重,计算免疫器官指数;用直尺测定蚓突长度。

免疫器官指数=免疫器官重/宰前活重。

### 1.4.3 免疫指标和抗氧化指标测定

免疫指标包括血液免疫球蛋白 A (IgA)、免疫球蛋白 M (IgM)、免疫球蛋白 G (IgG) 和回肠黏膜分泌型免疫球蛋白 (SIgA) 含量, 抗氧化指标包括血液丙二醛 (MDA) 含量、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、总抗氧化能力 (T-AOC)。所有指标均采用酶联免疫吸附试验 (ELISA) 法测定, 试剂盒购于上海优选生物科技有限公司, 具体测定步骤参照说明书进行。

### 1.4.4 肠道组织形态观察

回肠、蚓突组织经生理盐水洗净后用 4% 多聚甲醛固定 24 h 后, 冲水、梯度酒精脱水、二甲苯透明、石蜡包埋等处理后制作石蜡切片, 以 6  $\mu\text{m}$  的厚度切片, 常规苏木精-伊红 (HE) 染色后于显微镜下测定回肠绒毛高度和隐窝深度, 计算绒毛高度/隐窝深度 (V/C)。在高倍显微镜下观察回肠、蚓突, 计算 100 个单层柱状上皮细胞中淋巴细胞和杯状细胞数目, 即单层柱状上皮中淋巴细胞和杯状细胞比例。

### 1.4.5 盲肠菌群 DNA 提取与多样性分析

盲肠菌群 DNA 提取和多样性分析由诺禾致源公司操作完成。

## 1.5 数据处理与分析

试验采用 SPSS 22.0 软件对数据进行方差分析, 并采用 Duncan 氏法对各组数据进行多重比较, 结果用平均值 $\pm$ 标准差表示。

## 2 结果

### 2.1 饮水中添加复合维生素纳米乳对生长獭兔生长性能的影响

由表 3 可知, 第 1~28 天, 试验组 I 的料重比最低, 显著低于试验组 II ( $P<0.05$ ), 与其他组差异不显著 ( $P>0.05$ ); 对照组 II 和试验组 I 的腹泻率和腹泻死亡率显著低于对照组 I ( $P<0.05$ )。第 29~56 天, 试验组 II、III 的平均日采食量显著低于对照组 I ( $P<0.05$ )。整个试验期间 (第 1~56 天), 试验组 I 的平均日增重最高, 为 19.27 g/d, 显著高于试验组 II ( $P<0.05$ ), 其他指标各组间差异均不显著 ( $P>0.05$ )。

表 3 复合维生素纳米乳对生长獭兔生长性能的影响

Table 3 Effects of multivitamins nanoemulsion on growth performance of growing Rex rabbits

项目 Items	对照组 Control group		试验组 Test group		
	I	II	I	II	III
第 1~28 天 Day 1 to 28					
平均日采食量 ADFI/(g/d)	58.63 $\pm$ 12.66	60.37 $\pm$ 11.77	60.53 $\pm$ 11.31	60.08 $\pm$ 11.03	58.98 $\pm$ 12.56
平均日增重 ADG/(g/d)	20.09 $\pm$ 5.62	19.32 $\pm$ 3.21	21.58 $\pm$ 3.52	19.46 $\pm$ 3.57	19.53 $\pm$ 3.83
料重比 F/G	3.01 $\pm$ 0.12 <sup>ab</sup>	3.04 $\pm$ 0.15 <sup>ab</sup>	2.79 $\pm$ 0.11 <sup>b</sup>	3.10 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>	3.03 $\pm$ 0.10 <sup>ab</sup>
腹泻率 Diarrhea rate/%	26.67 $\pm$ 5.77 <sup>a</sup>	6.67 $\pm$ 11.55 <sup>b</sup>	6.67 $\pm$ 11.55 <sup>b</sup>	10.00 $\pm$ 10.00 <sup>ab</sup>	16.67 $\pm$ 5.77 <sup>ab</sup>
腹泻死亡率 Diarrhea mortality/%	26.67 $\pm$ 5.77 <sup>a</sup>	6.67 $\pm$ 11.55 <sup>b</sup>	3.33 $\pm$ 5.77 <sup>b</sup>	6.67 $\pm$ 11.55 <sup>b</sup>	13.33 $\pm$ 11.55 <sup>ab</sup>
第 29~56 天 Day 29 to 56					
平均日采食量 ADFI/(g/d)	64.15 $\pm$ 13.06 <sup>a</sup>	67.11 $\pm$ 21.80 <sup>ab</sup>	61.43 $\pm$ 15.24 <sup>ab</sup>	60.82 $\pm$ 12.97 <sup>b</sup>	59.72 $\pm$ 11.85 <sup>b</sup>
平均日增重 ADG/(g/d)	17.12 $\pm$ 3.13	17.39 $\pm$ 4.13	15.88 $\pm$ 3.82	16.62 $\pm$ 3.77	19.99 $\pm$ 4.01
料重比 F/G	3.56 $\pm$ 0.25	3.73 $\pm$ 0.54	3.56 $\pm$ 0.30	3.66 $\pm$ 0.21	3.55 $\pm$ 0.30
腹泻率 Diarrhea rate/%	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	8.33 $\pm$ 14.43	3.33 $\pm$ 5.77
腹泻死亡率 Diarrhea mortality/%	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	0.00 $\pm$ 0.00	8.33 $\pm$ 14.43	3.33 $\pm$ 5.77
第 1~56 天 Day 1 to 56					
平均日采食量 ADFI/(g/d)	62.79 $\pm$ 18.20	61.68 $\pm$ 13.24	62.31 $\pm$ 12.30	60.27 $\pm$ 14.48	59.88 $\pm$ 12.75
平均日增重 ADG/(g/d)	19.01 $\pm$ 2.11 <sup>ab</sup>	18.55 $\pm$ 2.61 <sup>ab</sup>	19.27 $\pm$ 1.61 <sup>a</sup>	17.92 $\pm$ 1.82 <sup>b</sup>	18.34 $\pm$ 1.87 <sup>ab</sup>
料重比 F/G	3.22 $\pm$ 0.16	3.33 $\pm$ 0.20	3.15 $\pm$ 0.18	3.29 $\pm$ 0.11	3.21 $\pm$ 0.04
腹泻率 Diarrhea rate/%	26.67 $\pm$ 5.77	6.67 $\pm$ 11.55	6.67 $\pm$ 11.55	16.67 $\pm$ 20.82	20.00 $\pm$ 0.00
腹泻死亡率 Diarrhea mortality/%	26.67 $\pm$ 5.77	6.67 $\pm$ 11.55	3.33 $\pm$ 5.77	13.33 $\pm$ 23.09	16.67 $\pm$ 5.77

同行数据肩标无字母或相同小写字母表示差异不显著 ( $P>0.05$ ), 不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), 不同大写字母表示差异极显著 ( $P<0.01$ )。下表同。

In the same row, values with the same small letter or no letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ), and with different capital letter superscripts mean significant difference ( $P<0.01$ ). The same as below.



## 2.2 饮水中添加复合维生素纳米乳对生长獭兔免疫指标的影响

复合维生素纳米乳对生长獭兔免疫器官指数和蚓突长度的影响见表4。对照组 I 的胸腺指数、脾脏指数和蚓突长度均高于对照组 II 和各试验

组,其中胸腺指数与试验组 I、II 差异显著 ( $P < 0.05$ ), 蚓突长度与对照组 II 和试验组 II 差异显著 ( $P < 0.05$ )。此外,对照组 I 的肝脏指数显著低于试验组 I、III ( $P < 0.05$ )。

表4 复合维生素纳米乳对生长獭兔免疫器官指数和蚓突长度的影响

Table 4 Effects of multivitamins nanoemulsion on immune organ indexes and appendix length of growing Rex rabbits

项目 Items	对照组 Control group		试验组 Test group		
	I	II	I	II	III
胸腺指数 Thymus index/(g/kg)	2.98±0.84 <sup>a</sup>	2.28±0.63 <sup>ab</sup>	2.05±0.48 <sup>b</sup>	2.12±0.39 <sup>b</sup>	2.38±0.48 <sup>ab</sup>
脾脏指数 Spleen index/(g/kg)	0.43±0.09	0.34±0.06	0.34±0.06	0.38±0.11	0.37±0.06
肝脏指数 Liver index/(g/kg)	28.25±4.59 <sup>b</sup>	31.80±5.65 <sup>ab</sup>	35.63±3.57 <sup>a</sup>	33.56±4.19 <sup>ab</sup>	35.99±6.88 <sup>a</sup>
蚓突长度 Appendix length/cm	9.42±0.69 <sup>a</sup>	8.12±0.74 <sup>b</sup>	8.85±0.59 <sup>ab</sup>	8.35±0.65 <sup>b</sup>	9.08±0.59 <sup>ab</sup>

复合维生素纳米乳对生长獭兔血液及回肠黏膜免疫球蛋白含量的影响见表5。对照组 I 的血液 IgG 含量极显著低于其他组 ( $P < 0.01$ ), 同时对

对照组 II 血液 IgG 含量显著低于试验组 I ( $P < 0.05$ )。对照组 I 的回肠黏膜 SIgA 含量显著高于试验组 II ( $P < 0.05$ )。

表5 复合维生素纳米乳对生长獭兔血液及回肠黏膜免疫球蛋白含量的影响

Table 5 Effects of multivitamins nanoemulsion on immunoglobulin contents in blood and ileal mucosa of growing Rex rabbits

项目 Items	对照组 Control group		试验组 Test group		
	I	II	I	II	III
血液 Blood					
免疫球蛋白 A IgA/(μg/mL)	10.58±1.62	11.01±1.42	10.54±1.65	10.00±1.32	9.43±1.93
免疫球蛋白 M IgM/(μg/mL)	1.98±0.19	2.08±0.13	2.26±0.31	2.09±0.28	1.90±0.12
免疫球蛋白 G IgG/(mg/mL)	55.55±7.40 <sup>Bc</sup>	69.29±4.14 <sup>Ab</sup>	83.08±9.66 <sup>Aa</sup>	75.07±10.85 <sup>Aab</sup>	73.26±7.55 <sup>Aab</sup>
回肠黏膜 Ileal mucosa					
分泌型免疫球蛋白 SIgA/(μg/mL)	19.15±10.98 <sup>a</sup>	11.39±2.97 <sup>ab</sup>	14.25±5.63 <sup>ab</sup>	7.28±1.30 <sup>b</sup>	11.10±4.88 <sup>ab</sup>

## 2.3 饮水中添加复合维生素纳米乳对生长獭兔血液抗氧化指标的影响

复合维生素纳米乳对生长獭兔血液抗氧化指标的影响见表6。试验组 II 的血液 MDA 含量显著高于对照组 I ( $P < 0.05$ ), 高于试验组 III、I 和对照组 II ( $P > 0.05$ )。对照组 II 的血液 SOD 活性显

著高于对照组 I ( $P < 0.05$ ), 对照组 I、对照组 II 与各试验组间的差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。试验组 II 的血液 T-AOC 显著高于对照组 I、II 和试验组 I ( $P < 0.05$ )。试验组 I、II 和 III 之间血液 MDA 含量、SOD 活性和 T-AOC 这 3 个指标的差异均不显著 ( $P > 0.05$ )。

表6 复合维生素纳米乳对生长獭兔血液抗氧化指标的影响

Table 6 Effects of multivitamins nanoemulsion on blood antioxidant indexes of growing Rex rabbits

项目 Items	对照组 Control group		试验组 Test group		
	I	II	I	II	III
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	20.12±2.48 <sup>b</sup>	26.48±2.67 <sup>a</sup>	23.39±1.76 <sup>ab</sup>	28.39±5.54 <sup>a</sup>	26.82±4.32 <sup>a</sup>
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	381.19±27.74 <sup>b</sup>	465.63±62.84 <sup>a</sup>	423.96±36.97 <sup>ab</sup>	409.34±51.78 <sup>ab</sup>	403.05±14.64 <sup>ab</sup>
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	70.27±21.28 <sup>b</sup>	78.61±9.20 <sup>b</sup>	74.58±13.53 <sup>b</sup>	107.42±20.44 <sup>a</sup>	95.05±25.82 <sup>ab</sup>

## 2.4 饮水中添加复合维生素纳米乳对生长獭兔回肠和蚓突形态结构的影响

复合维生素纳米乳对獭兔回肠和蚓突形态结构的影响见表 7。对照组 II 的回肠绒毛高度最高,极显著高于对照组 I ( $P<0.01$ );对照组 I、II 的回

肠隐窝深度显著高于试验组 I ( $P<0.05$ );对照组 I 的回肠 V/C 极显著低于其他 4 组 ( $P<0.01$ )。对照组 I 的蚓突隐窝深度显著高于试验组 III ( $P<0.05$ ),肠壁厚度极显著高于 3 个试验组 ( $P<0.01$ )。

表 7 复合维生素纳米乳对生长獭兔回肠和蚓突形态结构的影响

Table 7 Effects of multivitamin nanoemulsion on morphology of ileum and appendix of growing Rex rabbits

项目 Items	对照组 Control group		试验组 Test group		
	I	II	I	II	III
绒毛高度 Villus height/mm	1.82±0.40 <sup>Bb</sup>	2.16±0.50 <sup>Aa</sup>	2.07±0.57 <sup>ABab</sup>	1.93±0.32 <sup>ABab</sup>	1.99±0.31 <sup>ABab</sup>
回肠 Ileum					
隐窝深度 Crypt depth/ $\mu$ m	607.05±109.85 <sup>a</sup>	600.53±134.32 <sup>a</sup>	529.43±119.37 <sup>b</sup>	561.11±147.27 <sup>ab</sup>	562.47±114.94 <sup>ab</sup>
绒毛高度/隐窝深度 V/C	3.01±0.50 <sup>Bb</sup>	3.74±1.15 <sup>Aa</sup>	3.93±0.67 <sup>Aa</sup>	3.58±0.72 <sup>Aa</sup>	3.62±0.63 <sup>Aa</sup>
蚓突 Appendix					
隐窝深度 Crypt depth/ $\mu$ m	449.16±114.22 <sup>a</sup>	401.20±64.99 <sup>ab</sup>	419.95±93.80 <sup>ab</sup>	420.08±59.07 <sup>ab</sup>	364.19±154.73 <sup>b</sup>
肠壁厚度 Intestine thickness/mm	1.80±0.17 <sup>Aa</sup>	1.72±0.19 <sup>ABab</sup>	1.59±0.25 <sup>BCc</sup>	1.63±0.21 <sup>Bbc</sup>	1.47±0.21 <sup>Cd</sup>

复合维生素纳米乳对生长獭兔回肠和蚓突单层柱状上皮中免疫细胞比例的影响见表 8。对照组 II 回肠单层柱状上皮中淋巴细胞比例显著高于试验组 I、II 和对照组 I ( $P<0.05$ );试验组 I 回肠

单层柱状上皮中杯状细胞比例最高,对照组 I 最低,但各组之间差异不显著 ( $P>0.05$ )。试验组 I 蚓突单层柱状上皮中淋巴细胞和杯状细胞比例最高,试验组 III 最低,但各组之间差异不显著 ( $P>0.05$ )。

表 8 复合维生素纳米乳对生长獭兔回肠和蚓突单层柱状上皮中免疫细胞比例的影响

Table 8 Effects of multivitamin nanoemulsion on immune cell proportions in simple columnar epithelium of ileum and vermis of growing Rex rabbits

项目 Items	对照组 Control group		试验组 Test group			%
	I	II	I	II	III	
回肠 Ileum						
淋巴细胞 Lymphocyte	28.06±6.95 <sup>b</sup>	33.83±5.67 <sup>a</sup>	27.83±8.73 <sup>b</sup>	26.06±3.81 <sup>b</sup>	29.56±9.18 <sup>ab</sup>	
杯状细胞 Goblet cell	5.28±1.78	6.78±2.10	6.83±3.63	6.44±2.28	5.94±2.82	
蚓突 Appendix						
淋巴细胞 Lymphocyte	20.83±3.87	21.33±6.55	22.78±6.88	19.50±6.32	19.39±5.23	
杯状细胞 Goblet cell	10.17±3.45	10.67±3.76	10.72±3.39	9.94±3.54	9.78±2.94	

## 2.5 操作分类单元 (OTU) 聚类及物种注释结果

本试验样本数为 30,测序得到的总 Tags 数目为 2 215 419 个,能够被聚类的 Tags 数目为 2 042 831 个,总 OTU 数目为 34 618 个。

由表 9 可知,各组獭兔盲肠内的菌群均是以厚壁菌门为主,其中试验组 II 厚壁菌门的相对丰度显著高于对照组 I ( $P<0.05$ );对照组 II 的拟杆菌门、拟杆菌科的相对丰度显著高于试验组 II ( $P<0.05$ );试验组 II 疣微菌科的相对丰度显著高于其

他各组 ( $P<0.05$ ),疣微菌科 UCG-014 的相对丰度显著高于对照组 I ( $P<0.05$ )。

生长獭兔盲肠菌群多样性分析结果见表 10。分析可知,试验组 II 的 Shannon 指数最低,显著高于其他各组 ( $P<0.05$ );试验组 I、试验组 III 和对照组 I 的 Simpson 指数显著高于试验组 II 和对照组 II ( $P<0.05$ );对照组 I 的 Chao1 指数显著高于试验组 II、III ( $P<0.05$ );对照组 I 的 ACE 指数显著高于试验组 II ( $P<0.05$ )。

表9 复合维生素纳米乳对生长獭兔盲肠菌群相对丰度的影响

Table 9 Effects of multivitamin nanoemulsion on relative abundances of caecal microflora of growing Rex rabbits %

项目 Items	对照组 Control group		试验组 Test group			
	I	II	I	II	III	
门 Phylum	厚壁菌门 Firmicutes	69.92±6.56 <sup>b</sup>	71.07±12.58 <sup>b</sup>	77.93±3.44 <sup>ab</sup>	80.92±3.65 <sup>a</sup>	74.23±4.14 <sup>ab</sup>
	拟杆菌门 Bacteroidetes	14.90±4.65 <sup>ab</sup>	18.98±11.09 <sup>a</sup>	14.15±3.95 <sup>ab</sup>	10.29±4.61 <sup>b</sup>	12.85±3.03 <sup>ab</sup>
	变形菌门 Proteobacteria	4.85±4.57	2.68±1.39	1.71±0.22	3.18±0.91	5.07±3.47
	柔膜菌门 Tenericutes	4.01±1.05	3.19±1.23	3.21±0.51	2.67±1.27	3.44±1.00
科 Families	疣微菌科 Ruminococcaceae	37.01±4.07 <sup>b</sup>	36.60±6.81 <sup>b</sup>	41.57±2.03 <sup>b</sup>	49.64±5.04 <sup>a</sup>	39.83±3.78 <sup>b</sup>
	毛螺菌科 Lachnospiraceae	18.32±4.23	21.11±9.00	20.80±2.94	18.51±6.46	21.44±4.56
	拟杆菌科 Bacteroidales	8.31±3.54 <sup>ab</sup>	12.24±9.64 <sup>a</sup>	7.99±2.66 <sup>ab</sup>	4.61±2.80 <sup>b</sup>	7.90±2.13 <sup>ab</sup>
	Christensenellaceae	5.63±2.14	4.21±2.30	6.61±3.90	7.26±4.53	4.82±3.17
属 Genus	Christensenellaceae R-7	5.61±2.14	4.19±2.31	6.59±3.89	7.24±4.53	4.80±3.17
	毛螺菌科 NK4A136	5.17±2.36	5.62±3.66	4.84±1.70	4.85±5.11	4.36±3.47
	Lachnospiraceae NK4A136					
	瘤胃球菌属 1 <i>Ruminococcus</i> 1	5.53±2.35	5.68±2.60	6.59±2.22	8.52±4.17	5.16±1.35
	疣微菌科 UCG-014 Ruminococcaceae UCG-014	7.13±2.08 <sup>b</sup>	8.43±3.32 <sup>ab</sup>	10.44±2.43 <sup>ab</sup>	11.77±3.55 <sup>a</sup>	9.79±2.15 <sup>ab</sup>

表10 生长獭兔盲肠菌群 α多样性分析

Table 10 α diversity analysis of caecal microflora of growing Rex rabbits

项目 Items	对照组 Control group		试验组 Test group		
	I	II	I	II	III
观察到的物种数 Observed species	1 186.17±293.52 <sup>a</sup>	1 094.00±65.77 <sup>ab</sup>	1 096.00±38.49 <sup>ab</sup>	923.00±49.05 <sup>b</sup>	1 037.00±104.63 <sup>ab</sup>
Shannon 指数 Shannon index	7.73±0.43 <sup>a</sup>	7.58±0.25 <sup>a</sup>	7.75±0.25 <sup>a</sup>	7.16±0.24 <sup>b</sup>	7.60±0.35 <sup>a</sup>
Simpson 指数 Simpson index	0.99±0.00 <sup>a</sup>	0.98±0.01 <sup>b</sup>	0.99±0.00 <sup>a</sup>	0.98±0.01 <sup>b</sup>	0.99±0.00 <sup>a</sup>
Chao1 指数 Chao1 index	1 343.37±322.14 <sup>a</sup>	1 174.33±81.85 <sup>ab</sup>	1 163.08±35.84 <sup>ab</sup>	991.73±53.54 <sup>b</sup>	1 108.08±108.30 <sup>b</sup>
ACE 指数 ACE index	1 292.42±288.73 <sup>a</sup>	1 186.27±72.86 <sup>ab</sup>	1 177.15±39.23 <sup>ab</sup>	1 007.64±59.56 <sup>b</sup>	1 117.43±105.04 <sup>ab</sup>

### 3 讨论

#### 3.1 饮水中添加复合维生素纳米乳对生长獭兔生长性能、免疫功能及抗氧化能力的影响

维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 B<sub>1</sub>、维生素 B<sub>6</sub>、烟酸、胆碱等对动物的生长性能均有重要影响。为探讨饲料中添加维生素与饮水添加复合维生素纳米乳在獭兔生长性能方面的差异,本试验测定了各种獭兔的平均采食量、平均日增重和料重比,从试验全期的结果看,饲料中添加维生素

与饮水中添加复合维生素纳米乳,其生长性能无显著差异。

獭兔断奶时由于消化道未发育完全,在奶料更替的过程中对饲料的消化率较低,营养物质在消化道内滞留,难以消化。加之仔兔断奶后不能从母乳中获得抗菌物质,导致致病微生物大量增殖,从而引起断奶仔兔出现腹胀、腹泻等消化道疾病<sup>[5]</sup>。本试验中,由于基础饲料为养殖场自配颗粒料,存在玉米含量高、纤维水平低的缺陷,导致断奶后 1~28 d 时大量獭兔出现腹泻症状,且正常饮水的獭兔腹泻率显著高于饮水中添加复合维生素

素纳米乳及其空白组方(吐温-80+丙三醇)的獭兔。而饮水中含有吐温-80+丙三醇的试验组,由于吐温-80为表面活性剂,使油、淀粉和水在肠道内一定程度上形成较稳定的乳浊液结构,从而减少由植物性饲料中具有抗原性的大分子物质(以蛋白质和碳水化合物为主)引起的短暂性过敏反应,可在断乳早期降低断奶獭兔的腹泻率和死亡率,但后期效果不明显。

IgG是动物机体抗感染免疫的主力,可作为血液学诊断和疫苗免疫后监测的主要抗体。在动物机体内IgG不仅含量高,而且持续时间长,可发挥抗菌、中和病毒和毒素等免疫学活性<sup>[6]</sup>。本试验中,正常饮水的獭兔血液IgG含量极显著低于其他组,说明给獭兔添加适宜水平的乳化剂能有效促进免疫球蛋白合成,进而增加机体免疫力和对外界不良环境的抵抗力。刘兆阳等<sup>[7]</sup>的试验同样证明乳化剂对肉鸡血清IgA和IgM含量有显著的提高作用。

多种维生素如维生素A、维生素D、维生素C等均具有抗氧化的作用。SOD作为抗氧化系统中的重要酶系,其活性与机体清除自由基的能力成正比,而MDA是细胞膜脂质过氧化的产物,其含量可间接反映细胞损伤程度。本试验中,对照组I的血液MDA含量最低,显著低于对照组II,但与各试验组间不存在显著性差异,说明各组獭兔不存在明显的氧化损伤;而对照组I血液SOD活性和T-AOC也相对较低,推测饮水中添加的吐温-80+丙三醇能一定程度上提高机体清除自由基的能力,可做进一步研究。此外,试验组II的血液MDA含量和T-AOC均显著高于试验组III和试验组I,随复合维生素纳米乳添加量的增加呈先增加后降低的趋势。李万佳<sup>[8]</sup>在饲料中添加不同水平的维生素D,结果发现,随着饲料维生素D含量的增加,生长獭兔血液SOD活性、MDA含量和T-AOC均呈先增加后降低的趋势。陈倩等<sup>[9]</sup>在辽宁绒山羊种公羊饲料中添加不同水平的维生素E,其血液中抗氧化指标同样呈先增加后降低的趋势。上述结果说明适量的维生素能提高机体的抗氧化能力,维生素不足或过量均会降低抗氧化能力。

### 3.2 饮水中添加复合维生素对生长獭兔肠道组织结构和盲肠微生态的影响

小肠的形态结构与营养物质的消化吸收密切

相关。V/C综合反映了肠道的功能状态,该比值下降表明动物肠道受损,消化吸收功能下降,同时动物可能表现出生长受阻等现象;该比值上升则表明肠道黏膜功能得到改善,吸收功能增强<sup>[10]</sup>。肠上皮淋巴细胞(iIEL)定位于消化道黏膜上皮细胞间,与肠上皮细胞紧密接触并相互作用,介导黏膜局部免疫防御和维持肠黏膜组织稳定性。

小肠分十二指肠、空肠、回肠3个肠段,其中十二指肠、空肠的皱襞和绒毛相对发达、浓密,为淀粉、脂肪和蛋白质消化吸收的主要场所,而回肠的杯状细胞及淋巴组织则相对发达。獭兔为草食性动物,其饲料结构以草食纤维为主,而盲肠是獭兔消化纤维饲料的主要场所。回肠是连接小肠与盲肠的重要过渡肠段,因此研究回肠的组织结构对獭兔的消化吸收及免疫有着重要作用。

本试验结果显示,3个试验组之间獭兔回肠、蚓突单层柱状上皮中淋巴细胞和杯状细胞比例均无显著差异,与对照组I之间也没有显著差异,说明不同维生素水平对肠道免疫功能没有显著影响。对照组I的回肠V/C极显著低于其他4组,而回肠单层柱状上皮中淋巴细胞比例也显著低于对照组II,说明其他4组饮水中所含的吐温-80和丙三醇能一定程度提高肠道免疫功能,其原因可能是吐温-80和丙三醇能维持獭兔肠道内环境,改善肠道菌群结构,从而影响肠黏膜中淋巴细胞数量。

HiSeq测序结果显示,对照组I的盲肠菌群多样性显著高于试验组II和对照组II,而厚壁菌门的相对丰度显著低于试验组II,说明适量的吐温-80和丙三醇增加了厚壁菌门中某种微生物的竞争优势,提高了其在盲肠中的数量,从而降低了獭兔盲肠内菌群的多样性。黄英等<sup>[11]</sup>试验证明瘤胃细菌细胞膜存在大量脂类,当表面活性剂与细菌作用时,可改变细菌细胞表面的亲疏水性,从而改变细菌的黏附性,这可能是导致盲肠菌群多样性和相对丰度发生变化的重要原因之一。张慧玲等<sup>[12]</sup>研究发现,饲料中添加吐温-20和吐温-80后,高剂量的吐温-20使绵羊瘤胃中优势菌种类增加,吐温-80和低剂量的吐温-20使优势菌种类下降,这与本试验的结果相一致。

獭兔盲肠菌群相对丰度分析结果显示,各试验组獭兔盲肠菌群以厚壁菌门为主,其中试验组II厚壁菌门的相对丰度显著高于对照组I和II。



门水平上各组盲肠菌群相对丰度排序为厚壁菌门>拟杆菌门>变形菌门>柔膜菌门,与朱岩丽<sup>[13]</sup>的试验结果一致, Monteils 等<sup>[14]</sup>的报道也证实了该结果。单胃动物盲肠菌群的多样性较高,以厚壁菌门中的梭菌Ⅳ群、梭菌ⅩⅣ群和拟杆菌门为最优势菌群,细菌数量为  $10^{12} \sim 10^{13}$  CFU/g 内容物。目前发现人体肠道中与肥胖有关的细菌主要有厚壁菌门和拟杆菌门,其中梭菌属是厚壁菌门中非常重要而且数量庞大的一类菌。对啮齿动物和人的研究发现,相对于正常体态,肥胖机体的肠道菌群多样性、细菌基因的表现形式和代谢途径包括营养素的摄入等均发生了变化<sup>[15]</sup>。其中,肥胖机体的肠道厚壁菌数量增加,拟杆菌数量减少,这种结构特点使肠道菌群能从饮食中特异地增加营养的吸收,并为宿主提供额外的能量,导致机体能量摄入过多引起肥胖<sup>[16]</sup>。由此说明,适当的吐温-80 和丙三醇能明显改变獭兔盲肠内厚壁菌门和拟杆菌门的相对丰度,从而改变獭兔盲肠菌群结构,继而提高獭兔的生长性能。

## 4 结 论

饮水中添加含獭兔生长阶段需要量 100% 的复合维生素纳米乳能够在一定程度上提高生长獭兔的免疫功能和抗氧化能力,并改善其肠道组织结构 and 盲肠微生态环境。

## 参考文献:

[ 1 ] 刘泽辉,杨海锋,黄志英,等.不同制粒工艺对饲料脂溶性维生素稳定性的影响规律研究[J].粮食与饲料工业,2015(4):45-47,52.  
LIU Z H, YANG H F, HUANG Z Y, et al. Effects of different pelleting process on stability of fat soluble vitamins in feeds[J]. Cereal & Feed Industry, 2015(4): 45-47, 52. (in Chinese)

[ 2 ] GUTTOFF M, SABERI A H, MCCLEMENTS D J. Formation of vitamin D nanoemulsion-based delivery systems by spontaneous emulsification: factors affecting particle size and stability [J]. Food Chemistry, 2015, 171: 117-122.

[ 3 ] QADIR A, FAIYAZUDDIN M, HUSSAIN M D T, et al. Critical steps and energetics involved in a successful development of a stable nanoemulsion [J]. Journal of Molecular Liquids, 2016, 214: 7-18.

[ 4 ] 谷子林,秦应和,任克良.现代农业科技专著大系

[M].北京:中国农业出版社,2013.  
GU Z L, QIN Y H, REN K L. China rabbit science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013. (in Chinese)

[ 5 ] LEE S S, AHN B H, KIM H S, et al. Effects of non-ionic surfactants on enzyme distributions of rumen contents, anaerobic growth of rumen microbes, rumen fermentation characteristics and performances of lactating cows [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2003, 16(1): 104-115.

[ 6 ] 李晶晶.浅谈免疫球蛋白在免疫中的作用[J].中国畜禽种业,2018,14(2):85.  
LI J J. The function of immunoglobulin in immunity [J]. The Chinese Livestock and Poultry Breeding, 2018, 14(2): 85. (in Chinese)

[ 7 ] 刘兆阳,王建平,刘宁.乳化剂对肉鸡肠道菌群及免疫功能的影响[J].中国畜牧兽医,2013,40(8):60-63.  
LIU Z Y, WANG J P, LIU N, et al. Effect of emulsifier on intestinal flora and immune function of broilers [J]. China Animal Husbandry & Veterinary Medicine, 2013, 40(8): 60-63. (in Chinese)

[ 8 ] 李万佳.日粮维生素 D 添加水平对獭兔生长性能、钙磷代谢、血液指标、免疫及抗氧化功能的影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2014.  
LI W J. Effects of dietary vitamin D supplemental level on growth performance, Ca, P metabolism, serum indices, immune and antioxidant function of growing Rex rabbits [D]. Master's Thesis. Tai'an: Shandong Agriculture University, 2014. (in Chinese)

[ 9 ] 陈倩,丛玉艳,刘海英,等.补饲维生素 E 对辽宁绒山羊种公羊血浆抗氧化指标及精液品质的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(9):40-43.  
CHEN Q, CONG Y Y, LIU H Y, et al. Effects of vitamin E supplementation on plasma antioxidant indexes and semen quality of Liaoning cashmere goat [J]. Chinese Journal of Animal Science, 2012, 48(9): 40-43. (in Chinese)

[ 10 ] 冯跃进.热应激对猪和大鼠肠道结构和功能的影响及其修复机制[D].硕士学位论文.北京:中国农业科学院,2014.  
FENG Y J. Effect of heat stress on intestinal structure and function and its repairing mechanism in pig and rat [D]. Master's Thesis. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014. (in Chinese)

[ 11 ] 黄英,马挺,顾晓波,等.脂肽类生物表面活性剂对细菌表面亲疏水性和黏附性的影响[J].南开大学学

- 报(自然科学版),2006,39(5):746-780.
- HUANG Y, MA T, GU X B, et al. The lipopeptides effect on the surface hydrophobicity and adhesion of the bacteria[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis (Natural Science Edition)*, 2006, 39(5):746-780. (in Chinese)
- [12] 张慧玲, 韩冰, 贺三刚, 等. 用 PCR-DGGE 和 16S rDNA 测序解析吐温对绵羊瘤胃细菌多样性的影响[J]. *新疆农业大学学报*, 2010, 33(6):469-474.
- ZHANG H L, HAN B, HE S G, et al. Analyzing the effects of tween on rumen bacterial diversity of sheep by PCR-DGGE and 16S rDNA sequencing[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2010, 33(6):469-474. (in Chinese)
- [13] 朱岩丽. 日粮纤维/淀粉对生长肉兔生长、免疫、肠道菌群的影响及肠道蛋白质组学初探[D]. 博士学位论文. 泰安: 山东农业大学, 2013.
- ZHU Y L. The Effect of dietary fiber/starch on growing rabbits' growth, immune response, intestinal bacterial community composition and intestinal proteomics study [D]. Ph. D. Thesis. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [14] MONTEILS V, CAUQUIL L, COMBES S, et al. Potential core species and satellite species in the bacterial community within the rabbit caecum [J]. *FEMS Microbiology Ecology*, 2008, 66(3):620-629.
- [15] TURNBAUGH P J, HAMADY M, YATSUNENKO T, et al. A core gut microbiome in obese and lean twins [J]. *Nature*, 2008, 457(7228):480-484.
- [16] DE LA SERRE C B, ELLIS C L, LEE J, et al. Propensity to high-fat diet-induced obesity in rats is associated with changes in the gut microbiota and gut inflammation [J]. *American Journal of Physiology: Gastrointestinal and Liver Physiology*, 2010, 299:G440-G448.

# Effects of Multivitamin Nanoemulsion on Growth Performance, Immune Function, Antioxidant Ability, Intestinal Tissue Structure and Cecal Microecology of Growing Rex Rabbits

YE Xiangyang<sup>1,2</sup> GONG Ruiguang<sup>1</sup> REN Zhanjun<sup>1\*</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Northwester A&F University, Yangling 712100, China; 2. Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed Science in South China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, State Key Laboratory of Animal and Poultry Breeding, Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China)

**Abstract:** The aim of this experiment was to investigate the effects of multivitamin nanoemulsion on growth performance, immune function, antioxidant ability, intestinal tissue structure and cecal microecology of growing Rex rabbits. A total of 150 healthy weaned Rex rabbits at the age of 30 days and similar body weight were selected, and randomly divided into 5 groups with 3 repetitions in each group and 10 rabbits (half male and half female) in each repetition. Rabbits in control group I were fed a granulated feed containing vitamins (100% nutritional standard), normal drinking water; rabbits in control group II fed the same granulated feed with control group I, but the drinking water added Twain-80+glycerol (the contents of them were the same as test group II); rabbits in test groups were fed the granulated feed without vitamins, and test groups I, II and III were added multivitamin nanoemulsion including 80%, 100% and 120% nutritional standard vitamins in drinking water. The experiment lasted for 61 days including a 5-day preliminary period and a 56-day test period. The results showed as follows: compared with control group I, 1) on day 1 to 28, the diarrhea rate and diarrhea mortality were significantly reduced in control group II and test group I ( $P<0.05$ ), on day 29 to 56, the average daily feed intake was significantly reduced in test groups II and III ( $P<0.05$ ), while the feed/gain was not significant difference ( $P>0.05$ ); 2) the thymus index was significantly reduced in test groups I and II ( $P<0.05$ ), the appendix length was significantly reduced in control group II and test group II ( $P<0.05$ ), and the liver index was significantly increased in test groups I and III ( $P<0.05$ ); 3) the blood total antioxidant capacity in test group II and blood superoxide dismutase activity in control group II were significantly increased ( $P<0.05$ ); 4) the villus height of ileum was significantly increased in control group II ( $P<0.01$ ), the crypt depth of ileum was significantly reduced in test group I ( $P<0.05$ ), and the villus height/crypt depth of ileum was significantly increased in all test groups and control group II ( $P<0.01$ ), the lymphocyte cell proportion in simple columnar epithelium of ileum was significantly increased in control group II ( $P<0.05$ ); 5) the relative abundances of Firmicutes, Ruminococcaceae and Ruminococcaceae UCG-014 in cecum were significantly reduced in test group II ( $P<0.05$ ). It is concluded that adding multivitamin nanoemulsion containing the nutritional standard of 100% into the drinking water can enhance the immune function and antioxidant ability, improve the intestinal tissue structure and cecal microecology of growing Rex rabbits. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(2):1044-1054]

**Key words:** multivitamin nanoemulsion; Rex rabbits; growth performance; immune function; antioxidant ability; intestinal tissue structure; cecal microecology