



中国畜牧杂志
Chinese Journal of Animal Science
ISSN 0258-7033, CN 11-2083/S

《中国畜牧杂志》网络首发论文

题目：复合酶制剂对断奶仔猪生长性能、养分消化率和肠道微生物群落的影响
作者：赵睿，张凯，谭权，穆玉云，董小雨，张伯池，杜丽英，杨春雷，宋献艺
DOI：10.19556/j.0258-7033.20220627-02
收稿日期：2022-06-27
网络首发日期：2023-03-10
引用格式：赵睿，张凯，谭权，穆玉云，董小雨，张伯池，杜丽英，杨春雷，宋献艺. 复合酶制剂对断奶仔猪生长性能、养分消化率和肠道微生物群落的影响 [J/OL]. 中国畜牧杂志. <https://doi.org/10.19556/j.0258-7033.20220627-02>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

复合酶制剂对断奶仔猪生长性能、养分消化率和肠道微生物群落的影响

赵睿¹, 张凯¹, 谭权², 穆玉云², 董小雨¹, 张伯池¹, 杜丽英¹, 杨春雷¹, 宋献艺^{1*}

(1.山西农业大学动物科学学院, 山西太原 030801; 2.诺伟司国际贸易(上海)有限公司, 上海 200120)

摘要: 试验旨在评估不同添加量复合酶制剂在高比例大豆蛋白日粮中对断奶仔猪生长性能、日粮养分消化率和肠道菌群的影响。选择初始体重为(6.29±0.12) kg的28日龄杜×长×大断奶仔猪120头, 随机分为4组, 每组5个重复, 每个重复6头, 正试期28 d。CEP 0、CEP 250、CEP 500和CEP 750各组在基础日粮中分别添加复合酶制剂0、250、500、750 mg/kg。结果表明: 与CEP 0组比较, CEP 500组和CEP 750组提高了试验全期平均日增重、降低全期耗料增重比和腹泻率($P<0.05$), 并提高了全期粗蛋白质和粗纤维的消化率、1~14 d的日粮干物质消化率($P<0.05$), CEP 750组提高了全期木聚糖和甘露聚糖的消化率($P<0.05$); 复合酶制剂组肠道乳杆菌属和巨型球菌属的相对丰度均高于CEP 0组($P<0.05$)。由此可见, 在断奶仔猪高比例大豆蛋白日粮中添加500 mg/kg以上复合酶制剂可显著提高营养物质表观消化率, 降低腹泻率, 提高仔猪的生长性能。

关键词: 断奶仔猪; 酶制剂; 生长性能; 养分消化率; 微生物群落

中图分类号: S828.5 文献标识码: A DOI编号: 10.19556/j.0258-7033.20220627-02

断奶仔猪日粮配方中常通过降低鱼粉增加大豆来源的蛋白饲料以降低饲料成本^[1]。然而大豆饲料的增多为仔猪消化道带来了两方面的挑战。一是饲料的细胞壁中含有大量的非淀粉多糖(NSP), 由于单胃动物不能分泌非淀粉多糖酶, 难以消化日粮中的NSP, 使得仔猪消化道食糜黏度剧烈增加, 导致断奶仔猪日粮消化吸收率降低。为改善日粮消化率, 断奶仔猪日粮中通常添加甘露聚糖酶、木聚糖酶等非淀粉多糖酶以降解NSP, 降低食糜黏度, 提高日粮的消化率。另一方面, 大豆中含有大量的抗原蛋白, 大豆抗原蛋白可以抵抗胃蛋白酶的降解, 激发仔猪的致敏反应, 引起肠绒毛膜脱落, 导致断奶仔猪免疫功能下降, 造成腹泻^[2]。在对大豆抗原蛋白降解的试验中发现, 角蛋白酶对大豆抗原蛋白具有较好的降解作用^[3], 但是目前尚无角蛋白酶与NSP酶联用对断奶仔猪养分消化率、腹泻率及肠道菌群影响的研究。部分酶之间具有协同作用, 相互配合可以充分释放日粮中的营养成分, 提高日粮的营养消化率, 如在Aguirre等^[4]综述表明, 淀粉酶、蛋白酶和木聚糖酶复配可以提高仔猪的采食量, 并降低耗料增重比。本试验选择将甘露聚糖酶、木聚糖酶与角蛋白酶进行复合添加, 评估其高比例大豆蛋白日粮中不同添加量对断奶仔猪生长性能、腹泻率、日粮养分消化率和肠道菌群的影响, 为酶制剂的复方配制与科学

收稿日期: 2022-06-27; 修回日期: 2022-09-25

资助项目: 山西省重点研发计划(201903D211012); 诺伟司国际优秀研究生奖学金项目

作者简介: 赵睿(1990-), 男, 山西人, 硕士, 研究实习员, 主要从事营养与免疫调控, E-mail: 734948896@qq.com

*通讯作者: 宋献艺(1973-), 男, 山西人, 研究员, 主要从事动物营养与饲料资源开发, E-mail: sxnysxy@126.com

应用提供依据。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料 复合酶制剂（Compound Enzyme Preparation, CEP）成分和含量分别为角蛋白酶 20 000 IU/g、木聚糖酶 4 000 IU/g、甘露聚糖酶 2 000 IU/g，均由诺伟司国际贸易（上海）有限公司提供。

1.2 试验方法 选择健康的 28 日龄断奶的杜×大×长仔猪 120 头，随机分为 4 个组，每组 5 个重复，每重复 6 头猪，分别饲喂 4 种日粮，预试期 3 d，正试期 28 d，分 1~14 d 和 15~28 d 2 个阶段。两阶段基础日粮中去皮豆粕、膨化大豆、发酵豆粕比例分别为 10%、6%、8%和 15%、3%、5%（表 1）；在基础日粮中分别添加复合酶制剂 0、250、500、750 mg/kg（CEP 0、CEP 250、CEP 500 和 CEP 750）。基础日粮按照《猪营养需要量》（GB/T 39235—2020）^[5]配制，组成及营养成分见表 1。

1.3 饲养管理 试验在山西农业大学试验基地进行。每个重复仔猪一栏饲养，每栏配有 1 个料槽和 1 个饮水器，每天 07:00 和 18:00 喂料，喂料量以每天 06:30 料槽中有少量剩余料为宜。试验期间所有仔猪自由饮水，消毒程序按猪场常规方法进行。每天清扫圈舍，以保持圈内清洁。

表 1 试验基础日粮及营养成分

项目	1~14 d	15~28 d
原料组成,%		
玉米（粗蛋白质 7.7%）	58.00	64.44
去皮豆粕（粗蛋白质 48%）	10.00	15.00
膨化大豆（粗蛋白质 34.8%）	6.00	3.00
发酵豆粕（粗蛋白质 50%）	8.00	5.00
进口鱼粉（粗蛋白质 65%）	3.00	2.00
乳清粉（粗蛋白质 7%）	7.22	3.32
蔗糖	1.00	1.00
大豆油	1.00	1.00
赖氨酸盐酸盐（98.0%）	0.59	0.49
DL-蛋氨酸（98.5%）	0.30	0.24
L-苏氨酸（99.0%）	0.30	0.23
L-色氨酸（99.0%）	0.06	0.04

L-缬氨酸 (99.0%)	0.21	0.17
石粉 (钙 36%)	0.54	0.53
磷酸氢钙 (磷 17%)	0.81	0.85
食盐	0.15	0.25
预混料 ^①	2.20	2.20
氧化锌	0.20	0.00
碱式氯化铜 (58.5%)	0.01	0.02
耐高温植酸酶 5000	0.01	0.02
氯化胆碱 (60%)	0.10	0.10
苯甲酸	0.30	0.10
合计	100.00	100.00
营养成分 ^②		
代谢能,MJ/kg	13.75	13.14
粗蛋白质,%	18.5	17.7
赖氨酸,%	1.35	1.20
蛋氨酸,%	0.58	0.50
蛋氨酸+胱氨酸,%	0.83	0.74
苏氨酸,%	0.88	0.78
色氨酸,%	0.25	0.22
缬氨酸,%	0.94	0.84

注：①预混料为每千克全价料提供：维生素 A 12 000 IU，维生素 D₃ 2 500 IU，维生素 E 30 IU，维生素 K₃ 30 mg，维生素 B₁₂ 12 μg，核黄素 4 mg，泛酸 15 mg，烟酸 40 mg，氯化胆碱 400 mg，叶酸 0.7 mg，维生素 B₁ 1.5 mg，维生素 B₆ 3 mg，生物素 0.1 mg，锰 40 mg，铁 90 mg，锌 100 mg，铜 8.8 mg，碘 0.35 mg，硒 0.3 mg。②营养成分均为计算值。

1.4 指标测定与方法

1.4.1 生长性能 按重复栏测定仔猪初始和试验第 14、28 天的空腹体重及试验期的采食量。

试验各阶段和试验平均日增重、平均日采食量，计算耗料增重比和腹泻率：

$$\text{平均日增重} = (\text{末体重} - \text{初体重}) / \text{对应天数}$$

$$\text{平均日采食量} = \text{总采食量} / \text{对应天数}$$

耗料增重比=总采食量/总增重

腹泻率=腹泻仔猪数/(总仔猪数×天数)×100%

1.4.2 表观营养物质消化率的测定 在试验第 12、13、14 天,分别留取当天饲喂的饲料样品 200 g;在试验第 13、14、15 天清晨饲喂前按照各重复分别收取剩余饲料和仔猪粪便,将各重复的粪便混匀后称重;每天分别留取各重复粪便样品大约 500 g;在粪便样品中加 10%稀硫酸 20 mL,混匀后于鼓风干燥机 105℃烘干 48 h,干燥的粪样以备分析。

在试验第 25、26、27、28 天,按试验第 12、13、14、15 天的操作,收集和制备饲料和粪便样品以备分析。

按《饲料分析技术》^[6]测定两阶段饲料和粪样中干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维、总钙,总磷等含量;采用地衣酚-三氯化铁法测定木聚糖含量^[7];采用 DNS 法测定甘露聚糖含量^[8];采用内源指示剂酸不溶灰分法^[9]测定并计算营养物质表观消化率。

1.4.3 粪便微生物菌群的测定 在试验第 28 天早晨,收集仔猪肛门内部的新鲜粪便,然后快速置于液氮中冷冻。由北京诺禾致源科技股份有限公司的 Illumina NovaSeq 平台对粪便中的微生物菌群进行 16S rDNA 高通量测序。

1.5 统计分析 采用 SPSS 20.0 软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),并利用 Duncan's 法进行多重比较,同时采用线性模型和二次曲线模型对复合酶制剂添加的剂量效应进行评定;结果以平均值±标准误表示,以 $P<0.05$ 作为差异显著性判断标准。

2 结果

2.1 不同添加比例复合酶制剂对生长性能的影响 各组的初始体重和阶段体重均无显著差异,CEP 500 组和 CEP 750 组终末体重均高于 CEP 0 组和 CEP 250 组 ($P<0.05$),且随着复合酶制剂添加量增加呈线性趋势 ($P<0.05$),但 CEP 500 组与 CEP 750 组终末体重之间无显著差异(表 2)。

由表 2 可见,1~14 d,CEP 750 组的耗料增重比低于 CEP 0 组和 CEP 250 组 ($P<0.05$),CEP 750 组腹泻率低于 CEP 0 组 ($P<0.05$),且二者均随着复合酶制剂添加量增加呈线性趋势 ($P<0.05$);各处理组仔猪的平均日增重和平均日采食量之间均无显著差异。15~28 d,各处理组平均日增重、平均日采食量、耗料增重比和腹泻率均无显著差异。试验全期,CEP 500 组 CEP 750 组每头仔猪的平均日增重和耗料增重比均优于 CEP 0 组和 CEP 250 组 ($P<0.05$),且二者均随着复合酶制剂添加量增加呈线性趋势 ($P<0.05$),但 CEP 500 组和 CEP 750 组间无显著差异;CEP 500 组和 CEP 750 组仔猪腹泻率低于 CEP 0 组 ($P<0.05$),与复合酶制剂添加量呈线性趋势 ($P<0.05$),而两组间无显著差异;各处理间的平均日采食量无显著差异。

表 2 不同添加比例复合酶制剂对断奶仔猪生长性能的影响

项目	CEP 0 组	CEP 250 组	CEP 500 组	CEP 750 组	P 值		
					处理	线性	二次
初始体重,kg	6.30±0.04	6.27±0.04	6.32±0.04	6.26±0.05	0.754	0.697	0.752
阶段体重,kg	11.14±0.22	11.16±0.19	11.32±0.25	11.41±0.05	0.707	0.267	0.849
终末体重,kg	18.69±0.28 ^b	18.84±0.08 ^b	19.45±0.11 ^a	19.59±0.16 ^a	0.004	0.001	0.968
1~14 d							
平均日增重,g	345±15	349±15	357±16	368±3	0.652	0.517	0.989
平均日采食量,g	525±26	525±13	514±24	521±7	0.976	0.802	0.853
耗料增重比	1.52±0.02 ^a	1.51±0.04 ^a	1.44±0.05 ^{ab}	1.42±0.03 ^b	0.030	0.039	0.829
腹泻率,%	2.86±0.27 ^a	2.62±0.22 ^{ab}	2.14±0.21 ^{ab}	1.90±0.27 ^b	0.047	0.013	0.923
15~28 d							
平均日增重,g	539±10	548±12	581±25	584±10	0.138	0.029	0.850
平均日采食量,g	963±50	974±28	930±40	942±5	0.823	0.517	0.989
耗料增重比	1.79±0.11	1.78±0.08	1.61±0.08	1.62±0.03	0.319	0.071	0.941
腹泻率,%	1.19±0.34	0.95±0.41	0.71±0.27	0.48±0.27	0.543	0.155	1.000
1~28 d							
平均日增重,g	442±10 ^b	449±2 ^b	469±4 ^a	476±4 ^a	0.003	<0.001	0.961
平均日采食量,g	745±15	748±14	722±17	732±3	0.487	0.285	0.816
耗料增重比	1.69±0.06 ^a	1.67±0.03 ^a	1.54±0.04 ^b	1.54±0.01 ^b	0.029	0.006	0.828
腹泻率,%	2.02±0.15 ^a	1.79±0.19 ^{ab}	1.43±0.15 ^{bc}	1.31±0.12 ^c	0.016	0.002	0.703

注：同行数据无字母或含相同字母表示差异不显著 ($P>0.05$)，不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。下表同。

2.2 不同添加比例复合酶制剂对营养物质表观消化率的影响 由表 3 可见，1~14 d，CEP 500 组和 CEP 750 组日粮干物质消化率高于对照组 ($P<0.05$)，且与复合酶制剂添加量呈线性趋势 ($P<0.05$)；复合酶制剂组日粮粗蛋白质和粗纤维的消化率均高于 CEP 0 组 ($P<0.05$)，且与复合酶制剂添加量呈线性趋势 ($P<0.05$)，但酶制剂添加组间的粗蛋白质消化率无显著差异，而 CEP 500 组和 CEP 750 组日粮粗纤维消化率高于 CEP 250 组 ($P<0.05$)，且与复合酶制剂添加量呈线性趋势 ($P<0.05$)；CEP 750 组木聚糖和甘露聚糖的消化率高于 CEP 0 组 ($P<0.05$)，且 CEP 750 组甘露聚糖消化率高于 CEP 250 组 ($P<0.05$)，且二者均随着复合酶制剂添加量增加呈线性趋势

($P<0.05$);不同添加比例复合酶制剂对日粮粗脂肪、总灰分、总钙和总磷的消化率无显著影响。15~28 d, CEP 750 组日粮干物质消化率高于对照组 ($P<0.05$), 且与复合酶制剂添加量呈线性趋势 ($P<0.05$); CEP 500 组和 CEP 750 组日粮蛋白质和粗纤维的消化率均高于 CEP 0 组 ($P<0.05$), 且二者均随着复合酶制剂添加量增加呈线性趋势 ($P<0.05$), 但各复合酶制剂组间日粮粗蛋白质和粗纤维的消化率无显著差异; CEP 750 组日粮木聚糖和甘露聚糖消化率高于 CEP 0 组 ($P<0.05$), 且与复合酶制剂添加量呈线性趋势 ($P<0.05$); 不同添加比例复合酶制剂对日粮粗脂肪、总灰分、总钙和总磷的消化率无显著影响。

表 3 不同添加比例复合酶制剂对断奶仔猪营养物质表观消化率的影响 %

项目	CEP 0 组	CEP 250 组	CEP 500 组	CEP 750 组	P 值		
					处理	线性	二次
1~14 d							
干物质	79.94±0.54 ^b	81.90±0.51 ^{ab}	82.29±0.49 ^a	82.89±0.59 ^a	0.008	0.001	0.223
粗脂肪	81.41±0.64	81.82±0.62	82.39±0.60	83.21±0.51	0.206	0.040	0.734
粗蛋白质	78.89±0.50 ^b	80.64±0.43 ^a	81.78±0.60 ^a	82.66±0.49 ^a	0.001	0.001	0.406
粗纤维	34.94±0.44 ^b	37.45±0.47 ^b	40.96±0.73 ^a	42.10±0.62 ^a	0.001	0.001	0.253
粗灰分	50.19±0.46	51.14±0.55	51.35±0.82	51.68±0.44	0.345	0.093	0.601
总钙	43.68±0.51	43.25±0.70	44.65±0.76	44.97±0.55	0.226	0.082	0.564
总磷	41.40±0.65	41.77±0.52	42.23±0.76	41.96±0.93	0.875	0.522	0.666
木聚糖	44.52±5.12 ^b	47.44±2.17 ^{ab}	49.35±6.24 ^{ab}	51.75±4.93 ^a	0.040	0.009	0.379
甘露聚糖	39.86±3.02 ^c	41.82±4.56 ^{bc}	45.09±2.19 ^{ab}	47.09±4.08 ^a	0.020	0.013	0.472
15~28 d							
干物质	78.15±0.65 ^b	79.22±0.52 ^{ab}	80.28±0.61 ^{ab}	80.94±0.43 ^a	0.015	0.002	0.722
粗脂肪	82.20±0.46	83.26±0.64	83.00±0.32	83.38±0.35	0.293	0.128	0.459
粗蛋白质	71.64±0.78 ^b	73.73±0.72 ^{ab}	76.37±0.70 ^a	76.34±0.68 ^a	0.001	0.001	0.161
粗纤维	33.97±0.58 ^b	35.15±0.45 ^{ab}	37.02±0.45 ^a	37.15±0.59 ^a	0.001	0.001	0.327
粗灰分	52.83±0.52	53.57±0.57	53.76±0.70	54.83±0.76	0.221	0.048	0.800
总钙	42.54±0.81	42.65±0.56	43.57±0.76	44.61±0.76	0.198	0.044	0.536
总磷	39.12±0.98	41.43±0.80	41.41±0.65	41.39±0.57	0.123	0.064	0.146
木聚糖	40.04±6.18 ^b	44.35±4.95 ^{ab}	45.73±5.90 ^{ab}	47.98±4.39 ^a	0.048	0.009	0.438
甘露聚糖	38.31±6.97 ^b	38.76±1.55 ^b	40.99±6.82 ^{ab}	46.85±3.56 ^a	0.037	0.032	0.988

2.3 不同添加比例复合酶制剂对粪便微生物菌群的影响

2.3.1 粪便样品 16S rRNA 基因测序结果 采用 Illumina MiSeq 测序平台对 4 组粪便样本进行测序，得到的原始数据经过质控初筛、拼接、疑问序列剔除等过滤后得到 1 294 314 条高质量有效序列，平均每个样本 reads 数为 64 716，reads 的平均长度为 253 bp。

2.3.2 菌群 OTUs 分析 按照 97%的序列相似度作为 OTU 的划分阈值，将 4 组样品的有效序列进行聚类，共得到 4 737 个 OTU。4 组的 OUT 归类使用韦恩图进行表示（图 1）。CEP 0 组、CEP 250 组、CEP 500 组和 CEP 750 组的 OTUs 数目分别为 3 369、1 634、974 和 3 435 个，4 组共 00 个，而 CEP 250 组和 CEP 500 组特有的 OTUs 数目分别为 117 和 33 个。有 695 个 OTUs。CEP 0 组和 CEP 750 组特有的 OTUs 数目均超过 8

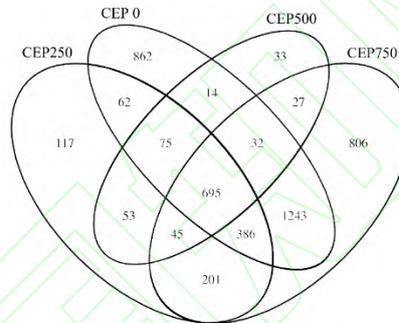


图 1 OUT 分布韦恩图

2.3.3 菌群 α 多样性指数分析 由表 4 可以看出，CEP 0 组和 CEP 750 组的 Chao 指数和 ACE 指数均高于 CEP 250 组和 CEP 500 组 ($P<0.05$)，但 Chao 指数和 ACE 指数在 CEP 0 组与 CEP 750 组间以及 CEP 250 组和 CEP 500 组间均无显著差异。CEP 0 组的 Shannon 指数高于 CEP 250 组和 CEP 500 组 ($P<0.05$)，CEP 750 组的 Shannon 指数高 CEP 500 组 ($P<0.05$)。各组间的 Simpson 指数无显著差异。

表 4 菌群 α 多样性指数分析

项目	CEP 0 组	CEP 250 组	CEP 500 组	CEP 750 组	P 值
Chao	1981.09 \pm 277.18 ^a	1126.36 \pm 88.56 ^b	759.88 \pm 9.37 ^b	1924.63 \pm 285.96 ^a	0.001
ACE	2001.26 \pm 281.01 ^a	1076.76 \pm 99.51 ^b	763.26 \pm 8.41 ^b	1951.93 \pm 288.8 ^a	0.001
Shannon	7.61 \pm 0.20 ^a	6.93 \pm 0.17 ^{bc}	6.70 \pm 0.05 ^c	7.42 \pm 0.27 ^{ab}	0.012
Simpson	0.98 \pm 0.01	0.97 \pm 0.02	0.97 \pm 0.02	0.96 \pm 0.01	0.068

2.3.4 菌群 β 多样性分析 菌群 β 多样性主要检查不同组间菌群组成的差异性大小，对所有 OTU 分别 Bray 法计算距离，并进行主坐标分析。从图 2 中可以看出，各处理组内样品均比较聚集，说明各组内物种组成相似，而组间距离较远，说明各组间菌群差异较大。CEP 500 组与 CEP 250 组的 95%置信区间有一定重合，说明两组间的菌群组成较为相似。

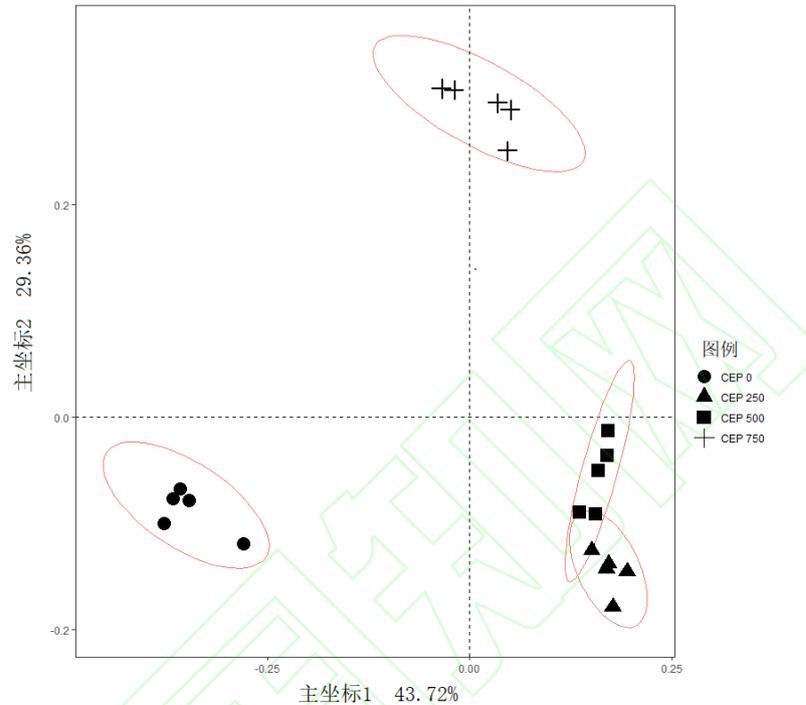


图 2 Bray 算法的主坐标分析图

由表 5 可见，CEP 0 组特有的属为 ZOR-006 和气单胞菌属，CEP 750 组特有的属为脱盐杆菌属，CEP 250 组和 CEP 500 组均无特有菌属。普雷沃氏菌属和脱盐杆菌属的相对丰度在各组间无显著差异；CEP 250 组和 CEP 500 组的乳杆菌属和巨型球菌属相对丰度高于 CEP 0 组和 CEP 750 组 ($P < 0.05$)，CEP 750 组乳杆菌属和巨型球菌属的相对丰度高于 CEP 0 组；CEP 0 组不动杆菌属的相对丰度高于其他三组 ($P < 0.05$)；CEP 750 组 UCG-002 属和 UCG-005 属的相对丰度高于其他三组 ($P < 0.05$)，CEP 0 组 UCG-005 菌属的相对丰度高于 CEP 250 组 ($P < 0.05$)，CEP 500 组 UCG-005 菌属的相对丰度与 CEP 250 组和 CEP 0 组无显著差异。

表 5 属水平前 10 丰度菌群的相对丰度 %

项目	CEP 0 组	CEP 250 组	CEP 500 组	CEP 750 组	P 值
普雷沃氏菌属	35.44±1.79	45.62±2.76	40.39±4.54	39.5±4.08	0.354
乳杆菌属	13.07±1.04 ^c	39.76±2.57 ^a	36.06±3.77 ^a	20.18±1.49 ^b	<0.001
ZOR-006	17.66±0.66 ^a	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	<0.001

UCG-002	2.67±0.19 ^b	2.88±0.12 ^b	6.04±0.58 ^b	17.9±2.19 ^a	<0.001
UCG-005	6.48±0.36 ^b	4.18±0.19 ^c	5.32±0.39 ^{bc}	9.07±0.87 ^a	<0.001
脱盐杆菌属	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	4.23±3.74 ^a	<0.001
不动杆菌属	10.06±0.8 ^a	0.05±0.05 ^b	0.00±0.00 ^b	0.02±0.01 ^b	<0.001
巨球形菌属	0.67±0.06 ^c	5.11±0.39 ^a	6.56±0.9 ^a	2.55±0.36 ^b	<0.001
普雷沃氏菌科NK3B31群	6.36±0.59 ^a	2.4±0.21 ^b	5.62±0.29 ^b	6.54±0.72 ^a	<0.001
气单胞菌属	7.58±0.42 ^a	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	<0.001

3 讨 论

3.1 不同添加比例复合酶制剂对断奶仔猪生长性能的影响 断奶仔猪日粮中添加复合酶制剂，可以弥补仔猪内源消化酶的不足，改善生长性能。Xie 等^[10]试验表明，在玉米-豆粕型日粮中添加角蛋白酶可以显著增加断奶仔猪十二指肠绒毛膜高度和绒隐比，提高仔猪的饲料转化率。本试验结果表明，CEP 500 组和 CEP 750 组的全期耗料增重比显著低于 CEP 0 组和 CEP 250 组，说明添加 500 mg/kg 以上的复合酶制剂可以显著降低断奶仔猪的耗料增重比；CEP 750 组 1~14 d 的耗料增重比显著低于 CEP 0 组和 CEP 250 组，而各组间 15~28 d 的耗料增重比无显著差异，说明在试验前期仔猪消化酶的缺乏大于试验后期，在断奶仔猪日粮中添加复合酶制剂可以提高仔猪的饲料转化率，且效果随着日龄的增加而减弱。断奶仔猪日粮中添加甘露聚糖酶和木聚糖酶可以降解日粮中的 NSP，提高仔猪日粮中对应成分的消化率，进而提高生长性能。Neto 等^[11]研究发现，仔猪日粮中添加外源酶后提高了日粮氨基酸消化率和仔猪的生长性能；Melo 等^[12]的研究则发现，添加木聚糖酶之后提高了仔猪的骨骼重。本试验也发现，日粮中添加 500 mg/kg 以上的复合酶制剂后可以显著提高断奶仔猪的生长性能。豆粕中含有超过 20% 的大豆抗原蛋白，会导致仔猪肠道的损伤并引起肠道上皮细胞的凋亡，引起腹泻。本试验所使用的角蛋白酶对大豆球蛋白和 β -伴球蛋白具有较强分解能力^[3]，可以降低大豆抗原蛋白对仔猪肠道的损伤和应激^[13]，从而降低仔猪腹泻的发生率^[14-15]。从本试验结果可以看出，添加 750 mg/kg 复合酶制剂可以显著降低试验前期的仔猪腹泻率，添加 500 mg/kg 及以上的复合酶制剂能显著降低试验全期的腹泻率，进而提高断奶仔猪的生长性能。

3.2 不同添加比例复合酶制剂对断奶仔猪营养物质表观消化率的影响 Zuo 等^[16]研究发现，在断奶仔猪的日粮中单独添加 200 mg/kg 蛋白酶制剂，可以显著提高断奶仔猪的粗蛋白质消化率。在本试验中，各组粗蛋白质的消化率随着复合酶添加剂量的增加而升高，说明添加角蛋白

酶可以弥补断奶仔猪内源蛋白酶分泌的不足，增加日粮中蛋白质的消化率。在试验 1~14 d，复合酶制剂组粗蛋白质消化率均显著高于 CEP 0 组，15~28 d 则是 CEP 500 组和 CEP 750 组显著高于 CEP 0 组，说明随着仔猪日龄的增大，仔猪自身所分泌的酶逐渐增多，角蛋白酶对粗蛋白质消化率的提高在变弱，这一结果与耗料增重比的结果相吻合。Neto 等^[11,17]研究发现，在断奶 14 d 内的仔猪日粮中添加半乳甘露聚糖酶、木聚糖酶等可以提高仔猪的养分和氨基酸回肠消化率；Tiware 等^[18]研究表明，在日粮中添加木聚糖酶和甘露聚糖酶可以降低空肠的食糜黏度，提高十二指肠绒毛高度和隐窝细胞增殖率，提高木聚糖和甘露聚糖的消化率。本试验中，CEP 750 组木聚糖和甘露聚糖的消化率均显著高于 CEP 0 组，与前人结果一致。Aranda 等^[19]在对 43 项外源酶制剂试验结果的系统分析中发现，使用复合酶制剂对日粮对应成分消化率的提高优于同剂量下的单一酶制剂。在本试验中，CEP 750 组的干物质、粗蛋白质、粗纤维、木聚糖和甘露聚糖的消化率均显著高于 CEP 0 组，说明本试验中所使用的复合酶制剂通过提高其所对应的底物的消化率，从而提高了日粮消化率。

3.3 不同添加比例复合酶制剂对断奶仔猪消化道微生物菌群的影响 从韦恩图可以看出，CEP 750 组和 CEP 0 组特有的 OUT 超过 800 个，说明 CEP 750 组和 CEP 0 组的菌群组成与其他组有较大区别。Chao 指数和 ACE 指数越高表示肠道中的菌群丰度越高。本研究中，CEP 750 组和 CEP 0 组 Chao 指数和 ACE 指数显著高于 CEP 250 组和 CEP 500 组，说明 CEP 750 组和 CEP 0 组的肠道内的菌群丰度显著高于 CEP 250 组和 CEP 500 组。Shannon 指数和 Simpson 指数越高则表示组内的细菌种类越多，菌群组成越复杂。CEP 0 组的 Shannon 指数最高，说明 CEP 0 组内的细菌种类最多。菌群 β 多样性分析结果表示本试验中主要分为 3 个类型的菌群类型，CEP 750 组和 CEP 0 组各作为一个类型，而 CEP 250 组和 CEP 500 组的菌群组成较为相似，作为 1 个类型。

从属水平前 10 丰度的菌群结果可以看出，普雷沃氏菌（包括普雷沃氏菌属和普雷沃氏菌科 NK3B31 群）在各组中均占到 40% 以上，是最多的优势菌。普雷沃氏菌可以利用 NSP 发酵产生短链脂肪酸，Hu 等^[20]认为其在肠道中作为益生菌存在。在本试验中，普雷沃氏菌在各组中无显著差异，说明仔猪断奶 28 d 后，各组仔猪的肠道均比较健康。在仔猪日粮中添加 NSP 酶可以降低日粮中的 NSP，促进乳杆菌属和巨型球菌属的生长繁殖，抑制产气荚膜梭菌等有害菌的增殖，保证肠道健康。如 Diana 等^[21]研究表明在仔猪日粮中添加木聚糖酶会增加肠道乳杆菌的丰度，抑制梭菌的数量。Högberg 等^[22]试验表明，添加木聚糖酶和甘露聚糖酶可以增加回肠乳酸的浓

度，抑制肠道致病菌的生长，提高肠道健康程度。在本试验中，CEP 0 组乳杆菌属和巨型球菌属的丰度显著低于复合酶制剂组，且各试验组前 10 丰度的菌属均中无梭菌属，说明添加复合酶制剂可以显著提高仔猪肠道中的乳杆菌属和巨型球菌属的丰度，提高仔猪肠道健康程度。

UCG-002 和 UCG-005 均属于毛螺菌科。Konikoff 等^[23]研究表明，毛螺菌在人体肠道内的丰度与炎症反应呈负相关；方静等^[24]研究发现，毛螺菌科对仔猪肠道健康起促进作用。本试验中，UCG-002 和 UCG-005 在 CEP 0 组中的丰度均显著低于 CEP 750 组，说明在仔猪日粮中添加复合酶制剂可以促进肠道健康。气单胞菌属于条件性致病菌，在宿主免疫力低下时，会导致轻微腹泻。赖妙儿等^[25]在对 628 份人样本的检测中发现，腹泻病人肠道中气单胞菌的检出率显著高于健康人。在已有的肠道菌群研究中，鲜有 ZOR-006 菌属报道。陆宏达等^[26]对中华绒螯蟹肠道菌群的研究结果显示，在低品质中华绒螯蟹的肠道中 ZOR-006 为优势菌属，说明其对宿主的生长起到不利作用。在本试验中，气单胞菌属与 ZOR-006 均只在 CEP 0 组中检出，而复合酶制剂组均未检出，说明 CEP 0 组含有较多条件致病菌，腹泻发生概率高于复合酶制剂组，这与试验中仔猪腹泻率的结果相吻合。

4 结 论

本研究表明，在断奶仔猪日粮中添加 500 mg/kg 以上的复合酶制剂，可以显著提高粪便中益生菌的丰度，降低腹泻率，提高仔猪日粮消化率，降低仔猪耗料增重比，进而提高断奶后 31 d 的仔猪体重，且在 0~750 mg/kg 复合酶制剂范围内剂量效应呈线性趋势。

参考文献：

- [1] 欧洋, 朱智超, 曹山川, 等. 酶处理豆粕替代鱼粉对断奶仔猪生长性能及肠道发育的影响[J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(10): 55-62.
- [2] 李德发. 猪的营养[M]. 第二版. 北京: 中国农业大学出版社, 2009.
- [3] 谭权, 孙得发. 蛋白酶在体外对豆粕球蛋白和 β -伴球蛋白降解效果的研究[J]. 中国畜牧杂志, 2017, 53(8): 71-74.
- [4] Aguirre E A, Jimenez L E R, Avalos J O, *et al.* A systematic-review on the role of exogenous enzymes on the productive performance at weaning, growing and finishing in pigs[J]. Veteri Anim Sci, 2021, 14(12): 100195.
- [5] GB/T 39235-2020, 猪营养需要量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
- [6] 黄倩倩, 赵国琦. 饲料分析技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 2020.
- [7] Hu G, Ellberg S, Burton C, *et al.* Application of an orcinol-ferric chloride colorimetric assay in barley and wheat accessions for water-extractable and total arabinoxylan[J]. J Cereal Sci, 2020, 93: 102962.
- [8] Gao G, Cao J, Mi L, *et al.* BdPUL12 depolymerizes β -mannan-like glycans into mannoooligosaccharides and mannose, which serve as carbon sources for *Bacteroides dorei* and gut probiotics[J]. Inter J Bio Macromol, 2021,

187: 664-674.

- [9] Yu J, Yu G X, Yu B, *et al.* Dietary protease improves growth performance and nutrient digestibility in weaned piglets fed diets with different levels of soybean meal[J]. *Livest Sci*, 2020, 241(9): 104179.
- [10] Xie P, Zhou Q, Wu C, *et al.* Effects of dietary supplementation with essential oils and protease on growth performance, antioxidation, inflammation and intestinal function of weaned pigs[J]. *Anim Nutr*, 2022, 9(7): 39-48.
- [11] Neto M A T, Dadalt J C, Gallardo C. Nutrient and energy balance, and amino acid digestibility in weaned piglets fed wheat bran and an exogenous enzyme combination[J]. *Animal*, 2020, 14(3): 499-507.
- [12] Melo A D B, Oliveira A C, Silva P, *et al.* 6-phytase and/or endo- β -xylanase and -glucanase reduce weaner piglet diarrhoea and improve bone parameters[J]. *Livest Sci*, 2020, 238(8): 104034.
- [13] 杨玉娟, 姚怡莎, 秦玉昌, 等. 豆粕与发酵豆粕中主要抗营养因子调查分析[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(3): 273-580.
- [14] Zhao Y, Qin G X, Sun Z W, *et al.* Effects of glycinin and β -conglycinin on enterocyte apoptosis, proliferation and migration of piglets[J]. *Food Agri Immuno*, 2010, 21(3): 209-218.
- [15] 彭成璐. β -伴大豆球蛋白和大豆球蛋白诱导 IPEC-J2 细胞损伤的机制研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2020.
- [16] Zuo J J, Ling B M, Long L, *et al.* Effect of dietary supplementation with protease on growth performance, nutrient digestibility, intestinal morphology, digestive enzymes and gene expression of weaned piglets[J]. *Anim Nutr*, 2015, 1(4): 276-282.
- [17] Neto M A T, Gallardo C, Junior F P, *et al.* Apparent total and ileal digestibility of rice bran with or without multicarbohydrase and phytase in weaned piglets[J]. *Livest Sci*, 2021, 245(3): 104423.
- [18] Tiwari U P, Chen H Y, Kim S W, *et al.* Supplemental effect of xylanase and mannanase on nutrient digestibility and gut health of nursery pigs studied using both in vivo and in vitro models[J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2018, 245(11): 77-90.
- [19] Aranda A E, Robles J L E, Osorio A J, *et al.* A systematic-review on the role of exogenous enzymes on the productive performance at weaning, growing and finishing in pigs[J]. *Veteri Anim Sci*, 2021, 14: 100195.
- [20] Hu R, Wu S, Li B, *et al.* Dietary ferulic acid and vanillic acid on inflammation, gut barrier function and growth performance in lipopolysaccharide-challenged piglets[J]. *Anim Nutri*, 2022, 8(1): 144-152.
- [21] Luise D, Motta V, Boudry C, *et al.* The supplementation of a corn/barley-based diet with bacterial xylanase did not prevent diarrhoea of ETEC susceptible piglets, but favoured the persistence of *Lactobacillus reuteri* in the gut[J]. *Livest Sci*, 2020, 240(10): 104161.
- [22] Högberg A, Lindberg J E. Influence of cereal non-starch polysaccharides and enzyme supplementation on digestion

site and gut environment in weaned piglets[J]. Anim Feed Sci Technol, 2004, 116(1-2): 113-128.

[23] Konikoff T, Gophna U. Oscillospira: a central, enigmatic component of the human gut microbiota[J]. Trend Microbio, 2016, 24(7): 523-524.

[24] 方静, 石宝明, 何威, 等. 发酵小麦麸对断奶仔猪生长性能、养分表观消化率、免疫功能及粪便菌群的影响[J]. 动物营养学报, 2022, 34(1): 150-159.

[25] 赖妙儿, 洪敏丽, 金玉娟, 等. 腹泻病人和健康人群感染气单胞菌流行病学及耐药特征[J]. 热带医学杂志, 2022, 20(3): 327-332.

[26] 陆宏达, 赵欢, 张小俊, 等. 正常和低品质中华绒螯蟹肠道菌群结构的比较分析[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(20): 170-178.

(责任编辑: 郑本艳)

