

发酵苹果渣对獭兔生长性能、养分消化率、小肠黏膜形态及分泌型免疫球蛋白 A 浓度的影响

吴灵丽¹ 张 凯^{1,2*} 宋献艺² 刘 强¹

(1.山西农业大学动物科技学院,太谷 030801;2.山西省农业科学院饲料兽药研究所,太原 030032)

摘 要: 本试验旨在研究发酵苹果渣对獭兔生长性能、养分消化率、小肠黏膜形态及分泌型免疫球蛋白 A (SIgA) 浓度的影响。试验共选用 96 只、45 日龄的健康獭兔,随机分为 4 组,每组 4 个重复,每个重复 6 只(公母各占 1/2)。4 组獭兔分别饲喂含 0 (对照,CK 组)、9.6% (A 组)、19.2% (B 组) 和 28.8% (C 组) 发酵苹果渣的试验饲料。预试期 15 d,正试期 50 d。结果显示:与 CK 组相比,C 组獭兔平均日增重提高了 14.69% ($P<0.05$),料重比降低了 6.63% ($P<0.05$),腹泻率降低了 19.64% ($P<0.05$);C 组獭兔饲料干物质、有机物、粗蛋白质和粗纤维消化率分别提高了 6.11% ($P<0.05$)、5.19% ($P<0.05$)、7.26% ($P<0.05$) 和 13.10% ($P<0.05$);C 组獭兔空肠的绒毛长度和肠壁厚度分别增加了 59.82% ($P<0.05$) 和 41.83% ($P<0.05$),同时十二指肠的隐窝深度降低了 30.52% ($P<0.05$)。添加不同水平的发酵苹果渣对獭兔小肠中 SIgA 浓度无显著影响 ($P>0.05$)。综上所述,在饲料中添加 28.8% 的发酵苹果渣可以通过提高养分消化率,改善小肠黏膜形态来提高獭兔的生长性能,并可降低腹泻率,且对小肠中 SIgA 浓度无不良影响。

关键词: 发酵苹果渣;獭兔;生长性能;养分消化率;小肠黏膜形态

中图分类号: S816

文献标识码: A

文章编号: 1006-267X(2019)04-1857-07

苹果渣是苹果加工之后剩余的残渣,由果皮、果核和剩余果肉组成,含有丰富的纤维素、矿物质、维生素等营养成分。每年我国都会产生大量的苹果渣废弃物,2018 年我国的苹果产量已达到 500 万 t^[1],按出渣率 10% 计算,便会产生 50 万 t 的苹果渣。这些苹果渣只有少部分能够被利用,大部分被丢弃,这不仅对环境造成了污染,也造成了资源的浪费。近年来,使用苹果渣作为饲料资源受到国内外研究者的普遍重视。刘方正等^[2]在獭兔饲料中添加 10% 的苹果渣后,发现可有效提高其日增重,降低料重比,并减少肠道疾病的产生。牛竹叶^[3]用含苹果渣的饲料饲喂雏鸡,能促进其生长,降低养殖成本,提高经济效益。此外,有研究表明发酵苹果渣对动物的饲喂效果要优于

苹果渣^[4-5]。因此,本试验拟在饲料中添加不同水平的发酵苹果渣,研究其对獭兔生长性能、养分消化率、小肠黏膜形态及分泌型免疫球蛋白 A (SIgA) 浓度的影响,以期为我国獭兔养殖提供支持,并减少废弃苹果渣对环境的污染。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用发酵苹果渣(山西省农业科学院生物饲料课题组提供)共经过了 3 次加工:一是常温常压下物理蒸煮 30 min;二是生物酶处理,所用酶为纤维素酶和果胶酶(购自杰诺生物酶有限公司,活性分别为 100 000 和 30 000 U/g),总酶添加量为 0.6% (纤维素酶和果胶酶质量比为 1:2),加入

收稿日期:2018-12-04

基金项目:中央引导地方科技发展专项(2017GA630002);山西省重点研发计划(201603D221026-4);山西省农业产业发展科技引领工程(2017CYYL17)

作者简介:吴灵丽(1995—),女,山西沁水人,硕士研究生,从事反刍动物营养与饲料科学研究。E-mail: 18404984801@163.com

* 通信作者:张 凯,助理研究员,E-mail: zhangkai2255@163.com

到固体发酵培养基中,在 pH 为 4、温度为 40 ℃ 的环境下反应 3 h,此预处理可以显著提高发酵培养基中还原糖的含量,利于菌体快速生长繁殖;三是微生物发酵,所用菌种为乳酸酵母菌、热带假丝酵母和白地霉(购自中国工业微生物菌种保藏管理中心)。微生物发酵过程为:白地霉、热带假丝酵

母和乳酸菌以 2:1:3 的比例混合,按照 10%接种量接入苹果渣和麸皮(质量比=85:15)基质中,含水量 60%,自然 pH,在温度 30 ℃ 的条件下发酵4 d,获得发酵苹果渣饲料原料。苹果渣发酵后,其营养成分见表 1。

表 1 发酵苹果渣营养成分
Table 1 Nutrient composition of fermented apple pomace %

项目 Item	干物质 DM	粗纤维 CF	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash	钙 Ca	磷 P
含量 Content	91.43	24.72	15.36	5.48	3.29	0.18	0.15

1.2 试验设计

试验选用 45 日龄的健康獭兔 96 只,随机分为 4 组,每组 4 个重复,每个重复 6 只(公母各占 1/2)。4 组獭兔分别在饲喂含有 0(对照,CK 组)、9.6%(A 组)、19.2%(B 组)、28.8%发酵苹果渣(C

组)的试验饲粮。预试期 15 d,正试期 50 d。

1.3 试验饲粮

试验饲粮按照试验设计的添加水平添加发酵苹果渣,并参照 NRC(1977)和谷子林等^[6]推荐的獭兔营养需要量配制,其组成及营养水平见表 2。

表 2 试验饲粮组成及营养水平(风干基础)
Table 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

项目 Items	组别 Groups			
	CK	A	B	C
原料 Ingredients				
玉米 Corn	30.00	30.00	30.00	30.00
麦麸 Wheat bran	19.00	17.10	15.50	13.80
谷草 Millet straw	25.00	19.50	13.80	8.20
发酵苹果渣 Fermented apple pomace		9.60	19.20	28.80
豆粕 Soybean meal	22.00	19.80	17.50	15.20
磷酸氢钙 CaHPO ₄	0.90	0.90	0.90	0.90
石粉 Limestone	0.60	0.60	0.60	0.60
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50
预混料 Premix ¹⁾	2.00	2.00	2.00	2.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾				
消化能 DE/(MJ/kg)	11.03	11.03	11.04	11.04
粗蛋白质 CP	16.22	16.22	16.22	16.20
粗纤维 CF	12.68	12.66	12.68	12.64
钙 Ca	0.67	0.65	0.63	0.64
磷 P	0.48	0.47	0.46	0.47
中性洗涤纤维 NDF	30.95	30.04	29.12	28.22
酸性洗涤纤维 ADF	17.84	17.43	16.97	16.54
木质素 Lignin	2.55	3.48	4.40	5.33

¹⁾ 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following for per kg of diets:VA 13 500 IU,VB₁ 1.8 mg,VB₂ 6 mg,VB₃ 13.5 mg,VB₁₂ 0.024 mg,VD₃ 2 250 IU,VE 15 mg,VK₃ 1.5 mg,赖氨酸 lysine 1 000 mg,蛋氨酸 methionine 500 mg,Cu 10 mg,Zn 70 mg,Mn 16 mg,Fe 60 mg,Se 0.1 mg。

²⁾ 除消化能为计算值外,其余营养水平为实测值。Nutrient levels were measured values except DE was a calculated value.

1.4 饲养管理

试验獭兔采用单列式双层兔笼(2只/笼)饲养,由专职人员饲喂,每日饲喂2次,时间为07:00和18:00,自由饮水。试验期间记录试验獭兔每日的采食量和腹泻情况。

1.5 样品采集与指标测定

1.5.1 生长性能

试验开始和结束时,獭兔清晨空腹称重,统计试验期采食量,计算平均日增重、干物质采食量和料重比。

1.5.2 腹泻情况

试验期间每天认真观察,记录每个重复獭兔腹泻情况,根据腹泻獭兔耳标号进行持续天数统计,以便进行腹泻率的计算。腹泻率的计算公式如下:

$$\text{腹泻率}(\%) = 100 \times \frac{\text{獭兔腹泻只数} \times \text{持续天数}}{\text{总只数} \times \text{试验天数}}$$

1.5.3 养分消化率

在试验第51~53天采用外源指示剂收粪法进行消化代谢试验,外源指示剂为三氧化二铬(Cr_2O_3),在饲料中的添加量为0.3%。每天结束后将收集的粪样称重,按每100 g加入10% H_2SO_4 10 mL进行固氮处理,滴加数滴甲苯防腐,混匀粪样,置于 -20°C 的冰箱中。试验期结束后,将3 d收集到的同一重复獭兔的粪样混匀,烘干、粉碎、过筛,制得风干样, -20°C 保存待测。

试验饲料和粪样中各营养成分含量均参照《饲料分析及饲料质量检测技术》^[7]中方法测定。粗脂肪含量的测定采用索氏浸提法,粗蛋白质含量的测定采用半微量凯氏定氮法,钙含量的测定采用高锰酸钾滴定法,磷含量的测定采用钒钼黄比色法,中性洗涤纤维、酸性洗涤纤维、木质素含量的测定采用范氏法。

1.5.4 小肠黏膜形态

试验结束后,将24只獭兔进行屠宰,剖开腹腔,将回肠、空肠和十二指肠分离出来,使用生理盐水冲洗,除去内容物,分别剪取3~5 cm的肠段,于浓度为4%、pH为7的福尔马林液体中保存24 h。取出样品,冲洗,制作石蜡切片,采用图像分析软件定量分析绒毛长度、肠壁厚度和隐窝深度,多点拍照,多点选样,取平均值。

1.5.5 小肠中 SIgA 浓度

屠宰后进行小肠采样。先把小肠分离,将内

容物取出,混匀,称重。取出部分样品,用生理盐水按照质量体积比1:1稀释,2 000 r/min离心30 min,取上清液,采用北京华英生物技术研究生产的 SIgA 浓度测定试剂盒,在北京松上技术有限公司生产的 A6 半自动生化仪上,按说明书对小肠中 SIgA 浓度进行检测。

1.6 数据统计与分析

用 SPSS 22.0 统计软件的 ANOVA 模型进行单因素方差分析, LSD 法进行多重比较。结果表示为平均值 \pm 标准差,以 $P < 0.05$ 表示差异显著, $P > 0.05$ 表示差异不显著。

2 结果与分析

2.1 发酵苹果渣对獭兔生长性能和腹泻率的影响

由表3可知,A组、B组和C组的干物质采食量与CK组相比差异不显著($P > 0.05$);C组的平均日增重显著高于CK组($P < 0.05$),提高了14.69%,其他各组之间差异不显著($P > 0.05$);A组、B组和C组的料重比均显著低于CK组($P < 0.05$),分别降低了4.79%、3.68%和6.63%。此外,B组和C组獭兔的腹泻率与CK组相比显著降低($P < 0.05$),分别降低了17.65%和19.64%。

2.2 发酵苹果渣对獭兔养分消化率的影响

由表4可知,B组和C组的干物质消化率显著高于CK组($P < 0.05$),分别提高了9.52%和6.11%。A组、B组和C组的有机物和粗纤维消化率均显著高于CK组($P < 0.05$),分别提高了2.83%、6.11%、5.19%和6.86%、21.58%、13.10%,且B组还显著高于A组($P < 0.05$);A组、B组和C组的粗蛋白质消化率显著高于CK组($P < 0.05$),分别提高了3.50%、6.02%和7.26%。

2.3 发酵苹果渣对獭兔小肠黏膜形态的影响

由表5可知,对于回肠,A组和B组隐窝深度显著高于CK组($P < 0.05$),分别提高了16.03%和10.59%,其他组之间差异不显著($P > 0.05$)。对于空肠,B组和C组绒毛长度显著高于CK组($P < 0.05$),分别提高了66.26%和53.23%,其他组之间差异不显著($P > 0.05$)。A组、B组和C组肠壁厚度显著高于CK组($P < 0.05$),分别提高了26.34%、59.83%和41.83%,其他组之间差异不显著($P > 0.05$)。对于十二指肠,B组、C组隐窝深度显著低于CK组($P < 0.05$),分别降低了15.22%和30.52%。

表 3 发酵苹果渣对獭兔生长性能和腹泻率的影响

Table 3 Effects of fermented apple pomace on growth performance and diarrhea rate of Rex rabbits

项目 Items	组别 Groups			
	CK	A	B	C
干物质采食量 DMI/(g/d)	118.34±9.23	121.08±10.08	122.51±9.32	126.74±10.33
平均日增重 ADG/(g/d)	21.78±1.03 ^b	23.39±1.37 ^{ab}	23.43±1.12 ^{ab}	24.98±1.87 ^a
料重比 F/G	5.43±0.37 ^a	5.17±0.29 ^b	5.23±0.46 ^b	5.07±0.59 ^b
腹泻率 Diarrhea rate/%	9.12±0.26 ^b	8.04±0.31 ^{ab}	7.51±0.19 ^a	7.42±0.40 ^a

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

Values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), while with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

表 4 发酵苹果渣对獭兔养分消化率的影响

Table 4 Effects of fermented apple pomace on nutrient digestibility of Rex rabbits %

项目 Items	组别 Groups			
	CK	A	B	C
干物质 DM	62.55±0.28 ^c	62.20±0.60 ^c	68.51±0.41 ^a	66.37±0.62 ^b
有机物 OM	56.82±0.59 ^c	58.43±0.47 ^b	60.29±0.23 ^a	59.77±0.33 ^{ab}
粗蛋白质 CP	53.41±0.43 ^b	55.28±0.55 ^a	56.63±0.57 ^a	57.29±0.42 ^a
粗纤维 CF	16.03±0.62 ^c	17.13±0.84 ^b	19.49±0.18 ^a	18.13±0.15 ^{ab}

表 5 发酵苹果渣对獭兔小肠黏膜形态的影响

Table 5 Effects of fermented apple pomace on intestinal mucosa morphology of Rex rabbits μm

项目		组别 Groups			
Items		CK	A	B	C
回肠 Ileum	绒毛长度 Villus length	695.70±31.90	686.55±41.98	698.28±49.22	685.99±46.47
	肠壁厚度 Intestinal wall thickness	400.34±16.64	400.59±21.31	393.24±33.21	401.25±23.52
	隐窝深度 Crypt depth	62.99±2.25 ^b	73.09±3.38 ^a	69.66±2.34 ^a	64.61±3.51 ^{ab}
空肠 Jejunum	绒毛长度 Villus length	546.38±42.91 ^b	781.88±84.36 ^{ab}	908.47±47.13 ^a	873.21±51.65 ^a
	肠壁厚度 Intestinal wall thickness	305.53±15.40 ^b	386.03±56.87 ^a	504.11±35.36 ^a	433.34±49.09 ^a
	隐窝深度 Crypt depth	69.92±4.58	66.27±6.53	65.32±6.38	62.59±3.12
十二指肠 Duodenum	绒毛长度 Villus length	982.11±42.17	924.32±69.92	844.90±32.69	908.54±65.43
	肠壁厚度 Intestinal wall thickness	483.99±25.52	446.37±27.67	462.14±40.58	474.73±52.24
	隐窝深度 Crypt depth	84.82±3.75 ^a	87.26±6.61 ^a	71.91±3.78 ^b	58.93±2.89 ^c

2.4 发酵苹果渣对獭兔小肠中 SIgA 浓度的影响

由表 6 可知, A 组、B 组和 C 组小肠中 SIgA 浓度与 CK 组相比均有降低的趋势, 分别降低了 8.10%、10.09% 和 14.21%, 但差异不显著 ($P>0.05$)。

3 讨 论

3.1 发酵苹果渣对獭兔生长性能的影响

从本试验结果来看, 饲料中添加 28.8% 的发

酵苹果渣可以有效提高獭兔的生长性能。使用发酵苹果渣饲喂兔科动物的研究较少, 但使用苹果渣的研究较多。刘方正等^[2]用苹果渣饲喂獭兔后其日采食量上升, 料重比降低。Sawal 等^[8]的研究表明, 使用含不同水平苹果渣的全价料饲喂 42 日龄的青紫蓝公兔, 各试验组发展良好。任战军等^[9]的研究表明, 饲喂含 19% 苹果渣的饲料可以有效提高布列塔尼亚肉兔的日增重, 提高经济效益。还有研究表明, 饲喂苹果渣或发酵苹果渣可

以有效提高雏鸡^[3]、断奶仔猪^[10]和犍牛^[11]的生长性能。还有研究表明给动物饲喂发酵苹果渣不仅可以提高动物的生长性能,而且对动物的育肥效果要优于苹果渣^[4-5]。本试验结果也显示发酵苹果渣可以有效提高獭兔的生长性能,原因可能是:发酵苹果渣不仅适口性较好,且含有丰富的可溶性糖、矿物质、维生素等营养成分,用发酵苹果渣饲喂獭兔后可以提高采食量和日增重,降低料重比,从而提高其生长性能。除此之外,从试验结果看,饲粮中添加 28.8% 的发酵苹果渣还可以有效降低獭兔的腹泻率,原因可能是:发酵苹果渣中含有大量的酶类和益生菌,能够有效促进饲料的消

化吸收,促进动物的生长,提高其抵抗力,从而降低腹泻的发生;此外,发酵苹果渣中的益生菌能够改善獭兔肠道微生物区系,增加有益菌群,降低外来病原感染,从而起到降低腹泻率的作用。郭肖兰^[12]、蒋立^[13]、Phuoc 等^[14]、Guo 等^[15]的研究均表明在兔饲粮中添加益生菌可以有效降低其腹泻率,这与本试验结果相似。高印等^[10]在仔猪上的研究也发现饲粮中添加发酵苹果渣可以有效降低其腹泻率。在本试验条件下,獭兔饲粮中添加 28.8% 的发酵苹果渣可以取得较好的饲喂效果,是否可以在獭兔饲粮中添加更高水平的发酵苹果渣有待进一步研究。

表 6 发酵苹果渣对獭兔小肠中 SIgA 浓度的影响
Table 6 Effects of fermented apple pomace on intestinal SIgA concentration of Rex rabbits μg/mL

项目 Item	组别 Groups			
	CK	A	B	C
分泌型免疫球蛋白 A SIgA	7.53±0.34	6.92±0.76	6.77±0.43	6.46±0.21

3.2 发酵苹果渣对獭兔养分消化率的影响

从本试验结果看,饲粮中添加 28.8% 的发酵苹果渣可以有效提高獭兔的养分消化率。养分消化率是衡量动物对饲粮消化能力和评价饲料营养价值的重要指标,与动物自身的生长性能密切相关。王国军等^[16]的研究表明,使用发酵苹果渣饲喂断奶仔猪能有效提高其养分消化率。刘长忠等^[17]使用发酵苹果渣饲喂雏鹅后,其养分消化率虽然与常规饲粮组相比差异不显著,但在数值上要优于常规饲粮组,这与本试验结果一致。发酵苹果渣提高养分消化率的原因可能是:发酵苹果渣中含有大量的酶类和益生菌,将动物体内的粗纤维、粗蛋白质等物质降解为单糖、低聚糖、氨基酸和多肽等小分子物质,更容易被消化吸收。陈姣姣等^[18]研究发现,苹果渣使用白地霉、产阮假死酵母和黑曲霉,经过单菌或混合发酵之后,其蛋白酶、纤维素酶、果胶酶活性均有所提高,并且氨基酸及游离氨基酸含量提高,中性洗涤纤维含量降低。刘壮壮等^[19]的研究表明,使用益生菌发酵苹果渣后,其纤维素、半纤维素等纤维成分的含量降低,氨基酸和多肽含量提高。还有研究表明,农业产品残渣经发酵后可以产生多功能小肽,提高其营养品质^[20-21]。

3.3 发酵苹果渣对獭兔小肠黏膜形态的影响

小肠分为空肠、回肠和十二指肠 3 部分,是动物消化吸收的主要部位。小肠绒毛是小肠内壁环状皱襞上的绒毛状凸起,当小肠绒毛增长时,小肠的吸收面积增大,吸收能力增强。小肠肠壁厚度增加后,其蠕动能力增强,吸收面积增加,更加有利于对氨基酸、维生素等营养成分的吸收。隐窝深度是评定小肠组织学完整性的指标之一,隐窝变浅表明其分泌功能增强,能够产生更多的绒毛细胞,从而促进小肠对营养物质的吸收。从试验结果来看,饲粮中添加 28.8% 的发酵苹果渣能有效改善獭兔小肠的绒毛长度、肠壁厚度和隐窝深度。高印等^[10]的研究显示,在仔猪饲粮中添加益生菌发酵的苹果渣之后,可以有效增加小肠的绒毛长度,降低隐窝深度,提高其吸收能力,这与本试验结果相似,原因可能是饲料发酵后其益生菌数量增多,有利于动物肠道黏膜形态的改善,从而通过小肠的吸收功能。于修焯等^[22]研究表明,苹果渣经过发酵后其微生物仅有酵母菌、醋酸菌和乳酸菌等益生菌,未发现其他有害菌。已有研究表明,在动物饲粮中添加益生菌可以增加小肠绒毛长度,降低隐窝深度,改善动物肠黏膜形态,从而促进小肠对小分子物质的吸收^[23-25]。目前,关于益生菌为何会促进小肠绒毛增长、隐窝深度降

低的机理尚不明确,还需进一步研究。

3.4 发酵苹果渣对獭兔小肠 SIgA 浓度的影响

免疫球蛋白 A 分为血清型和分泌型。SIgA 是肠黏膜防御体系的主要组成部分,是维持肠黏膜内环境稳定的一道屏障。研究表明,SIgA 在肠黏膜中具有组织细菌吸附、中和毒素和封闭外入抗原的作用。当动物肠道受到外来刺激时,其肠道会产生免疫反应,使 SIgA 浓度增加,当机体恢复正常后,SIgA 浓度恢复正常水平。薛立军等^[26]研究婴儿患肠炎后其肠道 SIgA 浓度的变化时发现,患肠炎的婴儿肠道 SIgA 浓度增加,待病情稳定后,SIgA 浓度下降。本试验中,饲喂含发酵苹果渣的饲料后,獭兔小肠 SIgA 浓度无显著变化,说明发酵苹果渣对獭兔小肠 SIgA 浓度没有产生不良影响。

4 结 论

饲料中添加 28.8% 发酵苹果渣可以通过提高养分消化率,改善小肠黏膜形态来提高獭兔的生长性能,并能降低腹泻率,且对小肠 SIgA 浓度无不良影响。

参考文献:

- [1] 张彪.中国苹果产业近 7 年产量、加工和贸易状况分析[J].中国果树,2018(4):106-108.
- [2] 刘方正,龚月生.干苹果渣对断奶幼兔血清生化指标的影响[J].畜牧与饲料科学,2010,31(10):20-21.
- [3] 牛竹叶,魏拣选,刘福柱,等.苹果渣替代麦麸饲喂雏鸡效果试验[J].家畜生态学报,2005,26(5):39-40.
- [4] 廖云琼.苹果渣对樱桃谷肉鸭生长性能的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2017:12-30.
- [5] 张鑫荣,杨志峰,崔保国,等.日粮中添加发酵苹果渣对滩羊羔羊育肥效果的影响[J].安徽农业科学,2016,44(2):79-80.
- [6] 谷子林.獭兔的饲料与营养[J].农村科技开发,2001(3):34-35.
- [7] 杨胜.饲料分析及饲料质量检测技术[M].北京:北京农业大学出版社,1996:16-35.
- [8] SAWAL R K, BHATIA D R, BHASIN V. Incorporation of dried apple pomace in the diet of weaner rabbits[J]. Indian Journal of Animal Nutrition, 1995, 12(3):167-169.
- [9] 任战军,元振良,程佳,等.布列塔尼亚肉兔肥育期苹

果渣-苜蓿型配合饲料的研制[J].家畜生态学报,2008,29(6):71-75.

- [10] 高印,王国军,来航线,等.益生菌发酵苹果渣对断奶仔猪生长性能、血清生化指标和粪便微生物菌群的影响[J].动物营养学报,2016,28(5):1515-1524.
- [11] 杨志峰,李作明,李爱华.日粮中添加发酵苹果渣对犊牛生长性能的影响[J].农业科学研究,2016,37(1):93-96.
- [12] 郭肖兰.复合酶、益生菌、纳米硒、维生素 E 对断奶獭兔生长性能及免疫的影响[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2011:25-30.
- [13] 蒋立,胡茂,苟兴能.益生菌添加水平对断奶獭兔肠道免疫力的影响[J].安徽农业科学,2015,43(29):66-67,170.
- [14] PHUOC T L, JAMIKORN U. Effects of probiotic supplement (*Bacillus subtilis* and *Lactobacillus acidophilus*) on feed efficiency, growth performance, and microbial population of weaning rabbits[J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2017, 30(2):198-205.
- [15] GUO M J, WU F H, HAO G G, et al. *Bacillus subtilis* improves immunity and disease resistance in rabbits[J]. Frontiers in Immunology, 2017, 8:354.
- [16] 王国军,高印,来航线,等.益生菌发酵苹果渣对仔猪表观消化率、血清免疫指标、肠道菌群与形态的影响[J].中国畜牧杂志,2017,53(5):96-103.
- [17] 刘长忠,谢德华,薛祝林,等.发酵苹果渣对雏鹅生产性能和养分代谢率的影响[J].湖北农业科学,2012,51(7):1416-1418.
- [18] 陈姣姣.苹果渣发酵饲料不同形态蛋白质、氨基酸及酶活性影响研究[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2014:18-79.
- [19] 刘壮壮.活性蛋白饲料优良菌株的筛选[D].硕士学位论文.杨凌:西北农林科技大学,2014:19-47.
- [20] DIAZ A B, BLANDINO A, CARO I. Value added products from fermentation of sugars derived from agro-food residues[J]. Trends in Food Science & Technology, 2018, 71:52-64.
- [21] MADRERA R R, BEDRIÑANA R P, VALLES B S. Enhancement of the nutritional properties of apple pomace by fermentation with autochthonous yeasts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 79:27-33.
- [22] 于修焯,李志西,杜双奎.苹果鲜渣保藏及其发酵分析[J].食品与发酵工业,2006,32(8):142-145.
- [23] SAMANYA M, YAMAUCHI K E. Histological alterations of intestinal villi in chickens fed dried *Bacillus*

- subtilis* var. *natto* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 2002, 133(1): 95–104.
- [24] SONG J, XIAO K, KE Y L, et al. Effect of a probiotic mixture on intestinal microflora, morphology, and barrier integrity of broilers subjected to heat stress [J]. *Poultry Science*, 2014, 93(3): 581–588.
- [25] CAO G T, ZENG X F, CHEN A G, et al. Effects of a probiotic, *Enterococcus faecium*, on growth performance, intestinal morphology, immune response, and cecal microflora in broiler chickens challenged with *Escherichia coli* K88 [J]. *Poultry Science*, 2013, 92(11): 2949–2955.
- [26] 薛立军, 金玉. 轮状病毒肠炎 124 例患儿肠道分泌型免疫球蛋白水平变化 [J]. *实用儿科临床杂志*, 2004, 19(11): 956–957.

Effects of Fermented Apple Pomace on Growth Performance, Nutrient Digestibility, Intestinal Mucosal Morphology and Secretory Immunoglobulin Concentration of Rex Rabbits

WU Lingli¹ ZHANG Kai^{1,2*} SONG Xianyi² LIU Qiang¹

(1. College of Animal Science and Veterinary Medicine, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

2. Feed and Veterinary Medicine Research Institute of Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan 030032, China)

Abstract: The aim of the study was to evaluate the effects of fermented apple pomace on growth performance, nutrient digestibility, intestinal mucosal morphology and secretory immunoglobulin (SIgA) concentration of Rex rabbits. Ninety-six Rex rabbits at 45 days of age were randomly divided into 4 groups with 4 replicates per group and 6 rabbits (half male and half female) per replicate. Rabbits in the 4 groups were fed experimental diets which contained 0 (control, group CK), 9.6% (group A), 19.2% (group B) and 28.8% (group C) fermented apple pomace, respectively. The adaption period was 15 d, and the experiment period was 50 d. The results showed that the average daily gain of Rex rabbits in group C increased by 14.69% ($P<0.05$), the feed/gain decreased by 6.63% ($P<0.05$) and the diarrhea rate decreased by 19.64% ($P<0.05$) compared with group CK. The digestibility of dry matter, organic matter, crude protein and crude fibre in group C increased by 6.11%, 5.19%, 7.26% and 13.10% compared with group CK ($P<0.05$), respectively. The villus length and intestinal wall thickness of jejunum of Rex rabbits in group C increased by 59.82% and 41.83% compared with group CK ($P<0.05$), respectively, and the crypt depth of duodenum decreased by 30.52% compared with group CK ($P<0.05$). However, different supplemental levels of fermented apple pomace had no significant effect on intestinal SIgA concentration ($P>0.05$). The results indicate that supplementation of fermented apple pomace at 28.8% can improve the growth performance by promoting nutrient digestibility and intestinal mucosal morphology of Rex rabbits, and can decrease the diarrhea rate, but no harmful effect on intestinal SIgA concentration. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, 31(4): 1857–1863]

Key words: fermented apple pomace; Rex rabbits; growth performance; nutrient digestibility; intestinal mucosal morphology