

日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔生长性能、氮代谢、纤维素酶活和盲肠发酵的影响

荆常亮,李福昌*,王雪鹏,王春阳

(山东农业大学动物科技学院,泰安 271018)

摘要: 本研究旨在研究日粮不同 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔生长性能、氮代谢、纤维素酶活和盲肠发酵的影响。本试验采用单因子完全随机试验设计,日粮设 5 个 ADF 水平:15%(A 组)、17%(B 组)、19%(C 组)、21%(D 组)、23%(E 组),选用 35 日龄断奶獭兔 200 只(体重相近,公母各半),随机分成 5 组,每组 40 个重复,预试期 7 d,正试期 53 d。通过动物饲养试验、消化代谢试验、屠宰试验对獭兔的相关指标进行研究。结果表明,在初始体重无显著差异的情况下,日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔采食量(ADI)和料重比(F/G)有显著影响($P<0.05$);日粮 ADF 水平极显著或显著影响食入氮(IN)($P<0.01$)和粪氮(FN)($P<0.05$),其中 C 组氮的利用率(RN/IN)和氮的生物利用率(RN/DN)最高;日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔盲肠氨氮浓度和丁酸浓度影响极显著($P<0.01$);日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔盲肠内木聚糖酶活和水杨苷酶活影响极显著($P<0.01$)。本试验结果表明,断奶至 3 月龄獭兔的适宜日粮 ADF 水平为 19%。

关键词: 酸性洗涤纤维;獭兔;生长性能;氮代谢;纤维素酶活;盲肠发酵

中图分类号:S829.1;S815.4

文献标志码:A

文章编号:0366-6964(2013)09-1417-08

Effects of Dietary ADF Levels on Growth Performance, Nitrogen Metabolism, Cellulase Activity and Caecum Fermentation of Rex Rabbits from Weaning to 3-month-old

JING Chang-liang, LI Fu-chang*, WANG Xue-peng, WANG Chun-yang

(College of Animal Science and Technology, Shandong Agricultural University,
Tai'an 271018, China)

Abstract: The experiment was conducted to investigate the effects of ADF levels on growth performance, nitrogen metabolism, cellulase activity and caecum fermentation of Rex Rabbits from weaning to 3-month-old. Using a one-factor completely randomize design, two hundred weaned Rex Rabbits with similar body weight were randomly divided into 5 treatments(40 replicates per treatment, 1 rabbit per replicate): feeding diets containing ADF 15%, 17%, 19%, 21%, 23%, respectively. The trial lasted for 7 days for adaptation, and 53 days for test, respectively. By animal breeding experiment, digestibility experiment and slaughtering experiment, indexes were determined. In the case of the initial body weight had no significant difference, the results showed that the levels of dietary ADF significantly affected the feed intake(ADI) and feed gain ratio(F/G) ($P<0.05$); the dietary ADF levels significantly affected the nitrogen intake(IN) ($P<0.01$) and fecal nitrogen(FN) ($P<0.05$); the nitrogen utilization(RN/IN) and the bioavailability of nitrogen (RN/DN) reached to the maximum in C group; the levels of dietary ADF significantly affected

收稿日期:2012-12-20

基金项目:现代农业产业技术体系建设专项(CARS-44-B-1);国家公益性行业(农业)科研专项(200903006)

作者简介:荆常亮(1987-),男,山东淄博人,硕士生,主要从事动物营养和家兔生产研究, Tel:0538-8249222-8319, E-mail:jingchangliang2008@163.com

* 通信作者:李福昌, E-mail:chl@sdau.edu.cn

$\text{NH}_3\text{-N}$ concentration and butyrate acid concentration ($P < 0.01$) in caecum; The activity of xylanase and salicin were significantly increased as the levels of ADF increase ($P < 0.01$). In conclusion, the suitable ADF levels was 19% for the Rex Rabbits from weaning to 3-month-old.

Key words: ADF; Rex Rabbit; growth performance; nitrogen metabolism; cellulase activity; caecum fermentation

獭兔作为一种典型的草食节粮型动物,具有耗粮少、耐粗饲和饲养成本低的特点。日粮纤维含量对家兔尤为重要,因为纤维供给不足会引起严重的消化道疾病。近年来,畜禽特别是单胃动物对纤维资源利用的研究日益引起人们的关注,因为饲料中的纤维与有机物质的消化率高度相关。由于纤维类型的多样化,准确测量洗涤纤维已被广泛的用于草食动物的营养研究之中。刘世民等^[1]报道,安哥拉兔日粮中的最适粗纤维含量为 12%~17%,并提出家兔日粮中酸性洗涤纤维(ADF)的适宜用量为 15%~25%。晁洪雨等^[2]研究表明,2~3 月龄肉兔适宜的 ADF 水平为 16%~19%。M. J. Fraga 等^[3]研究表明,为了获取最佳的增重效果,家兔日粮中应含有占干物质重 22% 的 ADF,并含有 15%~16% 的淀粉。在我国獭兔营养中,目前的饲料标准只包含 1 个粗纤维或酸性洗涤纤维(ADF)的最低限^[4],而未给出合理的饲养标准。

本试验通过饲养试验和消化代谢试验等手段研究饲料 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔生长性能、氮代谢、纤维素酶活以及盲肠发酵的影响,旨在探讨生长獭兔饲料适宜的 ADF 水平,为我国獭兔饲养标准的制定提供一定的理论和数据依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

选取 200 只体况健壮,体重相近的断奶獭兔 200 只,公母各半。

1.2 试验日粮

基础日粮依据 NRC^[5] 和 C. De Blas 等^[6] 建议的生长兔饲养标准配制,5 组试验日粮(A、B、C、D、E)的 ADF 含量分别为 15%、17%、19%、21%、23%。日粮配方和营养成分见表 1。试验日粮用颗粒机全部加工成直径为 4~6 mm 的颗粒饲料,晒干储存在通风干燥避光处备用。

1.3 试验设计

试验采取单因素试验设计,随机分为 5 个组,每组 40 个重复,每个重复 1 只,每组獭兔分别饲喂相

应的处理日粮,试兔预饲期 7 d,正饲期 53 d。3 月龄时每个处理组随机抽取 8 只进行屠宰并取样。

1.4 饲养管理

试验兔采取单笼饲养,各处理组管理和卫生条件相同。试验前全部试验兔均按照常规程序进行免疫和驱虫,然后进入正试期。每日早(08:00)晚(17:00)2 次人工喂料,自由采食、饮水,并定期对兔舍及饲槽和水槽进行清洗消毒。

1.5 样品采集和制备

饲养试验结束前 5 d,每组随机抽取体重接近且健壮的试验兔 8 只,转移到已消毒好的消化代谢笼中进行代谢试验,试兔单笼饲养。消化代谢试验采用全收粪尿法。预饲 2 d,适应后,从第 3 天开始进行正式代谢消化试验。每天上午 07:00~08:00 收集全部粪尿,仔细剔除落入的兔毛后,称重记录排粪量和排尿量,连收 3 d。期间准确记录采食量。鲜粪称重后,取一部分加入 10% 的硫酸固氮,用于粪中蛋白的测定。其余放在 65 ℃ 的烘箱中烘干 24 h 至恒重,记录风干粪样重量,粉碎过筛。尿样量取后放入已准备好的收集瓶中,按 1:50(酸:尿)的比例加入 10% 的硫酸固氮,每天按照相同的比例,混匀后冷冻保存。

试验结束当天空腹称重,宰杀后,立即去测定盲肠 3 个位点的内容物 pH,然后取适量盲肠内容物于收集管中,用于挥发性脂肪酸(VFA)和氨氮浓度($\text{NH}_3\text{-N}$)的测定。

1.6 测定指标和方法

1.6.1 生产性能测定 称重并分别记录断奶时和 3 月龄獭兔的体重,统计并记录断奶至 3 月龄的采食量,计算平均日采食量(ADFI)、平均日增重(ADG)和料肉比(F/G)。

1.6.2 氮含量测定 试验兔日粮、粪和尿样含氮量利用凯氏定氮法进行测定。

可消化氮(DN, $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) = 食入氮(IN) - 粪氮(FN);

沉积氮(RN, $\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) = 食入氮(IN) - 粪氮(FN) - 尿氮(UN);

氮表观消化率(DN/IN,%) = 100 × 可消化氮(DN)/食入氮(IN);
氮利用率(RN/IN,%) = 100 × 沉积氮(RN)/

食入氮(IN);

氮生物利用率(RN/DN,%) = 100 × 沉积氮(RN)/可消化氮(DN)。

表 1 试验日粮组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diet(air-dry basis)

%

项目 Item	组别 Group				
	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组
原料 Ingredient					
花生秧 Peanut vine	0	20	21	27	25
玉米 Corn	34	27	21	27	22
小麦麸 Wheat bran	15	20	28	4	5
豆粕 Soybean meal	15	15	15	24	20
苜蓿草粉 Alfalfa meal	33	15	5	6	17
花生壳 Peanut shell	0	0	7	9	8
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.5	1.5	1.5	1.5	0.5
食盐 NaCl	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
预混料 Premix ¹⁾	1	1	1	1	1
合计 Total	100	100	100	100	100
营养水平 Nutrient levels ²⁾					
消化能/(MJ·kg ⁻¹)DE	10.93	10.72	10.34	10.24	10.26
粗蛋白 CP	15.84	16.03	15.76	15.85	15.69
粗脂肪 EE	2.68	2.56	2.42	2.22	2.24
钙 Ca	0.81	0.73	0.78	0.71	0.75
磷 P	0.64	0.68	0.65	0.65	0.64
ADF	15.21	16.90	18.97	21.81	23.28

¹⁾ 预混料向每 kg 饲粮提供: Lys 1.5 g, Met 1.5 mg, Cu 50 mg, Fe 100 mg, Zn 50 mg, Mn 30 mg, Mg 150 mg, I 0.1 mg, Se 0.1 mg, VA 12 000 IU, VD 800 IU, VE 50 g;²⁾ 消化能为计算值,其余营养水平为实测值

¹⁾ The premix provided following per kg of diet: Lys 1.5 g, Met 1.5 mg, Cu 50 mg, Fe 100 mg, Zn 50 mg, Mn 30 mg, Mg 150 mg, I 0.1 mg, Se 0.1 mg, VA 12 000 IU, VD 800 IU, VE 50 g;²⁾ DE was calculated value, the other nutrient levels were measured values

1.6.3 盲肠纤维素酶活的测定 试验兔屠宰后迅速取出盲肠食糜放入 10 mL 带盖离心管中,立即放入液氮罐中速冻 20 min,然后取出放入-80 ℃冰箱中冷冻保存,供测定酶活性用。分别以木聚糖、水杨苷和羧甲基纤维素钠为底物测定木聚糖酶、水杨苷酶和羧甲基纤维素酶的活性,测定方法参考文献[7]。

1.6.4 盲肠发酵 盲肠 pH 用 pH-3B 型酸度计现场测定,盲肠内 NH₃-N 浓度用 UV-9100 型紫外分光光度计比色法测定,用 SQ-206 型气相色谱仪测定挥发性脂肪酸(VFA)含量并计算乙丙酸比。

1.7 数据处理

用 SAS9.1 统计软件(SAS Inst, Inc, Cary, NC, USA)中的 GLM 进行数据的方差分析,用 Duncan

氏检验进行数据的多重比较, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔生长性能的影响

由表 2 可以看出,在断奶初始体重无明显差异的情况下,日粮 ADF 水平对 ADFI 影响极显著($P < 0.01$),随日粮 ADF 水平的增加采食量极显著增加,其中 E 组极显著高于 A、B、C 和 D 组;日粮 ADF 水平对 F/G 影响显著($P < 0.05$),E 组显著高于 A 组,B、C 和 D 组之间差异不显著,其中在 C 组达到最小值;日粮 ADF 水平对 ADG 影响不显著。

表 2 日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔生长性能的影响 ($n=40$)Table 2 Effects of dietary ADF levels on growth performance from weaning to 3-month-old Rex Rabbits ($n=40$)

项目 Item	组别 Group					均方根误差 R-MSE	P 值 P-value
	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组		
初始体重/g Initial weight	649.24	650.47	646.14	663.82	650.47	126.150 0	0.963 4
3 月龄体重/g Final weight	1 518.34	1 585.57	1 596.74	1 545.94	1461.64	236.040 0	0.142 0
平均采食量/($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) ADFI	69.49 ^A	73.75 ^B	74.61 ^B	75.91 ^{AB}	78.19 ^C	5.980 0	0.000 1
平均日增重/($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) ADG	16.38	17.18	18.24	17.00	15.66	4.021 2	0.133 9
料重比 F/G	4.89 ^{ab}	4.51 ^b	4.47 ^b	4.75 ^{ab}	5.18 ^c	1.156 2	0.041 3

同行肩标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 ($P<0.05$), 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 same letter superscript means no significant difference ($P>0.05$), with different small letter superscripts means significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts means significant difference ($P<0.01$), the same as below

2.2 日粮纤维 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔氮代谢的影响

由表 3 可以看出, 日粮 ADF 水平对食入氮影响极显著 ($P<0.01$), 随日粮 ADF 水平的增加极显著增加, E 组极显著高于 A 和 B 组; 日粮 ADF 水平对粪氮的排出影响显著 ($P<0.05$), 随日粮 ADF 水平

的增加显著增加; 日粮 ADF 水平对 UN、RN、DN、DN/IN、RN/IN 都没有显著影响 ($P>0.05$), 但随着 ADF 水平的增加可消化氮有增加的趋势, 氮利用率和氮的生物利用率出现先增高后降低的趋势, 在 19% 组达到最大值。

表 3 日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔氮代谢的影响 ($n=8$)Table 3 Effects of dietary ADF levels on nitrogen metabolism from weaning to 3-month-old Rex Rabbits ($n=8$)

项目 Item	组别 Group					均方差误差 R-MSE	P 值 P-value
	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组		
食入总氮/($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) IN	2.28 ^A	2.53 ^{AB}	2.61 ^{BC}	2.73 ^{BC}	2.83 ^C	0.245 0	0.001 7
粪氮/($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) FN	0.65 ^a	0.60 ^a	0.63 ^a	0.67 ^{ab}	0.78 ^b	0.093 8	0.024 6
尿氮/($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) UN	0.58	0.59	0.60	0.62	0.61	0.102 3	0.933 0
可消化氮/($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) DN	1.88	1.92	1.96	2.05	2.08	0.246 7	0.113 5
沉积氮/($\text{g} \cdot \text{d}^{-1}$) RN	1.28	1.34	1.38	1.45	1.48	0.302 2	0.273 3
表观消化率/% DN/IN	75.88	75.79	74.07	75.59	73.49	3.730 0	0.734 8
氮利用率/% RN/IN	51.75	52.96	53.11	52.87	52.29	6.481 0	0.810 8
氮的生物利用率/% RN/DN	70.40	69.76	71.75	70.73	66.96	7.081 0	0.749 2

2.3 日粮纤维 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔盲肠发酵的影响

由表 4 可以看出, 盲肠肠道的 pH 随着日粮 ADF 水平的增加无显著变化 ($P>0.05$); 日粮 ADF 水平对盲肠内容物氨氮浓度影响极显著 ($P<$

0.01), 氨氮浓度随着日粮 ADF 水平的增加而极显著增加, 并且 E 组显著高于 A 组; 丁酸浓度随着日粮 ADF 水平的增加极显著降低 ($P<0.01$), 其中 D 和 E 组显著低于 A、B、C 3 组; 乙酸浓度和丙酸浓度随着 ADF 水平的增加无显著变化 ($P>0.05$); 乙丙

酸比例随着日粮 ADF 水平的增加无显著变化($P > 0.05$)。

表 4 日粮纤维 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔盲肠发酵的影响($n=8$)

Table 4 Effects of dietary ADF levels on caecum fermentation from weaning to 3-month-old Rex Rabbits ($n=8$)

项目 Item	组别 Group					均方差误差 R-MSE	P 值 P-value
	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组		
pH	6.15	6.36	6.22	6.35	6.18	0.266 9	0.262 7
氨氮浓度/(mmol·100 mL ⁻¹) NH ₃ -N	1.09 ^C	1.03 ^C	1.28 ^{BC}	1.64 ^{AB}	2.04 ^A	0.487 0	0.001 1
总挥发酸/(mmol·100 mL ⁻¹) TVFA	2.91	2.89	2.97	3.81	3.00	0.942 8	0.263 8
乙酸/% Acetic acid	80.36	82.24	79.97	81.67	84.16	3.911 8	0.240 4
丙酸/% Propionic acid	6.33	6.12	5.45	5.86	5.33	1.310 9	0.159 2
丁酸/% Butyric acid	16.10 ^A	13.08 ^B	13.44 ^B	11.33 ^C	10.48 ^C	1.483 2	0.001 0
乙丙酸比	13.76	13.10	15.60	17.56	16.65	3.557 0	0.083 4

2.4 日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔盲肠内容物纤维素酶活的影响

由表 5 可以看出,日粮 ADF 水平对盲肠内消化纤维素酶中水杨苷酶活和木聚糖酶活的影响极显著($P < 0.01$);其中 D 和 E 组的水杨苷酶活水平要显

著高于 A、B、C 3 组;E 组的木聚糖酶活显著高于其他 4 组;日粮 ADF 水平对纤维素酶活的影响不显著($P > 0.05$),但是 E 组的纤维素酶活高于 A 和 B 组,3 种消化酶活性随着 ADF 水平的增加均有增加的趋势。

表 5 日粮 ADF 水平对断奶至 3 月龄獭兔盲肠内消化纤维素酶活的影响($n=8$)

Table 5 Effects of dietary ADF levels on cecum digestion cellulase activity from weaning to 3-month-old Rex Rabbits ($n=8$)

项目 Item	组别 Group					均方差误差 R-MSE	P 值 P-value
	A 组	B 组	C 组	D 组	E 组		
纤维素酶活 Cellulase activity	30.43	33.33	35.87	34.13	38.01	3.808 3	0.055 0
水杨苷酶活 Salicin activity	55.54 ^A	54.74 ^A	55.5 ^A	68.12 ^B	68.93 ^B	5.462 2	0.000 3
木聚糖酶活 Xylanase activity	106.66 ^D	114.07 ^{CD}	127.62 ^{BC}	140.42 ^B	159.15 ^A	14.068 3	0.000 1

3 讨论

3.1 日粮 ADF 水平与生长性能

家兔对日粮中纤维的含量很敏感,日粮纤维水平的高低可直接影响家兔对营养物质的吸收和家兔的健康,从而影响家兔的生长性能。杨文正^[8]表明,日粮纤维含量增高时,肠道副交感神经兴奋增加,刺激胃肠蠕动使食糜在肠道内停留时间减少,影响对营养物质的吸收,从而影响家兔的生产性能。当日粮纤维水平增加时,动物会通过增加采食量来提高食入的营养。杨玉芬等^[9]报道,猪的采食量有随纤维含量的提高而成上升的趋势。在本试验中,随着

日粮 ADF 水平的增加,试兔的平均日采食量极显著增加,而试兔的平均日增重增加不显著,与以上报道相符。R. Bellier^[10]和 N. Bennegadi^[11]等报道,纤维对家兔肠道健康具有有益作用,适宜水平的日粮纤维可刺激肠管蠕动,防止细菌黏附,保持一定的消化道稠度和胃肠道食糜较高的流通率。在试验过程中也发现 A、B 组有较高的腹泻率,这也导致了 C 组的平均日增重高于 A、B 这 2 组。金岭梅^[12]报道,当粗纤维水平由 12% 增加到 16% 时饲料转化率下降了 31.7%。雷秋霞等^[13]报道,用含粗纤维 17%、19%、23% 和 26% 的 4 组日粮饲喂 5~6 月龄兔时,随着粗纤维水平的增加,体增重、胴体重、毛皮面积

和质量均下降。A. Feugier 等^[14]报道,日粮 ADF 水平对 23~36 d 断奶兔的采食量和食物转化率没影响,对 36~50 d 断奶兔,随着日粮 ADF 水平的增加,采食量和食物转化率增加。而在本试验中,在初始体重无显著差异的情况下,日粮 ADF 水平由 15% 增加到 19% 时,獭兔采食量 (ADI) 和日增重 (ADG) 均增加,饲料转化率升高,而由 19% 增加到 23% 时,獭兔采食量增加而日增重和饲料转化率有降低的趋势,这充分说明了日粮中高 ADF 水平和低 ADF 水平都不利于家兔的生产; ADF 水平过低不利于肠管的蠕动容易引起肠炎,不利于营养物质的吸收; ADF 水平过高肠管蠕动太快,加快食糜的排空速度,影响营养物质的吸收。

3.2 日粮 ADF 水平与氮代谢

氮的代谢试验是研究动物体内蛋白质增减规律的必要手段。动物食入的氮,一部分沉积用于合成机体蛋白,另一部分随着代谢产物排出体外,构成氮的平衡代谢和蛋白质的动态平衡体系。L. Carraro 等^[15]报道,增加 DF/ADF 比例会提高 DM 和 NDF 的消化率。V. Pinheiro 等^[16]报道,饲喂高纤维日粮对干物质、有机物和粗蛋白有较低的消化率但对 NDF 和 ADF 的表观消化率没影响。晁洪雨等^[2]研究表明,随着日粮 ADF 水平的升高,氮的表观消化率出现先增加后降低的趋势。王诚等^[17]研究表明,莱芜猪对日粮的消化率在一定的范围内随着纤维的增加而增加,但是超出一定范围则会抑制。在本试验中,随着日粮 ADF 水平的增加,食入氮 (IN) 在处理组之间极显著增加,这与试兔的采食量有关;日粮 ADF 水平对粪氮 (FN) 影响显著;虽然对氮的表观消化率和氮的利用率无显著影响,但是随着 ADF 水平的增高,氮的表观消化率和利用率都有先增高后降低的趋势,在 ADF 19% 组达到最大值,这与晁洪雨等^[2]的研究结果较一致。

3.3 日粮 ADF 水平与盲肠发酵

家兔作为一种草食动物,采食后食物经过前消化道吸收消化后,未被消化吸收的纤维素和淀粉进入盲肠在微生物的作用下进行发酵,产生挥发性脂肪酸和气体,盲肠中挥发性脂肪酸是家兔供能的一个重要途径。李福昌^[4]报道,家兔发酵产生的挥发性脂肪酸在家兔后肠中迅速吸收,提供能量,丁酸是后肠的直接能量来源,而乙酸在肝脏代谢中生成脂肪和胆固醇,挥发性脂肪酸还可以刺激结肠黏膜的生长。纤维来源会影响挥发性脂肪酸的浓度,不易

消化的高木质纤维使挥发性脂肪酸的浓度降低。本试验 5 个不同的处理组中,随日粮 ADF 水平增加,总酸浓度有增加的趋势,但 A 组高于 B、C 2 组, E 组低于 C、D 2 组,这可能是 A 组中脱水苜蓿和 D 组中木质化程度高的花生壳含量高的缘故,这也说明了不同的纤维来源会影响挥发性脂肪酸的浓度。T. Gidenet^[18]和 A. Belenguer^[19]等的试验表明,盲肠内挥发性脂肪酸浓度随着日粮纤维水平的提高而提高,但不显著;其中,乙酸比例显著升高,丁酸比例显著降低。V. Pinheiro 等^[16]报道,随着日粮纤维水平的提高,显著增加了乙酸和丙酸浓度,乙丙丁酸的比例无变化。晁洪雨等^[20]指出,在断奶到 2 月龄肉兔盲肠发酵中,随着 ADF 水平的提高,乙酸比例、乙丙酸比和 pH 随日粮 ADF 升高而呈现增加的趋势。但在本试验中,随着日粮中 ADF 水平的提高,虽然显著增加了乙酸的浓度,降低了丁酸的浓度,但丙酸的浓度变化不显著且有降低的趋势,这可能与日粮中粗纤维和淀粉比值有关,当日粮中淀粉多时,丙酸的浓度有所增加。

$\text{NH}_3\text{-N}$ 是饲料蛋白质和内源尿素的分解产物,同时也是盲肠微生物产生微生物蛋白的氮来源,使盲肠细菌得以生长繁衍,并通过软粪被家兔利用^[2]。盲肠 pH 不仅可以评价发酵程度及发酵环境是否适宜,而且还与家兔腹泻发生率呈负相关^[2]。T. Gidenne 等^[21]报道,日粮纤维是家兔盲肠细菌发酵的主要底物,是家兔饲料的主要组成部分,对幼龄家兔的生产性能和肠道健康状况有非常重要的影响。A. Trocino 等^[22]报道,家兔日粮可溶性纤维的增加会降低盲肠的 pH,但增加总挥发性脂肪酸的浓度。在本试验中,随着 ADF 水平的提高 pH 变化不显著,但氨氮浓度变化极显著增加,原因可能是随着日粮中 ADF 水平的提高,增加了适合盲肠细菌发酵的底物从而增加了盲肠内容物中分解纤维的细菌, $\text{NH}_3\text{-N}$ 作为微生物氮的来源出现显著性增加。

3.4 日粮 ADF 水平与盲肠纤维素酶活

家兔本身不能分泌纤维素酶,而家兔日粮中的纤维素和半纤维素大部分能被分解,这是因为家兔盲肠中存在大量的微生物,微生物附在植物的细胞壁上,不断的利用可溶性水化合物和其他营养物质,使其自身繁殖,不断的产生纤维素分解酶,把植物细胞壁分解成单糖和衍生物。因此,研究獭兔盲肠中与分解纤维有关的微生物的纤维素酶活对于提高纤维物质的降解和更好的了解纤维降解机理,具有重

要的意义。

羧甲基纤维素酶代表的是一类能够随机切断纤维素非结晶区的葡聚糖链内-1,4 糖苷键的内切葡聚糖酶,水杨苷酶代表的是能够切开纤维二糖的-1,4 糖苷键的纤维二糖苷酶,它们反映的是微生物分解消化纤维素的能力;木聚糖酶代表的是一种能够水解木聚糖底物生成木糖的多酶复合体,反映的是盲肠微生物分解和消化半纤维素的能力^[7]。3 种消化酶活力的变化在一定程度上反映不同 ADF 处理日粮中微生物消化纤维的能力。微生物对盲肠食糜的消化主要是靠盲肠液中的微生物,而不同的饲料,由于 ADF 水平的不同,可消化纤维的量也就不同,故盲肠中微生物分泌的纤维素酶也就不同。G. P. Bowmanj 等^[23]对 3 种粗饲料黏附的纤维素酶活性研究报道,红三叶草酶活峰值出现的最早,在培养后 18 h 达到最高,果园草峰值出现较晚(在培养后 36 h); L. Firkinsj 等^[24]研究也发现,红三叶草和果园草与晶体纤维素相比,前两者纤维素酶活性峰值出现较后者早。反刍动物中的这些相关研究表明,微生物纤维素消化酶活性出现峰值的早晚与瘤胃中的底物有密切的关系,所以可能在家兔盲肠消化中,纤维素酶活的高低与为微生物提供发酵的日粮纤维有关。不同 ADF 水平处理风干日粮通过测定纤维素酶活反映家兔消化纤维素的能力。本试验中,随着 ADF 水平的升高,水杨苷酶和木聚糖酶的活性显著增加,纤维素酶的活性也有上升的趋势。这就意味着在高水平 ADF 组中,盲肠内环境(pH、挥发性脂肪酸的比例和浓度、NH₃-N 浓度)适合产生纤维素消化酶的细菌和真菌的生长,盲肠内环境较好的促进微生物的生长且纤维有较好的消化率。

参考文献:

- [1] 刘世民,张力. 长毛兔常用饲料消化能与可消化粗蛋白之含量的测定[J]. 中国养兔杂志, 1990, 5: 18-21.
- [2] 晁洪雨,李福昌. 日粮 ADF 水平对肉兔氮代谢、小肠组织学结构和二糖酶活性的影响[J]. 中国兽医学报, 2008, 28: 604-610.
- [3] FRAGA M J, PEREZ P DE AYALA P, CARABANO R, et al. Effects of type of fiber on the rate of passage and on the contribution of type of fiber on the rate of passage and on the contribution of soft faeces to nutrient intake of finishing rabbits[J]. *J Anim Sci*, 1991, 69(4): 1566-1574.
- [4] 李福昌. 家兔营养[M]. 北京:中国农业出版社, 2008: 49-50.
- [5] NRC. Nutrient Requirements of Rabbits (2th ed) [M]. Washington, D. C: National Academy Press, 1977.
- [6] De BLAS C, MATEOS G. The Nutrition of the Rabbit [M]. CABI Publishing, New York, NY, USA, 1998:297-308.
- [7] 梁松,刘仕军,王加启,等. 日粮中添加鱼油和葵花油对肉牛瘤胃纤维素酶活性的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2008, (11): 25-26.
- [8] 杨文正. 粗纤维含量对日粮消化率的影响[J]. 中国养兔杂志, 1987, 3: 16-18.
- [9] 杨玉芬,卢德勋,许梓荣. 日粮纤维对仔猪生长性能和消化生理功能的影响[J]. 饲料博览, 2010, 2: 43.
- [10] BELLIER R, GIDENNE T. Consequences of reduced fibre intake on digestion, rate of passage and caecal microbial activity in the young rabbit [J]. *Br J Nutr*, 1996, 75: 353-363.
- [11] BENNEGADI N, GIDENNE T, LICOIS D. Non-specific enteritis in the growing rabbit: detailed description and incidence according to fibre deficiency and sanitary status [C]. Proceeding of the 7th World Rabbits Congress, 2000: 109-117.
- [12] 金岭梅. 日粮粗纤维水平对兔饲料转化率的影响[J]. 甘肃畜牧兽医, 1994, 6: 8-10.
- [13] 雷秋霞,李福昌. 家兔日粮中粗纤维水平及其品质的研究进展[J]. 中国养兔, 2002, (1): 30-31.
- [14] FEUGIER A, SMIT M N, LAMOTHE L, et al. Fiber and protein requirements of early weaned rabbits and the interaction with weaning age: effects on digestive health and growth performance [J]. *Anim Sci*, 2006, 82: 493-500.
- [15] CARRARO L, TROCINO A, FRAGKIADAKIS M, et al. Digestible fibre to ADF ratio and starch level in diets for growing rabbits [J]. *Ital J Anim Sci*, 2007, 6: 752-754.
- [16] PINHEIRO V, GUEDES C M, MONTEIRO D, et al. Effects of fibre level and dietary mannanoligosaccharides on digestibility, caecal volatile fatty acids and performances of growing rabbits [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2009, 148: 288-300.
- [17] 王诚,王文亭,李福昌. 日粮粗纤维水平对莱芜黑猪及其杂交猪氮代谢及营养物质消化率的影响[J]. 山东农业大学学报, 2011, 42(3): 422-427.
- [18] GIDENNET T. Microbial activity in the caecum of the rabbit around weaning: impact of a dietary fiber

- deficiency and of intake level [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2002, 99:107-118.
- [19] BELENGUER A, FONDEVILA M, BALCELLS J, et al. Effect of the source and level of cereal in diet on the rabbit caecal environment and microbial population [M]. Proc of the 7th World Rabbits Congress, Valencia Spain, 2000, 1:95-100.
- [20] 晁洪雨,李福昌.日粮 ADF 水平对 2-3 月龄肉兔生产性能、消化酶活性和盲肠发酵的影响[J].山东农业大学学报,2008,39(3):355-360.
- [21] GIDENNE T, PINHEIRO V, FALCAO E. A comprehensive approach of the rabbit digestion; consequences of a reduction in dietary fibre supply [J]. *Livest Prod Sci*, 2000, 64(2/3): 225-237.
- [22] TROCINO A, FRAGKIADAKIS M, MAJOLINI D, et al. Effect of the increase of dietary starch and soluble fibre on digestive efficiency and growth performance of meat rabbits [J]. *Anim Feed Sci Technol*, 2011, 165: 265-277.
- [23] BOWMANJ G P, FIRKINS J L. Effects of forage species and particle size on bacterial cellulolytic activity and colonization [J]. *J Anim Sci*, 1993, 71: 1623-1633.
- [24] FIRKINSJ L, BOWMANJ G P, WEISSW P. Effects of protein, carbohydrate and fat sources on bacterial colonization and degradation of fiber *in vitro* [J]. *J Dairy Sci*, 1991, 74: 422.

(编辑 郭云雁)