

饲料不同非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维对肉兔生长性能、养分表观消化率、肠道消化酶活性及肠道发育的影响

刘婷婷¹ 夏雪茹¹ 常兴发¹ 刘树栋¹ 韩帅娟¹ 刘亚娟² 陈宝江^{1,3*}

(1.河北农业大学动物科技学院,保定 071000;2.国家北方山区农业工程技术研究中心,保定 071000;

3.河北省牛羊胚胎工程中心,保定 071000)

摘要: 本试验旨在研究饲料不同非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维(NFC/NDF)对肉兔生长性能、养分表观消化率、肠道消化酶活性及肠道发育的影响。选取135只健康、平均体重为(1.08±0.07) kg的断奶肉兔,随机分为5组,每组27个重复,每个重复1只。各组在其他营养水平一致的前提下分别饲喂NFC/NDF为0.7(T1组)、1.0(T2组)、1.3(T3组)、1.6(T4组)和1.9(T5组)的试验饲料。生长试验28 d,消化代谢试验7 d。结果表明:1) T1、T2和T3组的终末体重、平均日增重和平均日采食量显著或极显著高于T5组($P<0.05$ 或 $P<0.01$),T5组的料重比显著高于其他各组($P<0.05$),T5组的腹泻率极显著高于其他各组($P<0.01$)。2) T5组的粗蛋白质表观消化率显著或极显著低于其他各组($P<0.05$ 或 $P<0.01$),T3组的粗脂肪表观消化率极显著高于T1和T5组($P<0.01$),T5组的粗纤维表观消化率极显著低于T1和T2组($P<0.01$),T2组的中性洗涤纤维表观消化率显著或极显著高于T3、T4和T5组($P<0.05$ 或 $P<0.01$),T1组的酸性洗涤纤维表观消化率显著或极显著高于T3、T4和T5组($P<0.05$ 或 $P<0.01$),T1和T5组的非纤维性碳水化合物表观消化率显著低于T2和T4组($P<0.05$)。3) T4组的空肠胰蛋白酶和 α -淀粉酶活性最高,显著或极显著高于T1组($P<0.05$ 或 $P<0.01$);T2组的空肠蔗糖酶活性最高,显著高于T3、T4和T5组($P<0.05$);T2组的盲肠纤维素酶活性最高,显著高于T4和T5组($P<0.05$)。4) T2组的空肠隐窝深度显著低于T1组和T5组($P<0.05$);T2组和T3组的空肠绒毛高度/隐窝深度极显著高于T1、T4和T5组($P<0.01$);T2组盲肠黏膜厚度最高,显著或极显著高于T1、T4和T5组($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。由此可见,饲料NFC/NDF在1.0~1.3更利于提高断奶肉兔养分表观消化率和肠道消化酶活性,改善肠道形态结构,促进断奶肉兔生长发育。

关键词: 非纤维性碳水化合物;肉兔;生长性能;消化率;消化酶;肠道发育

中图分类号:S829.1

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2021)06-3469-10

家兔是单胃草食动物,粗纤维对家兔具有重要意义,饲料粗纤维水平不仅决定有效养分的供给量,而且会影响家兔的生长发育、胃肠道健康及

机体健康水平。饲料中的纤维性物质具有维持家兔消化道正常生理活动和防止肠炎的作用,饲料中添加适量纤维可以提高家兔平均日增重(ADG)

收稿日期:2020-12-05

基金项目:国家重点研发计划(2018YFD0502203)

作者简介:刘婷婷(1996—),女,河北石家庄人,硕士研究生,研究方向为动物营养与饲料科学。E-mail: 806844803@qq.com

*通信作者:陈宝江,教授,博士生导师,E-mail: chenbaojiang@vip.sina.com

和饲料转化率^[1], 饲粮粗纤维水平过低 (<7%) 会导致肠道产气杆菌的大量繁殖和肠道内容物过度发酵, 破坏肠道内正常的微生物体系, 造成中毒, 引起腹泻, 甚至导致死亡^[2-3]。近年来, 为了探讨精准纤维营养, 越来越多的学者采用非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维 (NFC/NDF) 作为动物饲粮碳水化合物组成和结构的指标, 它将饲粮中快速发酵和缓慢发酵碳水化合物统一考虑, 更加准确地控制了其他变量的影响。Song 等^[4] 试验表明, 当饲粮 NFC/NDF 为 1.66 时, 山羊的平均日增重和养分表观消化率较 NFC/NDF 为 1.16 时显著提高; 禹爱兵等^[5] 研究则认为, 低饲粮 NDF/NFC (0.68~0.87) 的饲粮有利于保证断奶后犊牛处于良好的能量代谢状态, 促进其生长发育; 李岚捷^[6] 研究发现, 与 NFC/NDF 为 1.35 的饲粮相比, 饲喂 NFC/NDF 为 0.80 的饲粮能显著提高断奶犊牛瘤胃微生物的种类和丰富度, 更适合犊牛生长。目前, 关于 NFC/NDF 的少量研究大多集中于反刍动物方面, 关于饲粮不同 NFC/NDF 对家兔方面研究鲜有报道。因此, 本试验旨在研究饲粮不同 NFC/

NDF 对肉兔生长性能、养分表观消化率、肠道消化酶活性及肠道发育的影响, 为确定家兔饲粮适宜 NFC/NDF 提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

选取 135 只健康断奶肉兔, 平均体重为 (1.08±0.07) kg, 公母各占 1/2, 随机分为 5 组, 每组 27 个重复, 每个重复 1 只。各组在其他营养水平一致的前提下分别饲喂 NFC/NDF 为 0.7 (T1 组)、1.0 (T2 组)、1.3 (T3 组)、1.6 (T4 组) 和 1.9 (T5 组) 的试验饲粮。生长试验 28 d, 消化代谢试验 7 d。整个试验期肉兔自由采食和饮水, 单笼饲养, 保证光照和通风。

1.2 试验饲粮

以玉米、麸皮、豆粕、苜蓿草粉和燕麦草粉为主要原料, 参考 NRC (2012)^[7]、李福昌^[8] 和谷子林等^[9] 配制试验饲粮, 并制成直径×长度为 4 mm×10 mm 的颗粒料, 试验饲粮组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平 (风干基础)

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

%

项目 Items	组别 Groups				
	T1	T2	T3	T4	T5
原料 Ingredients					
玉米 Corn		8.50	16.50	25.00	33.60
麸皮 Wheat bran	11.00	11.00	10.00	11.00	11.50
豆粕 Soybean meal	15.00	15.50	16.00	16.00	16.00
苜蓿草粉 Alfalfa meal	26.50	26.00	26.00	25.50	25.50
燕麦草粉 Oat meal	43.50	35.00	27.50	18.50	9.40
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
赖氨酸 Lys	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
蛋氨酸 Met	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
沸石粉 Zeolite meal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
预混料 Premix ¹⁾	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
棕榈油粉 Palm oil meal	1.00	0.80	0.50	0.20	
膨润土 Bentonite	1.00	1.20	1.50	1.80	2.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾					
干物质 DM	89.21	89.43	89.01	88.95	88.90
消化能 DE/(MJ/kg)	8.21	8.73	9.20	9.72	10.24
粗蛋白质 CP	17.11	17.13	17.14	17.11	17.12
粗脂肪 EE	3.23	3.29	3.21	3.21	3.28

续表 1

项目 Items	组别 Groups				
	T1	T2	T3	T4	T5
粗纤维 CF	17.70	15.71	13.99	11.92	9.89
中性洗涤纤维 NDF	41.52	38.25	35.24	32.00	28.72
酸性洗涤纤维 ADF	21.69	19.34	17.30	14.86	12.46
非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维 NFC/NDF	0.72	1.02	1.30	1.60	1.90

1) 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: Fe (as ferric sulfate) 70 mg, Cu (as copper sulfate) 20 mg, Zn (as zinc sulfate) 70 mg, Mn (as manganese sulfate) 10 mg, Se (as sodium selenate) 0.25 mg, Co 0.15 mg, I 0.2 mg, VA 10 000 IU, VD 900 IU, VE 50 mg, VK 2 mg, VB₁ 2 mg, VB₂ 6 mg, VB₁₂ 0.02 mg, 泛酸 pantothenic acid 50 mg, 吡哆醇 pyridoxine 2 mg, 烟酸 nicotinic acid 50 mg, 胆碱 choline 1 000 mg, 生物素 biotin 0.2 mg。

2) 消化能和非纤维性碳水化合物/中性洗涤纤维为计算值,其他营养水平均为实测值。DE and NFC/NDF were calculated values, while the other nutrient levels were measured values.

1.3 检测指标和方法

1.3.1 生长性能

试验开始和结束时以重复为单位称量各组试验兔的体重获得初始体重和终末体重,计算平均日增重;试验期间记录各组试验兔每天采食量,计算平均日采食量(ADFI)和料重比(F/G)。统计试验期间各组试验兔的腹泻和死亡情况,计算腹泻率和死亡率,公式如下:

$$\text{腹泻率}(\%) = (\text{试验期内腹泻试验兔只数} / \text{该试验组试验兔总只数}) \times 100;$$

$$\text{死亡率}(\%) = (\text{试验期内试验兔死亡只数} / \text{该试验组试验兔总只数}) \times 100。$$

1.3.2 养分表现消化率

生长试验结束后,每组随机取 10 只试验兔(公母各占 1/2)转移至消化代谢笼,进行消化代谢试验。消化代谢试验采用全收粪法,期间每天记录试验兔采食量,收集全部粪便,称重后分为 2 份,一份加 10% 盐酸固氮测定粗蛋白质含量,另一份测定其他养分含量。试验结束后将粪样烘干粉碎,放入样品袋中备测。参照张丽英^[10]的方法测定饲料及粪中各养分含量。养分表现消化率计算公式如下:

$$\text{某养分表现消化率}(\%) = 100 \times (\text{饲料中} \\ \text{该养分含量} - \text{粪中该养分含量}) / \\ \text{饲料中该养分含量}。$$

1.3.3 肠道消化酶活性

试验第 28 天,每组随机选取 10 只试验兔进行屠宰,取空肠食糜和盲肠食糜于 5 mL 冻存管中, -80 ℃ 保存,用于测定空肠食糜中胰蛋白酶、 α -淀粉酶、乳糖酶、蔗糖酶的活性以及盲肠食糜中纤维

素酶和果胶酶的活性,试剂盒均购于南京建成生物工程研究所,具体操作参照说明步骤进行。

1.3.4 肠道发育

试验第 28 天,每组随机选取 10 只试验兔进行屠宰,取空肠肠段 2~3 cm 和盲肠肠壁 1~2 cm² 的样品,用生理盐水冲洗干净,10% 中性甲醛固定备测。固定组织经全自动脱水机脱水,包埋,切片后染色、封片,然后采用 BA210 Digital 数码三目摄像显微系统对切片进行图像采集,选择要测量的区域并采集 40 倍图片测量空肠绒毛高度和隐窝深度以及盲肠肌层厚度和黏膜厚度,计算空肠绒毛高度/隐窝深度。

1.4 数据统计分析

采用 Excel 2010 对数据进行初步计算,再用 SPSS 20.0 软件对数据进行均值比较和差异性检验,用 one-way ANOVA 程序检验各组数据间差异是否显著,并用 LSD 法进行多重比较。结果以平均值 \pm 标准差表示, $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔生长性能的影响

由表 2 可知,T5 组的终末体重显著低于其他各组($P < 0.05$)。T5 组的平均日增重极显著低于其他各组($P < 0.01$)。T1、T2 和 T3 组的平均日采食量极显著高于 T4 和 T5 组($P < 0.01$);与 T1 组相比,T2、T3、T4 和 T5 组的平均日采食量分别降低了 7.46% ($P > 0.05$)、6.36% ($P > 0.05$)、19.21% ($P < 0.01$) 和 17.75% ($P < 0.01$)。T5 组的料重比

显著高于其他各组 ($P < 0.05$), T4 组的料重比显著低于 T1 组 ($P < 0.05$)。T4 和 T5 组肉兔出现腹泻现象, 腹泻率分别为 18.52% 和 59.26%, 死亡率分

别为 7.41% 和 14.81%; T4 和 T5 组的腹泻率显著或极显著高于其他各组 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), T5 组的死亡率显著高于 T1、T2 和 T3 组 ($P < 0.05$)。

表 2 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔生长性能的影响

Table 2 Effects of dietary different NFC/NDF on growth performance of meat rabbits

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	T1	T2	T3	T4	T5	
初始体重 IW/kg	1.07±0.07	1.07±0.07	1.11±0.09	1.10±0.07	1.08±0.08	0.866 9
终末体重 FW/kg	2.50±0.18 ^a	2.51±0.21 ^a	2.56±0.21 ^a	2.48±0.24 ^a	2.07±0.31 ^b	0.000 6
平均日增重 ADG/(g/d)	55.42±4.79 ^{Aa}	54.87±6.67 ^{Aa}	55.53±7.17 ^{Aa}	52.04±9.54 ^{Aa}	38.62±11.49 ^{Bb}	0.000 7
平均日采食量 ADFI/(g/d)	193.79±20.30 ^{Aa}	179.33±15.25 ^{Ab}	181.49±23.56 ^{Aab}	156.63±24.64 ^{Bc}	154.59±23.57 ^{Bc}	0.001 3
料重比 F/G	3.43±0.28 ^b	3.27±0.20 ^{bc}	3.28±0.22 ^{bc}	3.06±0.30 ^c	4.13±0.22 ^a	0.001 8
腹泻率 Diarrhea rate/%	0.00±0.00 ^{Bc}	0.00±0.00 ^{Bc}	0.00±0.00 ^{Bc}	18.52±7.62 ^{Bb}	59.26±9.62 ^{Aa}	0.000 4
死亡率 Mortality rate/%	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	0.00±0.00 ^b	7.41±5.14 ^{ab}	14.81±6.97 ^a	0.023 3

同行数据肩标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 ($P < 0.01$), 相同或无字母表示差异不显著 ($P > 0.05$)。下表同。

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

2.2 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔养分表观消化率的影响

由表 3 可知, T5 组的粗蛋白质表观消化率显著或极显著低于其他各组 ($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$), 较 T1、T2、T3 和 T4 组分别降低了 3.95% ($P < 0.05$)、6.71% ($P < 0.01$)、5.21% ($P < 0.01$) 和 4.38% ($P < 0.05$)。T3 组的粗脂肪表观消化率最高, 极显著高于 T1 和 T5 组 ($P < 0.01$), 且与 T2 和 T4 组无显著差异 ($P > 0.05$)。粗纤维表观消化率随饲料 NFC/NDF 的升高而降低, 与 T1 组相比, T2、T3、T4 和 T5 组粗纤维表观消化率分别降低了 17.51% ($P > 0.05$)、28.42% ($P < 0.01$)、41.48% ($P < 0.01$) 和 46.66% ($P < 0.01$)。T2 组的中性洗涤纤维 (NDF) 表观消化率最高, 极显著高于 T4 和 T5 组 ($P < 0.01$), 显著高于 T3 组 ($P < 0.05$), 与 T1 组无显著差异 ($P > 0.05$)。酸性洗涤纤维 (ADF) 表观消化率随饲料 NFC/NDF 升高而降低, T1 组的 ADF 表观消化率最高, 显著高于 T3 组 ($P < 0.05$), 极显著高于 T4 和 T5 组 ($P < 0.01$), 且与 T2 组无显著差异 ($P > 0.05$)。T1 和 T5 组的非纤维性碳水化合物

(NFC) 表观消化率显著低于 T2 和 T4 组 ($P < 0.05$)。

2.3 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔肠道消化酶活性的影响

由表 4 可知, 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔空肠乳糖酶和盲肠果胶酶活性无显著影响 ($P > 0.05$), 且均以 T5 组最低。T4 组的空肠胰蛋白酶和 α -淀粉酶活性最高, T5 组次之, 2 组之间差异不显著 ($P > 0.05$); 与 T4 组相比, T1、T2、T3 和 T5 组的空肠胰蛋白酶活性分别降低了 41.04% ($P < 0.05$)、24.36% ($P > 0.05$)、25.78% ($P > 0.05$) 和 0.71% ($P > 0.05$), 空肠 α -淀粉酶活性分别降低了 40.27% ($P < 0.01$)、37.83% ($P < 0.01$)、37.18% ($P < 0.01$)、1.90% ($P > 0.05$)。T2 组的空肠蔗糖酶活性最高, 显著高于 T3、T4 和 T5 组 ($P < 0.05$), 与 T1 组差异不显著 ($P > 0.05$)。随着饲料 NFC/NDF 的升高, 肉兔盲肠纤维素酶活性先升高后降低; 与 T2 组相比, T1、T3、T4 和 T5 组的盲肠纤维素酶活性分别降低了 14.90% ($P > 0.05$)、10.89% ($P > 0.05$)、29.51% ($P < 0.05$)、36.68% ($P < 0.05$)。

表3 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔养分表观消化率的影响

Table 3 Effects of dietary different NFC/NDF on nutrient apparent digestibilities of meat rabbits

%

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	T1	T2	T3	T4	T5	
粗蛋白质 CP	79.00±1.95 ^{ABa}	81.10±1.85 ^{Aa}	79.96±2.75 ^{Aa}	79.33±1.69 ^{ABa}	76.00±2.72 ^{Bb}	0.008 6
粗脂肪 EE	71.95±6.78 ^{Cc}	83.06±1.92 ^{ABa}	85.58±2.78 ^{Aa}	81.89±2.64 ^{ABab}	77.83±2.66 ^{Bb}	0.003 0
粗纤维 CF	34.38±6.21 ^{Aa}	28.36±4.73 ^{ABab}	24.61±5.09 ^{BCbc}	20.12±4.39 ^{BCC}	18.34±5.96 ^{Cc}	0.001 0
中性洗涤纤维 NDF	34.43±3.55 ^{ABab}	36.32±2.76 ^{Aa}	31.46±4.94 ^{ABbc}	28.11±2.59 ^{BCcd}	25.09±4.20 ^{Cd}	0.001 0
酸性洗涤纤维 ADF	33.09±4.78 ^{Aa}	31.03±3.43 ^{ABab}	26.63±6.39 ^{ABbc}	25.27±3.96 ^{Bc}	23.91±2.08 ^{Bc}	0.005 2
非纤维性碳水化合物 NFC	89.32±1.29 ^b	93.01±2.48 ^a	91.04±1.74 ^{ab}	92.68±1.97 ^a	90.93±2.80 ^b	0.039 9

表4 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔肠道消化酶活性的影响

Table 4 Effects of dietary different NFC/NDF on intestinal digestive enzyme activities of meat rabbits

U/mg

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	T1	T2	T3	T4	T5	
胰蛋白酶 Trypsin	4 351.70 ±1 154.86 ^b	5 582.77 ±1 706.48 ^{ab}	5 477.55 ±1 077.03 ^{ab}	7 380.32 ±2 017.44 ^a	7 327.65 ±1 196.60 ^a	0.130 1
α-淀粉酶 α-amylase	129.19 ±36.41 ^{Bb}	134.47 ±24.03 ^{Bb}	135.86 ±21.30 ^{Bb}	216.28 ±35.72 ^{Aa}	212.16 ±16.80 ^{Aa}	0.001 1
乳糖酶 Lactase	26.62 ±8.89	29.06 ±6.18	31.54 ±9.56	26.36 ±8.12	23.96 ±7.67	0.731 2
蔗糖酶 Sucrase	705.97 ±127.76 ^{ab}	831.63 ±116.74 ^a	614.65 ±80.94 ^{bc}	533.68 ±83.84 ^c	587.45 ±121.88 ^c	0.099 5
纤维素酶 Cellulase	2.97 ±0.57 ^{ab}	3.49 ±0.61 ^a	3.11 ±0.45 ^{ab}	2.46 ±0.76 ^b	2.21 ±0.56 ^b	0.067 7
果胶酶 Pectinase	0.32 ±0.08	0.31 ±0.09	0.31 ±0.06	0.30 ±0.09	0.20 ±0.05	0.193 2

2.4 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔肠道发育的影响

由表5可知,饲料不同 NFC/NDF 对肉兔空肠绒毛高度无显著影响($P>0.05$),T1 和 T5 组的绒毛高度略低于 T2、T3、T4 组。T2 组的空肠隐窝深度与 T1 和 T5 组相比,分别降低了 14.84% ($P<0.05$)和 15.01% ($P<0.05$),且与 T3 和 T4 组无显著差异($P>0.05$)。T2 组的空肠绒毛高度/隐窝深度最高,T3 组次之,且均极显著高于其他 3 组 ($P<0.01$);T1 和 T5 组的空肠绒毛高度/隐窝深度显著或极显著低于 T4 组 ($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。T2 组的盲肠黏膜厚度最高,极显著高于 T1 和 T5 组 ($P<0.01$),显著高于 T4 组 ($P<0.05$),且与 T3 组无显著差异 ($P>0.05$);与 T2 组相比,T1、T3、T4 和 T5 组的盲肠黏膜厚度分别降低了 14.59% ($P<0.01$)、5.35% ($P>0.05$)、12.74% ($P<0.05$) 和 17.91% ($P<0.01$)。各组盲肠肌层厚度无显著差

异 ($P>0.05$),且随着饲料 NFC/NDF 的升高,盲肠肌层厚度逐渐降低。

3 讨论

3.1 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔生长性能的影响

本试验结果表明,T1、T2 和 T3 组的平均日采食量极显著高于 T4 和 T5 组,T5 组的平均日增重极显著低于其他各组,T5 组的料重比显著高于其他各组;且 T4 组和 T5 组肉兔出现腹泻现象,腹泻率分别为 18.52% 和 59.26%。这可能是由于 T1、T2 和 T3 组的试验饲料中粗纤维水平高于 T4 和 T5 组,粗纤维可以为肠道发酵提供底物,产生短链脂肪酸,维持肠道 pH 稳定,保证肠道微生物正常活动,促进肠道发育;肠道有益微生物及其发酵产物作用于抗原呈递细胞,可提高免疫球蛋白和巨噬细胞的表达,从而调节肠道免疫功能,缓解

营养性腹泻^[11]。本试验中, T1 组的平均日采食量和料重比均高于 T2 和 T3 组。郝颖等^[12]研究发现, 饲料 NFC/NDF 为 0.39 时羔羊料重比升高, 且饲料 NFC/NDF 为 0.52 时比饲料 NFC/NDF 为 0.39 时更有利于促进休牧期断奶羔羊的生长和改善营养状况; 李岚捷等^[13]研究饲料不同 NFC/NDF (1.35、1.23、0.94、0.80) 对肉公犊牛生长性能和屠宰性能的影响, 发现 NFC/NDF 为 0.80 时犊牛料重比较高, 认为在一定范围内, 饲料 NFC/NDF 较低不利于犊牛生长。本试验结果与上述试验结果相似, 均在低 NFC/NDF 时不利于动物生长。由于

当饲料 NFC/NDF 为 0.7 时, 粗纤维水平较高, 导致饲料其他营养水平降低, 家兔会通过提高采食量以满足自身能量需要, 导致料重比升高, 而 NFC 包含植物细胞内容物的全部以及细胞壁中的快速发酵部分, 可以刺激肠道正常蠕动, 使动物产生饱腹感。由于反刍动物与肉兔消化道结构不同, 肉兔肠道中蛋白酶和 α -淀粉酶活性比瘤胃中高, 可以在消化道前段降解大部分 NFC, 而反刍动物摄入过多 NFC 会导致消化紊乱, 且肉兔盲肠纤维素酶活性低于瘤胃^[14], 因此反刍动物与肉兔适宜饲料 NFC/NDF 也不同。

表 5 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔肠道发育的影响

Table 5 Effects of dietary different NFC/NDF on intestinal development of meat rabbits

项目 Items	组别 Groups					P 值 P-value
	T1	T2	T3	T4	T5	
绒毛高度 Villus height/ μm	639.79 \pm 115.72	641.45 \pm 94.04	655.38 \pm 105.11	643.27 \pm 87.63	633.56 \pm 101.35	0.981 3
隐窝深度 Crypt depth/ μm	127.00 \pm 45.66 ^a	108.15 \pm 26.99 ^b	111.33 \pm 21.29 ^{ab}	120.63 \pm 31.99 ^{ab}	127.25 \pm 30.71 ^a	0.102 1
绒毛高度/隐窝深度 V/C	5.22 \pm 0.71 ^{BCc}	5.98 \pm 0.27 ^{Aa}	5.87 \pm 0.26 ^{Aa}	5.49 \pm 0.64 ^{Bb}	5.01 \pm 0.38 ^{Cc}	0.001 0
黏膜厚度 Mucosal thickness/ μm	266.38 \pm 47.62 ^{Bbc}	311.89 \pm 67.02 ^{Aa}	295.20 \pm 62.16 ^{ABab}	272.16 \pm 45.30 ^{ABbc}	256.03 \pm 59.87 ^{Bc}	0.001 5
肌层厚度 Muscle thickness/ μm	292.07 \pm 65.04	285.73 \pm 53.18	283.19 \pm 58.69	279.99 \pm 51.41	266.32 \pm 51.99	0.512 7

3.2 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔养分表观消化率的影响

营养学的观点普遍认为, 饲料纤维会直接影响动物对饲料中其他养分的综合消化利用率。现代营养研究结果表明, 饲料纤维的来源和添加量不同, 其理化性质不同, 对食物养分的综合利用率和能量的摄入量也不同^[15]。本试验中, T5 组粗蛋白质表观消化率最低, 其他 4 组之间粗蛋白质表观消化率无显著差异; 粗脂肪表观消化率以 T3 组最高, T1 和 T5 组较低; 粗纤维和 ADF 表观消化率随 NFC/NDF 比值升高而降低, NDF 表观消化率以 T2 组最高, T5 组最低。由此可见, 饲料 NFC/NDF 为 0.7 和 1.9 时, 肉兔对养分的表观消化率较低, 当饲料 NFC/NDF 为 0.7 时, 饲料中粗纤维水平过高, 会阻碍消化酶与其他养分接触, 不利于机体对养分的吸收; 当饲料 NFC/NDF 为 1.9 时, 饲料中粗纤维水平过低, NFC 过度发酵抑制了纤维

分解菌的活性, 使盲肠发酵不能正常进行, 引起消化功能紊乱, 从而降低机体对养分的表观消化率^[16]。本试验中, 随饲料 NFC/NDF 的升高 (1.0~1.6), 肉兔对粗纤维、NDF、ADF 表观消化率逐渐降低, 其原因可能为饲料纤维可以促进肠道蠕动、黏膜增生, 有利于养分的吸收^[17], 且粗纤维、NDF、ADF 表观消化率提高, 可通过促进盲肠发酵为家兔机体提供更多有效能, 从而改善生长性能。

3.3 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔肠道消化酶活性的影响

肉兔消化道能分泌 α -淀粉酶、蛋白酶、脂肪酶等, 但不能分泌纤维素酶类, 纤维素酶和果胶酶主要由盲肠中微生物产生, 其活性受饲料粗纤维水平和来源的影响^[18-20]。本试验结果表明, T4 组的空肠胰蛋白酶和 α -淀粉酶活性最高, 显著或极显著高于 T1 组; T2 组的空肠蔗糖酶和盲肠纤维素酶活性最高, 显著高于 T5 组。由此可见, 饲料

NFC/NDF 过高(1.9)或过低(0.7)都不利于肉兔肠道发挥正常功能,肉兔空肠蔗糖酶和盲肠纤维素酶活性随饲料 NFC/NDF(1.0~1.6)的升高而降低。晁洪雨等^[21]研究表明,肉兔盲肠纤维素酶活性随饲料 ADF 水平的提高而提高;杨冬梅等^[22]研究发现,饲料添加 20%黑麦草可以显著提高新西兰肉兔盲肠纤维素酶活性;崔文典^[23]研究发现,幼兔小肠中 α -淀粉酶、胰蛋白酶、糜蛋白酶的活性随饲料粗纤维水平(10%~14%)的提高而降低。本试验结果与上述试验结果相似,这是由于饲料纤维可以被盲肠微生物分解成挥发性脂肪酸(VFA),VFA 可作为纤维分解菌的能量来源,增加盲肠内纤维分解菌的数量和活性,导致纤维素酶活性相对提高^[13]。

3.4 饲料不同 NFC/NDF 对肉兔肠道发育的影响

肠壁肌肉组织与黏膜下层的疏松结缔组织可以增加肠道的韧性与弹性,利于肠道蠕动的正常进行^[24];肠道黏膜厚度反映肠道发育状况,黏膜越厚,肠道发育越完善,消化能力越强;小肠绒毛高度/隐窝深度在一定程度上也能够反映肠道上皮组织发育程度和小肠消化吸收的能力,绒毛高度/隐窝深度越大说明肠道发育越好,肠道与食糜的接触面积就越大,消化吸收效率就越高^[25]。饲料不同 NFC/NDF 对肉兔肠道形态发育有一定影响。在本试验中,T2 和 T3 组的空肠绒毛高度/隐窝深度极显著高于 T1、T4 和 T5 组;T2 组盲肠黏膜厚度最高,极显著高于 T1 和 T5 组,显著高于 T4 组。有研究发现,饲料中添加苜蓿草粉可以有效改善肠道发育状况,增加肠断长度,提高肠绒毛高度,改善肠道黏膜结构^[26-27];杨莎^[25]研究发现,与饲喂 9%粗纤维饲料相比,饲喂 13%粗纤维饲料能显著降低幼兔隐窝深度,增加绒毛高度/隐窝深度。本试验中,随饲料 NFC/NDF 的升高,肉兔盲肠肌层厚度呈降低趋势,原因可能是纤维性饲料具有强吸水性和系水性,可以增强动物饱腹感,促进肠道蠕动,从而刺激消化道内壁增厚,促进消化液和肠道黏液分泌,提高养分表现消化率;肉兔空肠绒毛高度/隐窝深度、盲肠黏膜厚度和肌层厚度均以 T5 组最低,这可能由于饲料粗纤维水平过低,肠道蠕动减弱,导致家兔肠绒毛坏死,崩解成碎片脱落^[28];且饲料粗纤维水平低,可利用的碳水化合物在后肠中相对较多,会导致后肠发酵过度,造成肠道黏膜损伤,肠道功能降低,养分的消化利用能力

下降。

4 结论

① 饲料 NFC/NDF 为 1.0~1.3 时,肉兔表现出良好健康状态和生长性能;饲料 NFC/NDF 为 1.6~1.9 时,肉兔发生严重腹泻,生长受阻。

② 饲料 NFC/NDF 过低(0.7)或过高(1.9)时,肉兔养分表现消化率均较低;饲料 NFC/NDF 为 1.0~1.6 时,随着饲料 NFC/NDF 升高,肉兔粗纤维、NDF、ADF 表现消化率逐渐降低。

③ 饲料 NFC/NDF 为 1.0~1.3 时,肉兔空肠蔗糖酶和盲肠纤维素酶活性高,空肠绒毛、隐窝及盲肠黏膜发育较佳。

④ 综合分析认为,肉兔饲料适宜 NFC/NDF 为 1.0~1.3。

参考文献:

- [1] 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]. *Animal Feed Science and Technology*, 2011, 165(3): 265-277.
- [2] 薛玉华. 薛玉华. 预防家兔腹泻知病因[J]. 农家致富顾问, 2015(1): 24.
XUE Y H. Prevention of rabbit diarrhea[J]. *Nongjia Zhifu Guwen*, 2015(1): 24. (in Chinese)
- [3] 谷子林, 霍贵成, 张玉华, 等. 日粮粗纤维及对家兔的生理功能[J]. *饲料工业*, 2002(11): 16-18.
GU Z L, HUO G C, ZHANG Y H. Dietary crude fiber and its physiological function to rabbits[J]. *Feed Industry*, 2002(11): 16-18. (in Chinese)
- [4] SONG S D, CHEN G J, GUO C H, et al. Effects of exogenous fibrolytic enzyme supplementation to diets with different NFC/NDF ratios on the growth performance, nutrient digestibility and ruminal fermentation in Chinese domesticated black goats[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2018, 236: 170-177
- [5] 禹爱兵, 王留香, 庄涛, 等. 不同 NDF/NFC 日粮对 3~6 月龄后备犊牛生长发育及营养物质消化代谢的影响[J]. *饲料工业*, 2012, 33(24): 44-48.
YU A B, WANG L X, ZHUANG T, et al. Effects of different NDF/NFC diets on the growth and development and digestion and metabolism of nutrients in 3 to 6 month-old calves[J]. *Feed Industry*, 2012, 33(24): 44-48. (in Chinese)

- [6] 李岚捷.不同 NFC/NDF 水平日粮对公犊牛生产性能、瘤胃发育及微生物区系的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2017.
LI L J.Effects of diets with different levels of NFC/NDF on production performance, rumen development and microbial flora of bull calves[D].Master's Thesis.Lanzhou:Gansu Agricultural University,2017. (in Chinese)
- [7] NRC.Nutrient requirements of rabbits[S].2nd ed.Washington,D.C.;National Academy Press,2012.
- [8] 李福昌.家兔营养[M].北京:中国农业出版社,2009:167-170
LI F C.Rabbit nutrition[M].Beijing:China Agriculture Press,2009:167-170. (in Chinese)
- [9] 谷子林,秦应和,任克良.中国养兔学[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)
- [10] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].4版.北京:中国农业大学出版社,2016.
ZHANG L Y.Technology of feed analysis and feed quality test[M].4th ed.Beijing:China Agricultural University Press,2016. (in Chinese)
- [11] 蒋载阳,廖奇,燕富永,等.不同发酵原料对母猪生长性能、养分表观消化率和血清免疫指标的影响[J].饲料博览,2019(1):1-5.
JIANG Z Y,LIAO Q,YAN F Y,et al.Effects of different fermentation materials on sows' growth performance, apparent nutrient digestibility and serum immune indexes[J].Feed Review,2019(1):1-5. (in Chinese)
- [12] 郝颖,李胤豪,刘树林,等.休牧期日粮中 NFC/NDF 对苏尼特羔羊生长发育、血液生化指标和矿物元素含量的影响[J].饲料研究,2020,43(8):1-5.
HAO Y,LI Y H,LIU S L,et al.Effects of NFC/NDF in the diet during rest grazing period on the growth and development, blood biochemical indexes and mineral element contents of Sunite lambs[J].Feed Research,2020,43(8):1-5. (in Chinese)
- [13] 李岚捷,王安思,廉红霞,等.不同 NFC/NDF 水平饲料对肉公犊牛生长性能和屠宰性能的影响[J].中国农业大学学报,2017,22(12):101-109.
LI L J,WANG A S,LIAN H X,et al.Effects of different NFC/NDF levels on the growth performance and slaughter performance of bull calves[J].Journal of China Agricultural University,2017,22(12):101-109. (in Chinese)
- [14] HARMISON B,EASTRIDGE M L,FIRKINS J L.Effect of percentage of dietary forage neutral detergent fiber and source of starch on performance of lactating Jersey cows[J].Journal of Dairy Science,1999,80:905-911.
- [15] JHA R,FOUHSE J M,TIWARI U P,et al.Dietary fiber and intestinal health of monogastric animals[J].Frontiers in Veterinary Science,2019,6:48.
- [16] 周万才.不同纤维、淀粉和蛋白质水平日粮对肉兔生长性能、养分利用率及屠宰性能的影响[J].中国饲料,2018(22):67-71.
ZHOU W C.Effects of diets with different levels of fiber, starch and protein on growth performance, nutrient utilization and slaughter performance of meat rabbits[J].China Feed,2018(22):67-71. (in Chinese)
- [17] 陶志勇.日粮 NDF 水平对生长肉兔生产性能、营养物质利用、免疫及盲肠发酵的影响[D].硕士学位论文.泰安:山东农业大学,2004.
TAO Z Y.Effects of dietary NDF levels on growth performance, nutrient utilization, immunity and cecal fermentation of growing rabbits[D].Master's Thesis.Tai'an: Shandong Agricultural University,2004. (in Chinese)
- [18] BLAS C D, WISEMAN J.Nutrition of the rabbit[M].2nd ed.[s.l.]:CABI,2010.
- [19] CALVERT R, SCHNEEMAN B O, SATCHITHANANDAM S, et al.Dietary fiber and intestinal adaptation: effects on intestinal and pancreatic digestive enzyme activities[J].The American Journal of Clinical Nutrition,1985,41(6):1249-1256.
- [20] GIDENNE T, JEHL N, SEGURA M, et al.Microbial activity in the caecum of the rabbit around weaning: impact of a dietary fibre deficiency and of intake level[J].Animal Feed Science and Technology,2002,99(1/2/3/4):107-118.
- [21] 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(自然科学版),2008(3):355-360.
CHAO H Y,LI F C.Effects of dietary ADF levels on production performance, digestive enzyme activities and cecal fermentation of 2 to 3 months old meat rabbits[J].Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science),2008(3):355-360. (in Chinese)
- [22] 杨冬梅,李双,辛国荣,等.多花黑麦草对新西兰肉兔食物消化率和肠道消化酶活性影响[J].草学,2019(3):69-71,86.

- YANG D M, LI SHUAN, XIN G R, et al. Effects of ryegrass on food digestibility and intestinal digestive enzyme activities in New Zealand rabbits [J]. *Plural Science*, 2019(3): 69–71, 86. (in Chinese)
- [23] 崔文典. 日粮不同蛋白质和粗纤维水平对幼兔血液生化指标、消化酶活性的影响[D]. 硕士学位论文. 保定: 河北农业大学, 2005.
- CUI W D. The effects of different dietary protein and crude fiber levels on blood biochemical indexes and digestive enzyme activities of young rabbits [D]. Master's Thesis. Baoding: Hebei Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- [24] 胡海滨, 刘金桃, 李彦先, 等. 饲料中大豆黄酮对大菱鲆生长、消化酶活力、抗氧化力及肠道结构的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1503–1513.
- HU H B, LIU J T, LI Y X, et al. Effect of daidzein in feed on turbot growth, digestive enzyme activity, antioxidant capacity and intestinal structure [J]. *Journal of Fisheries*, 2014, 38(9): 1503–1513. (in Chinese)
- [25] 杨莎. 日粮粗纤维水平对家兔肠道结构及增重的影响[D]. 硕士学位论文. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- YANG S. Effects of dietary crude fiber level on rabbit intestinal structure and weight gain [D]. Master's Thesis. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2013. (in Chinese)
- [26] 刘伯帅, 王文静, 孙骁, 等. 饲料纤维源对仔猪生长性能、肠道发育及其消化酶活性的影响[J]. *草业学报*, 2018, 27(9): 175–182.
- LIU B S, WANG W J, SUN X, et al. Effects of dietary fiber sources on growth performance, intestinal development and digestive enzyme activities of piglets [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2018, 27(9): 175–182. (in Chinese)
- [27] 孙佳易, 杨桂芹, 郭东新, 等. 饲料纤维源及粗纤维水平对肉兔胃肠道发育及十二指肠组织形态的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2016, 47(3): 291–298.
- SUN J Y, YANG G Q, GUO D X, et al. Effects of dietary fiber source and crude fiber level on development of gastrointestinal tract and duodenal tissue morphology of meat rabbits [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2016, 47(3): 291–298. (in Chinese)
- [28] 任战军, 高玉琪, 王金丽, 等. 日粮 NDF 水平对断奶獭兔血液免疫细胞与肠道特性的影响[J]. *草业学报*, 2016, 25(9): 197–203.
- REN Z J, GAO Y Q, WANG J L, et al. Effects of dietary NDF levels on blood immune cells and intestinal characteristics of weaned otter rabbits [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016, 25(9): 197–203. (in Chinese)

Effects of Dietary Different Non-Fibrous Carbohydrate/Neutral Detergent Fiber on Growth Performance, Nutrient Apparent Digestibilities, Intestinal Digestive Enzyme Activities and Intestinal Development of Meat Rabbits

LIU Tingting¹ XIA Xueru¹ CHANG Xingfa¹ LIU Shudong¹ HAN Shuaijuan¹
LIU Yajuan² CHEN Baojiang^{1,3*}

(1. College of Animal Science and Technology, Hebei Agricultural University, Baoding 071000, China; 2. National Engineering Research Center for Agriculture in Northern Mountainous Areas, Baoding 071000, China; 3. Research Center of Cattle and Sheep Embryo Engineering Technique of Hebei, Baoding 071000, China)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of different dietary non-fibrous carbohydrate/neutral detergent fiber (NFC/NDF) on growth performance, nutrient apparent digestibilities, intestinal digestive enzyme activities and intestinal development of meat rabbits. A total of 135 healthy weaned meat rabbits with average body weight of (1.08±0.07) kg were randomly divided into 5 groups with 27 replicates in each group and 1 rabbit in each replicate. Under the condition of the same other nutrient levels, meat rabbits

were fed experimental diets with NFC/NDF of 0.7 (T1 group), 1.0 (T2 group), 1.3 (T3 group), 1.6 (T4 group) and 1.9 (T5 group) respectively. The growth trial lasted for 28 days, and the digestion and metabolism trial lasted for 7 days. The results showed as follows: 1) the final body weight, average daily gain and average daily feed intake of T1, T2 and T3 groups were significantly higher than those of T5 group ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), the feed to gain ratio of T5 group was significantly higher than that of other groups ($P < 0.05$), and the diarrhea rate of T5 group was significantly higher than that of other groups ($P < 0.01$). 2) The crude protein apparent digestibility of T5 group was significantly lower than that of other groups ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), the ether extract apparent digestibility of T3 group was significantly higher than that of T1 and T5 group ($P < 0.01$), the crude fiber apparent digestibility of T5 group was significantly lower than that of T1 and T2 groups ($P < 0.01$), the neutral detergent fiber apparent digestibility of T2 group was significantly higher than that of T3, T4 and T5 groups ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), the acid detergent fiber apparent digestibility of T1 group was significantly higher than that of T3, T4 and T5 groups ($P < 0.05$ or $P < 0.01$), and the non-fibrous carbohydrate apparent digestibility of T1 and T5 groups was significantly lower than that of T2 and T4 groups ($P < 0.05$). 3) The activities of trypsin and α -amylase in jejunum of T4 group were the highest, and significantly higher than that of T1 group ($P < 0.05$ or $P < 0.01$); the jejunum sucrase activity of T2 group was the highest, and significantly higher than that of T3, T4 and T5 groups ($P < 0.05$); the cecum cellulase activity of T2 group was the highest, and significantly higher than that of T4 and T5 groups ($P < 0.05$). 4) The jejunum crypt depth of T2 group was significantly lower than that of T1 and T5 groups ($P < 0.05$); the jejunum villus height/crypt depth of T2 and T3 group was significantly higher than that of T1, T4 and T5 groups ($P < 0.01$); the cecum mucosal thickness of T2 group was the highest, and significantly higher than that of T1, T4 and T5 groups ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). In conclusion, dietary NFC/NDF at 1.0 to 1.3 is more conducive to improving the nutrient apparent digestibilities and intestinal digestive enzyme activities of weaned meat rabbits, improving intestinal morphology and structure, and promoting the growth and development of weaned meat rabbits. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2021, 33(6):3469-3478]

Key words: non-fibrous carbohydrates; meat rabbits; growth performance; digestibilities; digestive enzyme; intestinal development