

白三叶对肉兔肠黏膜形态、肠道消化酶活性和盲肠发酵的影响

宋中齐¹ 干友民^{1*} 谭剑蓉¹ 李涛¹ 刘焘¹ 杨树晶¹ 杨君辉²

(1. 四川农业大学动物科技学院, 雅安 625014; 2. 西藏自治区畜牧总站, 拉萨 850000)

摘要: 本试验旨在研究饲料中添加不同比例白三叶对肉兔肠黏膜形态、肠道消化酶活性和盲肠发酵的影响。试验选取体重相近的(35±2)日龄新西兰兔200只,随机分成5组,每组4个重复,每个重复10只。对照组饲喂不添加白三叶的基础饲料,试验组分别饲喂添加10%、20%、30%、40%白三叶的试验饲料,试验期35 d。结果表明:1)白三叶能够显著影响空肠的绒毛高度、隐窝深度、黏膜厚度、绒毛高度/隐窝深度以及盲肠隐窝深度($P < 0.05$),以20%白三叶组的空肠绒毛长度、黏膜厚度和绒毛高度/隐窝深度最大,但对盲肠黏膜厚度的影响不显著($P > 0.05$)。2)白三叶能够显著影响淀粉酶和纤维素酶的活性($P < 0.05$),以40%白三叶组的淀粉酶活性和纤维素酶活性最高,但是对脂肪酶活性的影响不显著($P > 0.05$)。3)随着白三叶添加量的增加,盲肠pH、乙酸比例和乙酸/(丙酸+丁酸)显著上升($P < 0.05$),丙酸比例和丁酸比例则显著下降($P < 0.05$),白三叶对盲肠氨态氮、总挥发性脂肪酸、盲肠重和盲肠比的影响不显著($P > 0.05$)。由此可见,白三叶能够影响肉兔的肠黏膜形态、主要消化酶的活性以及盲肠发酵。

关键词: 白三叶;肉兔;肠黏膜形态;消化酶;盲肠发酵

中图分类号:S829.1

文献标识码:A

文章编号:1006-267X(2013)08-1878-08

近年来,随着社会对畜产品需求观念的不断改变,发展生态型无公害畜牧业将成为必然趋势。白三叶(*Trifolium repens* L.)是世界上分布最广的一种优质豆科牧草,营养价值丰富,适宜饲喂各类家畜^[1]。肠道是家畜进行养分消化吸收的主要场所,而肉兔的盲肠与反刍动物的瘤胃比较相似,它在营养物质利用过程中起着十分重要的作用。在庞大的肉兔盲肠内,微生物对食物残渣进行消化,产生挥发性脂肪酸(VFA),被肠壁所吸收,同时,盲肠为微生物的活动提供适宜条件。粗纤维在肉兔饲养中作为能量的部分来源意义并不是很大,它的主要功能是构成合理的饲料结构,维持肉兔消化道正常的生理功能,提供盲肠微生物的主要生长底物。据报道,纤维能够在肠黏膜上起着一

种鳞片样的特殊保护作用,维持肠黏膜的健康状态,从而避免了有害细菌在肠道中的增殖。有关研究表明,不同的纤维来源能够对肉兔的肠黏膜形态、主要消化酶和盲肠发酵产生显著影响,而对于肉兔饲料中以白三叶为主要纤维源对这方面影响的研究则鲜见报道^[2-5]。本试验旨在研究随着饲料中白三叶添加量的增加而纤维源逐渐改变对肉兔肠黏膜形态、消化酶活性和盲肠发酵的影响,为其在实际生产中的合理应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用白三叶由四川省雅安市宝兴县蜂桶寨乡种植,盛花期刈割,经自然干燥后加工成草

收稿日期:2013-02-18

基金项目:国家科技支撑计划项目(2011BAD17B03)

作者简介:宋中齐(1986—),男,河南周口人,硕士研究生,研究方向为草地资源与管理。E-mail: songzhongqi126@126.com

*通讯作者:干友民,教授,博士生导师,E-mail: ganyoumin1954@163.com

粉。白三叶草粉(风干样)的营养成分为:粗蛋白 19.63%,粗脂肪 2.01%,粗纤维 24.71%,中性洗涤纤维 46.06%,酸性洗涤纤维 41.40%,钙 0.15%,总磷 0.22%,赖氨酸 0.79%,含硫氨基酸 0.33%。

1.2 试验设计

试验选用(35±2)日龄、体重相近、健康状况良好的新西兰兔 200 只。采用单因子完全随机设

计,将 200 只新西兰兔随机分成 5 组,每组 4 个重复,每个重复 10 只,公母各占 1/2。对照组饲喂不添加白三叶的基础饲料,试验组(I~IV 组)分别饲喂添加 10%、20%、30%、40% 白三叶草粉的试验饲料。各饲料均为参照 NRC(1977) 营养需要配制的颗粒配合饲料,其组成及营养水平见表 1,饲料均制成直径为 4 mm、长 10~15 mm 的颗粒饲料。

表 1 饲料组成及营养水平(风干基础)

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

%

项目 Items	组别 Groups				
	对照 Control	I	II	III	IV
原料 Ingredients					
白三叶草粉 White clover meal		10.00	20.00	30.00	40.00
玉米 Corn	28.00	27.00	27.00	28.00	28.00
小麦麸 Wheat bran	25.00	25.00	22.00	17.00	13.00
豆粕 Soybean meal	23.00	19.00	16.00	13.00	10.00
统糠 Chaff	20.00	15.00	11.00	8.00	5.00
豆油 Soybean oil				0.20	0.50
磷酸氢钙 CaHPO ₄	1.50	1.50	1.50	1.30	1.00
石粉 Limestone	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
预混料 Premix ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels ²⁾					
消化能 DE/(MJ/kg)	10.54	10.55	10.53	10.52	10.52
粗蛋白质 CP	16.32	16.33	16.37	16.35	16.36
粗脂肪 EE	3.86	3.84	3.77	3.69	3.60
粗纤维 CF	13.36	13.13	13.26	13.73	14.32
钙 Ca	0.92	0.91	0.90	0.85	0.77
总磷 TP	0.74	0.73	0.70	0.62	0.53
赖氨酸 Lys	0.84	0.80	0.78	0.75	0.72
含硫氨基酸 S-AA	0.37	0.36	0.36	0.35	0.34
中性洗涤纤维 NDF	23.63	25.36	26.64	27.71	29.07
酸性洗涤纤维 ADF	17.96	19.56	20.96	22.32	23.99

¹⁾ 预混料为每千克饲料提供 The premix provided the following per kg of diets: VA 8 000 IU, VD 31 000 IU, VE 50 mg, VK 2 mg, 赖氨酸 Lys 1.5 g, 蛋氨酸 Met 1.5 g, Cu 50 mg, Zn 50 mg, Mn 30 mg, Fe 100 mg, I 0.5 mg, Mg 150 mg。

²⁾ 消化能为计算值,其他营养水平均为实测值。DE was a calculated value, while other nutrient levels were measured values.

1.3 饲养管理

试验于 2012 年 6 月 1 日至 2012 年 7 月 12 日在四川农业大学反刍动物实验室进行。预试期 7 d, 正试期 35 d, 预试期内进行分组、驱虫,并按正常免疫程序进行免疫接种,各组管理和卫生条件

相同。每日 08:00、12:00、18:00 分 3 次人工喂料,自由采食、饮水。

1.4 指标测定

1.4.1 肠黏膜形态的测定

试验结束时,每组随机选择 10 只试验肉兔进

行屠宰,分别剪取空肠中段、盲肠中段 5 cm 肠组织,经生理盐水冲洗后迅速放入预先配制好的 10% 中性福尔马林固定液中。将置于福尔马林固定液中的空肠和盲肠组织经脱水、浸蜡、包埋、切片等处理,再经苏木精-伊红(HE)染色,在光学显微镜下进行观察,在肠组织切片上选 8 个典型视野(绒毛完整、走向平直),测定空肠绒毛长度、隐窝深度、黏膜厚度和盲肠隐窝深度、黏膜厚度。

1.4.2 盲肠发酵的测定

屠宰结束后立即用 pH-90 型直插式 pH 计测定盲肠内容物的 pH,取出盲肠内容物,快速放入液氮内 30 min 后取出放入 -30 °C 冰箱中保存,用于测定氨态氮(NH₃-N)浓度、VFA 含量和纤维素酶活性。NH₃-N 浓度采用 UV-9100 型紫外分光光度计比色法测定,VFA 含量采用 Agilent-6890 气相色谱仪测定,并测定盲肠的重量。

盲肠比重(%)=(盲肠重/活体重)×100。

1.4.3 消化酶活性的测定

屠宰结束后,迅速打开腹腔取十二指肠,将食糜挤入样品袋内,快速放入液氮内 30 min 后取出放入 -30 °C 冰箱中冷冻备用。十二指肠中的淀粉酶和脂肪酶活性采用南京建成生物工程研究所提

供的试剂盒测定,盲肠的纤维素酶活性采用羧甲基纤维素钠(CMC-Na)糖化力法测定。

1.5 试验数据的统计与分析

所有数据均以平均值±标准差表示,采用 SAS 9.1.3 软件进行方差分析和 Duncan 氏法多重比较。

2 结果

2.1 白三叶对肉兔肠黏膜形态的影响

由表 2 可知,I、III 组的盲肠隐窝深度显著高于对照组($P < 0.05$),II、IV 组与对照组差异不显著($P > 0.05$);随着饲料中白三叶添加量的增加,盲肠黏膜厚度呈先增加后降低的趋势,但各组之间差异不显著($P > 0.05$);II 组的空肠绒毛高度、黏膜厚度和绒毛高度/隐窝深度(V/C)最大,分别为 885.40 μm、1 057.55 μm 和 4.55,对照组的隐窝深度最小,为 176.36 μm。经回归分析,空肠绒毛高度(Y_1)与白三叶添加量(X)之间的回归方程为: $Y_1 = 711.9454 + 1275.3715X - 2874.4287X^2$ ($R^2 = 0.6070$)。

表 2 白三叶对肉兔肠黏膜形态的影响

Table 2 Effects of white clover on intestinal mucosal morphology of meat rabbits

项目 Items	组别 Groups				
	对照 Control	I	II	III	IV
盲肠 Cecum					
隐窝深度 Crypt depth/μm	136.66 ± 29.96 ^b	186.06 ± 21.75 ^a	157.76 ± 13.70 ^{ab}	183.78 ± 39.67 ^a	173.15 ± 25.84 ^{ab}
黏膜厚度 Mucosal thickness/μm	226.00 ± 34.25	237.46 ± 71.01	240.74 ± 32.32	249.53 ± 23.78	215.50 ± 31.43
空肠 Jejunum					
绒毛高度 Villus height/μm	748.32 ± 17.18 ^{ab}	726.87 ± 29.18 ^b	885.40 ± 21.03 ^a	875.25 ± 29.15 ^a	736.93 ± 32.58 ^{ab}
隐窝深度 Crypt depth/μm	176.36 ± 18.74 ^b	196.30 ± 13.55 ^{ab}	198.05 ± 51.87 ^{ab}	217.38 ± 23.46 ^a	209.24 ± 35.02 ^a
黏膜厚度 Mucosal thickness/μm	942.85 ± 26.22 ^{ABab}	824.73 ± 30.22 ^{Bb1}	1057.55 ± 17.30 ^{Aa}	787.38 ± 18.67 ^{Bb}	870.18 ± 29.29 ^{ABb}
绒毛高度/隐窝深度 V/C	4.24 ± 0.10 ^a	4.54 ± 0.96 ^{ab}	4.55 ± 0.84 ^{ab}	4.03 ± 0.03 ^c	4.14 ± 0.99 ^{bc}

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 白三叶对肉兔十二指肠淀粉酶和脂肪酶活性的影响

由表 3 可知,IV 组的淀粉酶活性显著高于对照组 ($P < 0.05$),极显著高于其他试验组 ($P < 0.01$)。经回归分析,淀粉酶活性 (Y_2) 与白三叶添

加量 (X) 之间的回归方程为: $Y_2 = 1/(0.0377 + 0.0788X - 0.2429X^2)$ ($R^2 = 0.9974$);白三叶对脂肪酶活性影响不显著 ($P > 0.05$),但随着白三叶添加量的增加,各试验组的脂肪酶活性有降低的趋势。

表 3 白三叶对肉兔十二指肠淀粉酶和脂肪酶活性的影响

Table 3 Effects of white clover on activities of amylase and lipase in duodenum of meat rabbits

U/g

项目 Items	组别 Groups				
	对照 Control	I	II	III	IV
淀粉酶 Amylase	26.49 ± 3.12 ^{ABCb}	23.02 ± 3.68 ^{Cb}	23.14 ± 2.59 ^{Cb}	25.05 ± 5.11 ^{BCb}	32.92 ± 2.87 ^{Aa}
脂肪酶 Lipase	57.15 ± 11.85	94.41 ± 38.68	87.16 ± 47.45	86.55 ± 17.94	84.39 ± 11.62

2.3 白三叶对肉兔盲肠纤维素酶活性的影响

由表 4 可知,随着白三叶添加量的增加,各试验组的纤维素酶活性显著升高,其中 I、II 组的纤维素酶活性极显著低于对照组 ($P < 0.01$),IV 组的纤维素酶活性极显著高于对照组 ($P < 0.01$),III 组

与对照组差异不显著 ($P > 0.05$),经回归分析,纤维素酶活性 (Y_3) 与白三叶添加量 (X) 之间的回归方程为: $Y_3 = 1/(0.0137 + 0.0160X - 0.0516X^2)$ ($R^2 = 0.9780$)。

表 4 白三叶对肉兔盲肠纤维素酶活性的影响

Table 4 Effects of white clover on caecal cellulase activity of meat rabbits

U/g

项目 Item	组别 Groups				
	对照 Control	I	II	III	IV
纤维素酶 Cellulase	73.10 ± 1.10 ^{Bb}	65.79 ± 1.20 ^{Cd}	68.35 ± 1.35 ^{Cc}	71.64 ± 1.20 ^{Bb}	83.82 ± 1.02 ^{Aa}

2.4 白三叶对肉兔盲肠发酵的影响

由表 5 可知,随着白三叶添加量的增加,盲肠 pH 逐渐上升,其中 IV 组的盲肠 pH 极显著高于对照组 ($P < 0.01$),但与其他试验组差异不显著 ($P > 0.05$);白三叶对盲肠 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度、总挥发性脂肪酸 (TVFA) 含量以及盲肠重和盲肠比重的影响不显著 ($P > 0.05$),但随着添加量的增加,TVFA 含量、盲肠重和盲肠比重呈上升趋势;乙酸比例和乙酸/(丙酸+丁酸)随着白三叶添加量的增加而升高,其中 II、IV 组显著高于对照组 ($P < 0.05$),IV 组极显著高于对照组 ($P < 0.01$),丙酸比例和丁酸比例随着白三叶添加量的增加而下降,IV、IV 组丙酸比例极显著高于对照组 ($P < 0.01$),IV 组丁酸比例极显著高于对照组 ($P < 0.01$),经回归分析,乙酸/(丙酸+丁酸) (Y_4) 与白三叶添加量 (X) 之间的回归方程为: $Y_4 = 1.6840 + 4.4200X$ ($R^2 = 0.9873$)。

3 讨论

3.1 白三叶对肉兔肠黏膜形态的影响

小肠是肉兔养分消化吸收的主要场所,肠黏膜形态和功能的完整性是保证营养物质充分消化吸收的基础。小肠绒毛高度的增加有助于提高动物机体的消化吸收能力,同时肠绒毛强力、有规律的摆动也可以防止有害菌在肠道的定植,稳定微生物群的平衡^[6]。在正常情况下,隐窝内未分化细胞是绒毛上皮细胞和肠腺的再生来源,由于绒毛顶端上皮细胞不断脱落,隐窝细胞不断增生,从而使肠道黏膜上皮细胞的数量始终处于一个动态的变化过程中^[7]。因此,小肠绒毛的高度和隐窝的深度可以反映肠道上皮组织的发育程度及其消化吸收能力的大小。据报道,饲料中纤维的来源不同,能够对肠绒毛高度、隐窝深度、黏膜厚度及 V/C 产生影响^[8]。Chiou 等^[9]研究表明,不同纤维源能够显著影响兔的肠绒毛高度和肌肉层厚度。本试验结果表明,饲料中添加不同比例的白三叶

草粉均不同程度地影响了肉兔空肠的绒毛高度、隐窝深度、黏膜厚度、V/C 以及盲肠隐窝深度,其中以 20% 白三叶组的空肠绒毛长度、黏膜厚度和 V/C 最大,但对盲肠黏膜厚度影响不显著。此外,

添加白三叶组的肉兔盲肠和空肠的隐窝深度均不同程度大于对照组,推测可能由于白三叶是豆科植物,含有生长抑制因子,当家畜采食一定量的白三叶时,会对肠黏膜的形态产生一定的影响。

表 5 白三叶对肉兔盲肠发酵的影响

Table 5 Effects of white clover on caecal fermentation of meat rabbits

项目 Items	组别 Groups				
	对照 Control	I	II	III	IV
pH	6.46 ± 0.52 ^{Bb}	6.71 ± 0.30 ^{ABab}	6.81 ± 0.29 ^{ABa}	6.83 ± 0.35 ^{ABa}	6.99 ± 0.18 ^{Aa}
氨态氮浓度 NH ₃ -N concentration/ (mmol/g)	2.15 ± 0.03	2.15 ± 0.01	2.14 ± 0.02	2.19 ± 0.07	2.18 ± 0.02
总挥发性脂肪酸 TVFA/(mg/mL)	41.23 ± 0.15	41.21 ± 0.13	41.23 ± 0.09	41.24 ± 0.11	41.28 ± 0.14
乙酸比例 Acetic acid ratio/%	62.12 ± 2.46 ^{Ab}	64.13 ± 2.13 ^{ABb}	69.14 ± 1.98 ^{ABa}	72.07 ± 2.87 ^{ABa}	75.60 ± 2.18 ^{Ba}
丙酸比例 Propionic acid ratio/%	11.73 ± 0.96 ^{Aa}	9.36 ± 1.11 ^{ABab}	8.09 ± 1.14 ^{ABb}	6.88 ± 1.69 ^{Bb}	6.47 ± 1.24 ^{Bb}
丁酸比例 Butyric acid ratio/%	23.69 ± 2.22 ^{Aa}	21.23 ± 1.54 ^{ABab}	19.39 ± 1.21 ^{ABab}	17.81 ± 1.75 ^{ABab}	14.81 ± 1.73 ^{Bbc}
乙酸/(丙酸 + 丁酸) Acetic acid/(propionic acid + butyric acid)	1.75 ± 0.07 ^{Ad}	2.10 ± 0.13 ^{AcD}	2.52 ± 0.23 ^{ABbc}	2.92 ± 0.19 ^{ABab}	3.55 ± 0.22 ^{Ba}
盲肠重 Caecum weight/g	23.74 ± 3.67	23.90 ± 3.81	24.49 ± 3.32	25.44 ± 7.67	26.74 ± 8.49
盲肠比重 Caecum rate/%	1.39 ± 0.04	1.39 ± 0.03	1.42 ± 0.07	1.48 ± 0.02	1.51 ± 0.06

3.2 白三叶对肉兔十二指肠淀粉酶和脂肪酶活性的影响

消化酶是生物体内催化各种生化反应的一类特殊蛋白质,主要作用是对生物体所摄取的食物进行消化和分解,为生物体提供生长和发育所需的各种营养物质。肠道淀粉酶是消化碳水化合物的主要酶之一,当家畜进食较多的碳水化合物时,淀粉酶的活性也相应增强^[10-11]。Low^[12]研究指出,饲料中不同纤维源对于消化酶的活性和产量都会产生不同的影响。Richard 等^[13]研究了小白鼠饲料中分别以瓜尔胶、苜蓿草粉、纤维素和果胶为主要纤维源对消化酶活性的影响,结果发现瓜尔胶显著提高了胰淀粉酶、脂肪酶的活性,降低了蛋白酶的活性,苜蓿草粉极显著提高了胰脂肪酶的活性和胰蛋白酶的活性,而其他纤维源却没有这方面的作用。本试验结果表明,白三叶能够影

响淀粉酶活性,其中 40% 白三叶组的淀粉酶活性显著高于其他各组,而其他低水平的白三叶添加量未对淀粉酶活性产生影响,这可能说明当饲料中添加少量的白三叶时对淀粉酶活性影响不大,只有添加较大量时才能够提高淀粉酶活性,白三叶对脂肪酶的活性则影响不显著。

3.3 白三叶对肉兔盲肠纤维素酶活性的影响

饲料纤维在肉兔胃和小肠内基本不分解,进入盲肠之后在盲肠微生物的作用下,被肉兔所利用。大量试验证明,肉兔饲料的纤维水平及来源都能影响盲肠内纤维素酶的活性^[14-16]。Gidenne 等^[17]研究表明,随着饲料中纤维水平的增加盲肠纤维素酶的活性也显著增加。本试验结果显示,随着白三叶添加量的增加,盲肠内纤维素酶的活性也显著增加。笔者认为,随着饲料中白三叶添加量的增加,饲料中纤维水平也相应提高,故而引

起盲肠内纤维素酶的活性的增加。

3.4 白三叶对肉兔盲肠发酵的影响

肉兔的盲肠极为发达,它对于营养物质的利用起着极其重要的作用。盲肠内微生物的生长繁殖需要适宜的酸度环境,而这种酸度环境是由食糜在盲肠内发酵而积聚的游离氨基酸、挥发性和不挥发性脂肪酸等酸性物质来维持^[18]。因此,pH不仅可以评价盲肠的发酵程度及发酵环境是否适宜,而且还与家兔腹泻率呈负相关。de Blas^[19]、Gidenne等^[17]和 Nicodemus等^[20]等研究表明,肉兔盲肠的pH随着饲料中纤维水平的提高而增加。本试验结果显示,随着白三叶添加量的增加,盲肠的pH逐渐增加,此结果与前人研究一致。NH₃-N是饲料蛋白质和内源尿素的分解产物,同时又是盲肠内微生物合成菌体蛋白的原料,肉兔通过采食软粪吸收利用。本试验中,NH₃-N浓度差异不显著,但是添加白三叶的3个试验组的NH₃-N浓度均大于对照组,其原因可能是白三叶中粗蛋白质含量较高,随着白三叶添加量的增加,使饲料蛋白质和内源尿素在盲肠内的分解产物增加,故使NH₃-N浓度增加。

VFA是碳水化合物经盲肠微生物发酵后的主要产物,是评价盲肠发酵程度和盲肠内微生物活性的重要指标。VFA能够在肉兔后肠被迅速吸收,提供能量,丁酸是后肠能量的直接来源,而乙酸在肝脏中代谢生成脂肪和胆固醇,VFA还可以刺激结肠黏膜的生长,提高营养物质的消化利用率。Belenguer等^[21]和Gidenne等^[17]研究表明,肉兔盲肠内VFA的含量随饲料纤维水平的提高而增加,但差异不显著,乙酸比例显著提高、丁酸比例显著降低。本试验结果表明,随着白三叶添加量的增加,TVFA含量呈增加趋势,但是乙酸比例提高、丁酸比例降低。肉兔在生长阶段时,由于植物性饲料对大肠具有强烈的刺激作用,特别是盲肠的容积和重量显著加大。本试验的结果表明,随着白三叶添加量的增加,盲肠重和盲肠比重具有升高趋势。此外,随着白三叶添加量的增加,肉兔饲料中的蛋白质原料等其他原料亦有不同程度的改变,也有可能对肉兔的肠黏膜形态、主要消化酶的活性以及盲肠发酵产生一定的影响。

4 结 论

饲料中添加不同比例白三叶均能够影响肉兔的空肠绒毛高度、隐窝深度、黏膜厚度、V/C以及肠道淀粉酶和纤维素酶活性,盲肠隐窝深度,盲肠pH、乙酸比例、乙酸/(丙酸+丁酸)、丙酸比例和丁酸比例。

参考文献:

- [1] 胡迪先,封朝壁,朱邦长.白三叶草营养动态的研究[J].草业学报,1994,3(2):44-50.
- [2] ALVAREZ J L, MARGUENDA I, GARCIA-REBOLLAR P, et al. Effects of type and level of fibre on digestive physiology and performance in reproducing and growing rabbits[J]. World Rabbit Science, 2007, 15:9-17.
- [3] 陶志勇,李福昌.日粮中性洗涤纤维水平对断奶至2月龄肉兔生产性能、消化代谢和盲肠发酵的影响[J].动物营养学报,2005,17(4):56-61.
- [4] GIDENNE T. Effect of fibre level, particle size and adaptation period on digestibility and rate of passage as measured at the ileum and in the faeces in the adult rabbit[J]. British Journal of Nutrition, 1992, 67:133-146.
- [5] 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(5):604-607.
- [6] CASPARY W F. Physiology and pathophysiology of intestinal absorption[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 1992, 55(1):229-308.
- [7] 韩正康.家畜营养生理学[M].北京:农业出版社,1991:16-17.
- [8] DE BLAS C, GARCIA J, CARABANO R. Role of fibre in rabbit diets. A review[J]. Annales De Zootechnie, 1999, 48:3-13.
- [9] CHIOU P W S, YU B, CHANG L. Effect of different components of dietary fiber on the intestinal morphology of domestic rabbits[J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology, 1944, 108(4):629-638.
- [10] MAKKINK C A, BERNTSESEN P J, KAMP B M, et al. Gastric protein breakdown and pancreatic enzyme activities in response to two different dietary protein sources in newly weaned pig[J]. Journal of Animal

- Science, 1994, 72: 2843 - 2850.
- [11] CORRING T, CHAYVIALE J A. Diet composition and the plasma levels of some peptide regulating pancreatic secretion in the pig[J]. *Reproduction Nutrition Development*, 1987, 27: 967 - 977.
- [12] LOW A G. The role of dietary fiber in digestion, absorption and metabolism[A]//*Proceedings of the 3rd international seminar on digestive physiology in the pig*. Copenhagen: [s. n.], 1985: 157 - 179.
- [13] RICHARD M D, BARBARA O. Dietary fiber and intestinal adaptation; effects on intestinal and pancreatic digestive enzyme activities[J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 1985, 41: 1249 - 1256.
- [14] VAREL V H. Influence of dietary fiber on the performance and cellulase activity of growing finishing swine[J]. *Journal of Animal Science*, 1984, 59(8): 388 - 393.
- [15] VAREL V H. Enumeration and activity of cellulolytic bacteria from gestation swine fed various levels of dietary fiber[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1985, 49(4): 858 - 862.
- [16] VAREL V H. Activity of fiber degrading microorganisms in the pig large intestine[J]. *Journal of Animal Science*, 1987, 65(8): 488 - 496.
- [17] GIDENNE T, JEHL N M, SEGURA M, et al. Microbial activity in the caecum of the rabbit around weaning; impact of a dietary fiber deficiency and of intake level[J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2002, 99: 107 - 118.
- [18] 祝素珍, 李福昌. 2~3月龄肉兔日粮消化能水平对消化代谢和产肉性能影响的研究[J]. *动物营养学报*, 2004, 16(4): 51 - 57.
- [19] DE BIAS J C. Fiber and starch levels in fattening rabbit diets[J]. *Journal of Animal Science*, 1986, 63: 18 - 97.
- [20] NICODEMUS N, GARCIA J, BIAS J C. Effect of inclusion of sunflower hulls in the diet on performance, disaccharidase activity in the small intestine and caecal traits of growing rabbits[J]. *Journal of Animal Science*, 2002, 75: 237 - 243.
- [21] BELEAGUER 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]. Valencia: [s. n.], 2000: 95 - 100.

Effects of White Clover on Intestinal Mucosal Morphology, Intestinal Digestive Enzyme Activity and Caecum Fermentation of Meat Rabbits

SONG Zhongqi¹ GAN Youmin^{1*} TAN Jianrong¹ LI Tao¹ LIU Tao¹
YANG Shujing¹ YANG Junhui²

(1. College of Animal Science and Technology, Sichuan Agriculture University, Ya'an 625014, China;

2. Tibet Animal Science Unit, Lasa 850000, China)

Abstract: This experiment was conducted to evaluate the effects of dietary white clover on intestinal mucosal morphology, intestinal digestive enzyme activity and caecum fermentation of meat rabbits. A total of 200 New Zealand rabbits weaned at (35 ± 2) days of age with the similar body weight were randomly allotted into 5 groups with 4 replicates per group and 10 rabbits per replicate. The rabbits in control group were fed a basal diet without white clover, while the others in experimental groups were fed the basal diets supplemented with 10%, 20%, 30% and 40% white clover, respectively. The experiment lasted for 35 days. The results showed as follows: 1) white clover had significant influences on the villus height, crypt depth, mucosal thickness and villus height/crypt depth of jejunum and crypt depth of caecum ($P < 0.05$), and the villus height, mucosal thickness and villus height/crypt depth of jejunum got the maximum in 20% white clover group. White clover had no significant influence on the mucosal thickness of caecum ($P > 0.05$). 2) White clover had significant influences on the amylase and cellulase activities ($P < 0.05$), and the amylase and cellulase activities got the maximum in 40% white clover group. White clover had no significant influence on the lipase activity ($P > 0.05$). 3) The pH of caecum, acetic acid ratio and acetic acid/(propionic acid + butyric acid) were significantly raised when dietary white clover increased ($P < 0.05$), but the propionic acid ratio and butyric acid ratio were significantly dropped when dietary white clover increased ($P < 0.05$). White clover had no significant influences on the contents of ammonia nitrogen and total volatile fatty acid, caecum weight and caecum rate ($P > 0.05$). The results indicate that white clover has significant influences on intestinal mucosal morphology, main digestive enzyme activity and caecum fermentation. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(8):1878-1885]

Key words: white clover; meat rabbit; intestinal mucosal morphology; digestive enzyme; caecum fermentation