动物营养学报 2018,30(7):2791-2798
Chinese Journal of Animal Nutrition

doi:10.3969/j.issn.1006-267x.2018.07.040

大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉对生长肉兔血清生化指标、肠道免疫和抗氧化功能的影响

田　刚[1,2]　鲁院院[1,2*]　余　冰[1,2]　向素梅[1,2]　曾绘锦[1,2]　蔡景义[1,2]　周树峰[3]

(1.四川农业大学动物营养研究所,成都 611130;2.动物抗病营养教育部重点实验室,成都 611130;3.四川农业大学玉米研究所,成都 611130)

摘　要: 本试验旨在研究不同比例的大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔血清生化指标、脏器相对重及肠道免疫和抗氧化功能的影响。100 只体重相近的 35 日龄断奶新西兰白兔随机等分为 5 组(每组 10 个重复,每个重复 2 只),分别饲喂 5 种等能、等氮、等纤维饲粮,包括 1 种对照(C)和 4 种测试饲粮(S25、S50、S75 和 S100,大黑山薏苡草粉分别替代对照饲粮中 25%、50%、75%和 100%苜蓿草粉)。试验期 29 d。于第 15 天和第 29 天从每组选 4 只肉兔采血和屠宰采集组织器官样品。结果显示:1)除第 15 天的血清尿素氮含量组间有显著差异(P<0.05)外,其余所测血清生化指标各组间差异不显著(P>0.05);2)所测脏器相对重各组间均无显著差异(P>0.05);3)十二指肠、空肠和回肠黏膜中的超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)活性及分泌型免疫球蛋白 A(SIgA)和黏蛋白 2(MUC2)含量各组间均无显著差异(P>0.05),但总体上测试组 SOD 和 CAT 活性在数值上高于 C 组,尤其是 S50 组。由此可见,大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔的生理机能无负面影响,且略有提高肠道抗氧化功能的作用,尤其是 50%的替代比例。

关键词: 大黑山薏苡草粉;血清生化;肠道免疫;肠道抗氧化;生长肉兔

中图分类号:S816　　**文献标识码:**A　　**文章编号:**1006-267X(2018)07-2791-08

纤维对家兔很重要,且主要由苜蓿草粉和农产品加工副产物供给[1]。然而,我国苜蓿量少、价高,极大地增加了养兔成本[2]。因此,发掘新型饲草资源并系统评价其饲用价值对促进我国养兔业健康发展具有重要意义。薏苡是一种有悠久种植历史的食药兼用型草本植物。因生物量大、草质柔嫩、适口性好等优点,国内外也试图将其作为饲草资源开发利用[3]。研究表明,薏苡(籽实、叶、茎和根)中的养分及活性成分(如薏苡素、薏苡仁酯、多酚类、黄酮类和多糖等)含量丰富[3-4];青刈薏苡、薏苡籽实及其副产物饲喂动物(如家禽、猪、奶牛、肉兔)可获得良好的生产性能[3,5-6];去壳薏苡[7]及薏苡仁[8-10]和麸皮提取物[11]可降大鼠或仓鼠血脂,去壳薏苡[7]及薏苡籽实[12]和茎提取物[13]可降大鼠或小鼠血糖;薏苡仁[7,14]、茎[15-16]和叶提取物[15,17]对小鼠肝脏、肾脏、脾脏或胸腺等器官有保护作用;此外,薏苡仁[8-10]、种皮[18]、壳[19]、茎[20-23]和叶提取物[24-27]在体内(大鼠或仓鼠)或体外均有抗氧化作用,薏苡仁[28-30]、种皮[18,31]、麸皮[32]和壳提取物[33]在体内(小鼠)或体外有提高免疫力的功效。然而,目前尚未见薏苡草粉对家兔生理功能影响的报道。本课题组前期的研究结果表明,对于生长肉兔,大黑山薏苡草粉营养价值较高[34],且从生产性能、健康状况、养分表观消化

收稿日期:2017-12-09

基金项目:四川省科技支撑项目(2016NZ0002);四川农业大学“双支计划”项目

作者简介:田　刚(1974—),男,重庆黔江人,副教授,博士,主要从事家兔营养与饲料高效利用研究。E-mail: tgang2008@126.com

* 同等贡献作者

率和屠宰性能上看,其可完全替代生长肉兔饲粮中的苜蓿草粉[35]。因此,本试验从血清生化指标、器官功能状态及肠道免疫和抗氧化功能方面,进一步考察大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉是否对生长肉兔有不利影响,旨在为全面评价大黑山薏苡草粉作为苜蓿草粉的替代品积累资料,缓解因苜蓿短缺给养兔业带来的压力。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验采用单因素试验设计。100只35日龄、体重相近的断奶纯种新西兰白兔随机分为5组(每组10个重复,每个重复2只),分别饲喂5种等能[消化能(DE)11.28 MJ/kg]、等氮[粗蛋白质(CP)175.0 g/kg]、等纤维[粗纤维(CF)171.4 g/kg]的颗粒饲粮,包括1种对照饲粮(C)及大黑山薏苡草粉分别替代对照饲粮中25%、50%、75%和100%苜蓿草粉的4种测试饲粮(S25、S50、S75和S100),试验饲粮组成及营养水平见表1。试验期29 d。

表1 试验饲粮组成及营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups				
	C	S25	S50	S75	S100
原料 Ingredients					
大黑山薏苡草粉 *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal		4.00	8.00	12.00	16.00
苜蓿草粉 Alfalfa meal	16.00	12.00	8.00	4.00	
玉米 Corn	21.41	21.22	21.07	21.12	22.43
大豆粕 Soybean meal	15.34	15.69	16.21	16.80	17.66
小麦麸 Wheat bran	22.32	22.29	21.78	20.93	18.47
统糠 Rice bran and hull	9.07	8.87	8.74	8.63	8.57
花生壳 Peanut hull	8.96	9.01	9.08	9.19	9.49
大豆油 Soybean oil	3.01	3.15	3.37	3.58	3.64
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
石粉 Limestone	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
食盐 NaCl	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
L-赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys·HCl (98.5%)	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02
DL-蛋氨酸 *DL*-Met (98.5%)	0.40	0.32	0.32	0.32	0.32
预混料 Premix1)	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 levels2)					
消化能 DE/(MJ/kg)	11.28(11.07)	11.28(11.32)	11.28(11.43)	11.28(11.39)	11.28(11.03)
粗蛋白质 CP	17.50(17.22)	17.50(17.42)	17.50(17.43)	17.50(18.13)	17.50(18.01)
粗纤维 CF	17.14(20.49)	17.14(19.87)	17.14(19.65)	17.14(19.42)	17.14(19.66)
中性洗涤纤维 NDF	34.81(36.34)	35.15(37.60)	35.37(36.41)	35.49(36.71)	35.21(36.39)
酸性洗涤纤维 ADF	21.22(25.52)	21.22(24.58)	21.23(24.57)	21.23(25.00)	21.22(25.00)
酸性洗涤木质素 ADL	7.19(7.96)	7.11(8.13)	7.05(8.03)	6.98(8.09)	6.94(8.09)
钙 Ca	1.05(0.97)	1.05(0.95)	1.05(0.95)	1.05(0.97)	1.05(0.99)
总磷 TP	0.59(0.49)	0.59(0.53)	0.59(0.55)	0.59(0.53)	0.59(0.49)
总赖氨酸 TLys	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
总蛋氨酸 TMet	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62

1) 预混料为每千克饲粮提供 Premix provided the following per kilogram of diets:Fe 30 mg,Cu 6 mg,Zn 35 mg,Mn 8 mg,Se 0.05 mg,Co 0.3 mg,I 0.4 mg,VA 6 000 IU,VD 900 IU,VE 15 IU,VK_3 1 mg,生物素 biotin 100 μg,胆碱 choline 100 mg,吡哆醇 pyridoxine 0.5 mg,核黄素 riboflavin 3 mg,VB_{12} 9 μg,烟酸 niacin 35 mg,泛酸 pantothenic acid 8 mg。

2) 括号外为计算值,括号内为实测值。The calculated and measured values lied outside and inside parentheses, respectively.

1.2　样品采集与指标测定

1.2.1　血清生化指标

试验第 15 天和第 29 天早晨空腹称重试兔后,从各组不同重复选取 4 只接近平均体重的动物,心脏采血约 5 mL。全血注入不含抗凝剂的真空采血管中,室温静置 30 min 后,3 000 r/min 离心 15 min;收集并分装血清,-20 ℃保存。

采用比色法测定总蛋白、白蛋白、球蛋白、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、极低密度脂蛋白含量和肌酸激酶活性;采用其他相应方法测定尿素氮(酶法)、葡萄糖(己糖激酶法)、总胆固醇含量(酶法)及谷丙转氨酶(速率法)、谷草转氨酶(速率法)和碱性磷酸酶活性(速率法)。以上指标委托四川省雅安市人民医院采用罗氏 cobas8000 c702 型生化分析仪测定。

1.2.2　脏器相对重

第 15 天和第 29 天空腹称重、采血后的动物,参照 Blasco 等[36]的方法屠宰;解剖分离胃、肝脏、肾脏、脾脏、胸腺、蚓突和圆小囊并称重,按以下公式计算脏器相对重:

脏器相对重(%)= 100×器官重(g)/活体重(g)。

1.2.3　肠道免疫及抗氧化指标

从第 15 天屠宰的动物分离十二指肠、空肠和回肠,并分别取约 10 cm 长的肠段;生理盐水冲洗净各肠段的内容物后,手术剪纵剖开肠段,并外翻,铺于冰袋上,滤纸吸干多余水分,载玻片刮取肠黏膜。黏膜装入冻存管中,锡箔纸包裹,置液氮中保存,用于测定下列指标:超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活性,采用南京建成生物制品研究所的试剂盒测定;分泌型免疫球蛋白 A(SIgA)和黏蛋白 2(MUC2)含量,采用上海恒远生物科技有限公司的酶联免疫试剂盒测定。所有操作按试剂盒说明书执行。

1.3　数据处理与统计分析

数据经 Excel 2013 处理后,用 SAS 9.2 统计软件进行单因素方差分析和 Duncan 氏法多重比较。$P<0.05$ 表示差异显著,$P>0.05$ 表示差异不显著。

2　结　果

2.1　大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉对生长肉兔血清生化指标的影响

由表 2 可见,除第 15 天的血清尿素氮含量组间有显著差异($P<0.05$)外,其余所测血清生化指标各组间均无显著差异($P>0.05$);测试组第 15 天的血清尿素氮含量不同程度地高于 C 组,其中 S25、S50、S100 组与 C 组差异显著($P<0.05$)。

表 2　饲喂不同比例大黑山薏苡草粉饲粮生长肉兔的血清生化指标

Table 2　Serum biochemical parameters of growing rabbits fed diets with different proportions of *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal

项目 Items	时间 Time	饲粮 Diets C	S25	S50	S75	S100	SEM	*P* 值 *P*-value
总蛋白	第 15 天 Day 15	50.58	51.48	54.03	55.65	51.20	4.84	0.545
TP/(g/L)	第 29 天 Day 29	55.95	56.43	51.25	54.55	56.20	4.74	0.530
白蛋白	第 15 天 Day 15	44.75	46.35	46.68	48.15	45.78	4.36	0.855
ALB/(g/L)	第 29 天 Day 29	48.30	46.88	43.80	47.53	45.65	4.72	0.606
球蛋白	第 15 天 Day 15	5.83	5.13	7.35	7.50	5.43	4.86	0.930
GLB/(g/L)	第 29 天 Day 29	7.65	8.47	7.45	7.03	8.23	2.05	0.886
尿素氮	第 15 天 Day 15	3.97[a]	5.46[b]	5.29[b]	4.68[ab]	5.85[b]	0.72	0.033
UN/(mmol/L)	第 29 天 Day 29	4.16	5.06	4.88	5.01	4.61	1.44	0.897
葡萄糖	第 15 天 Day 15	8.13	7.31	7.41	8.14	7.39	0.55	0.104
GLU/(mmol/L)	第 29 天 Day 29	8.14	8.17	8.17	8.55	8.14	0.78	0.930
总胆固醇	第 15 天 Day 15	1.59	1.23	1.75	1.74	1.69	0.44	0.456
TC/(mmol/L)	第 29 天 Day 29	1.52	0.89	1.35	1.49	1.37	0.46	0.446
高密度脂蛋白	第 15 天 Day 15	0.66	0.54	0.61	0.62	0.79	0.21	0.574
HDL/(mmol/L)	第 29 天 Day 29	0.63	0.54	0.57	0.56	0.40	0.24	0.721
低密度脂蛋白	第 15 天 Day 15	0.74	0.51	0.91	0.91	0.79	0.42	0.661
LDL/(mmol/L)	第 29 天 Day 29	0.56	0.34	0.63	0.69	0.74	0.28	0.348

续表 2

项目 Items	时间 Time	饲粮 Diets C	S25	S50	S75	S100	SEM	P 值 P-value
极低密度脂蛋白	第 15 天 Day 15	0.19	0.18	0.23	0.21	0.11	0.15	0.834
VLDL/(mmol/L)	第 29 天 Day 29	0.15	0.10	0.15	0.25	0.24	0.11	0.269
谷丙转氨酶	第 15 天 Day 15	51.78	48.80	54.45	59.67	45.00	10.64	0.514
ALT/(U/L)	第 29 天 Day 29	38.48	41.83	50.20	54.28	47.28	13.97	0.530
谷草转氨酶	第 15 天 Day 15	29.70	32.33	22.50	31.10	25.95	13.58	0.839
AST(U/L)	第 29 天 Day 29	25.55	32.15	22.03	42.30	31.53	13.78	0.451
碱性磷酸酶	第 15 天 Day 15	142.10	160.37	129.00	157.87	171.70	25.42	0.271
ALP(U/L)	第 29 天 Day 29	172.80	150.40	176.57	183.60	178.10	25.73	0.476
肌酸激酶	第 15 天 Day 15	528.00	601.67	478.00	582.67	441.33	230.95	0.892
CK/(U/L)	第 29 天 Day 29	309.75	347.50	285.25	368.67	405.00	87.40	0.436

同行数据肩标无字母或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。

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

2.2 大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉对生长肉兔脏器相对重的影响

由表 3 可知,各组间第 15 天和第 29 天所测的胃、肝脏、肾脏及免疫器官的相对重均无显著差异($P>0.05$)。

表 3 饲喂不同比例大黑山薏苡草粉饲粮生长肉兔的脏器相对重

Table 3 Organ relative weight of growing rabbits fed diets with different proportions of *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal %

项目 Items	时间 Time	饲粮 Diets C	S25	S50	S75	S100	SEM	P 值 P-value
胃相对重	第 15 天 Day 15	1.27	1.30	1.39	1.35	1.45	0.13	0.331
Relative stomach weight	第 29 天 Day 29	1.31	1.31	1.54	1.45	1.44	0.14	0.080
肝脏相对重	第 15 天 Day 15	2.67	2.52	2.78	2.81	2.52	0.24	0.270
Relative liver weight	第 29 天 Day 29	2.83	2.87	2.95	3.18	2.92	0.28	0.370
肾脏相对重	第 15 天 Day 15	0.70	0.75	0.80	0.75	0.71	0.16	0.900
Relative kidney weight	第 29 天 Day 29	0.67	0.75	0.71	0.72	0.73	0.14	0.906
脾脏相对重	第 15 天 Day 15	0.06	0.07	0.07	0.05	0.05	0.02	0.513
Relative spleen weight	第 29 天 Day 29	0.06	0.07	0.06	0.07	0.06	0.01	0.327
胸腺相对重	第 15 天 Day 15	0.27	0.20	0.23	0.25	0.23	0.24	0.270
Relative thymus weight	第 29 天 Day 29	0.20	0.22	0.21	0.21	0.21	0.04	0.905
蚓突相对重	第 15 天 Day 15	0.42	0.38	0.38	0.36	0.37	0.08	0.897
Relative appendix weight	第 29 天 Day 29	0.34	0.39	0.35	0.32	0.38	0.05	0.275
圆小囊相对重	第 15 天 Day 15	0.12	0.11	0.10	0.08	0.10	0.02	0.271
Relative sacculus rotundus weight	第 29 天 Day 29	0.12	0.14	0.11	0.10	0.11	0.04	0.081

2.3 大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉对生长肉兔肠道免疫和抗氧化功能的影响

由表 4 和表 5 可知,各组间各小肠段黏膜中的 SOD 和 CAT 活性及 SIgA 和 MUC2 含量均无显著差异($P>0.05$),但总体上测试组SOD和CAT活性在数值上高于 C 组,尤其是 S50 组。此外,从结果中还发现不同小肠段黏膜中 SOD 和 CAT 活性差异较大,前者为空肠>十二指肠>回肠,后者为十二指肠>空肠和回肠。

表 4 饲喂不同比例大黑山薏苡草粉饲粮生长肉兔小肠黏膜中的 SOD 和 CAT 活性

Table 4 SOD and CAT activities in intestinal mucosa of growing rabbits fed diets with different proportions of *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal U/mg prot

项目 Items	部位 Part	饲粮 Diets					SEM	*P* 值 *P*-value
		C	S25	S50	S75	S100		
超氧化物歧化酶 SOD	十二指肠 Duodenum	55.19	56.05	56.72	55.70	56.21	5.80	0.997
	空肠 Jejunum	75.92	75.03	77.60	74.50	74.87	4.08	0.839
	回肠 Ileum	26.58	26.60	27.42	26.90	25.13	5.42	0.987
过氧化氢酶 CAT	十二指肠 Duodenum	44.92	45.43	47.36	45.11	46.43	3.92	0.895
	空肠 Jejunum	26.97	28.17	34.64	33.49	28.83	7.51	0.644
	回肠 Ileum	30.91	32.20	35.92	34.44	33.13	2.56	0.164

表 5 饲喂不同比例大黑山薏苡草粉饲粮生长肉兔小肠黏膜中的 SIgA 和 MUC2 含量

Table 5 SIgA and MUC2 contents in intestinal mucosa of growing rabbits fed diets with different proportions of *Coix lacryma-jobi* cv. *Daheishan* meal

项目 Items	部位 Part	饲粮 Diets					SEM	*P* 值 *P*-value
		C	S25	S50	S75	S100		
分泌型免疫球蛋白 A SIgA/(mg/L)	十二指肠 Duodenum	275.44	287.22	297.82	289.97	288.89	18.26	0.556
	空肠 Jejunum	313.37	312.31	332.46	309.82	316.44	19.11	0.513
	回肠 Ileum	304.33	308.85	309.64	297.09	306.45	24.23	0.949
黏蛋白 2 MUC2/(μg/L)	十二指肠 Duodenum	4.80	5.07	5.08	4.97	4.97	0.68	0.979
	空肠 Jejunum	5.15	5.22	5.32	5.10	5.02	0.59	0.966
	回肠 Ileum	5.26	5.34	5.55	5.26	5.21	0.28	0.571

3 讨 论

3.1 大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉对生长肉兔血清生化指标的影响

血清生化指标可反映动物体内的物质代谢和某些组织器官的机能状态变化[37]。本试验发现,整个试验期测试组与对照组间反映糖、脂、蛋白质代谢及肝脏、肾脏和免疫功能的血清生化指标无显著差异,表明大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉不影响生长肉兔的生理机能。该结果与薏苡及其提取物可降低啮齿动物(正常或实验性疾病模型的小鼠、大鼠或仓鼠)血脂和(或)血糖[3,7-13]的报道不一致,但与生产性能和健康状况的结果吻合[35]。

本试验中,第 15 天测试组的血清尿素氮含量高于对照组,可能与前者的氮吸收量略高于后者有关(即可能与粗蛋白质的消化率有关)。因为测试组的采食量与对照组相当,而前者饲粮粗蛋白质的实际水平和表观消化率均略高于后者[35]。具体原因目前尚不清楚,在薏苡上也无类似报道。但是,从试验前期的生产性能和健康状况来看,各组动物无明显差异[35],表明其正常生理机能未受到不良影响。

3.2 大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉对生长肉兔脏器相对重及肠道免疫和抗氧化功能的影响

脏器相对重是动物的主要生物学特性之一,可反映动物的功能状态[38]。本试验发现,测试组的脏器相对重与对照组无显著差异,表明大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉不影响生长肉兔的功能状态。这与薏苡仁[8,14,30]、茎[16]和叶提取物[17]影响大鼠或小鼠肝脏、肾脏、脾脏或胸腺等脏器相对重的报道不尽一致,但与薏苡茎[15]和叶提取物[15]或薏仁油 β-环糊精包合物[39]对大鼠或小鼠脏器变化无显著影响的报道相符,同时与生产性能和健康状况的结果也一致[35]。

SIgA 是肠黏膜中的一种抗体,对激活黏膜免疫和维持肠道稳态起重要作用[40]。MUC2 是肠黏液层的主要成分,在肠黏膜屏障保护和辅助肠黏膜免疫系统发挥作用中具有重要意义[41]。本试验发现,测试组 3 个小肠段黏膜中的 SIgA 和 MUC2 含量与对照组无显著差异,表明大黑山薏苡草粉

替代苜蓿草粉不影响生长肉兔的肠黏膜免疫功能。这与薏仁水提液[28]和多糖[30]对免疫功能低下小鼠有保护作用,薏仁汤[29]可改善大强度运动后小鼠的免疫状态,及薏苡种皮[18,31]、麸皮[32]和壳提取物[33]可增强体外免疫细胞功能的报道不一致。

胃肠道是活性氧(ROS)的主要来源和内源抗氧化酶的存在部位,SOD和CAT在清除胃肠道ROS、预防黏膜损伤和炎症反应中发挥巨大作用[42]。本试验发现,测试组(尤其是S50组)十二指肠、空肠和回肠黏膜中的SOD和CAT活性略高于对照组,表明大黑山薏苡草粉替代苜蓿草粉可在一定程度增强生长肉兔的小肠抗氧化功能。这与薏苡籽实各部位[3,10,19]、茎[20-23,43]和叶提取物在体外[24-27]及薏仁提取物在大鼠体内[8-9]有抗氧化活性的报道类似。

4 结 论

大黑山薏苡草粉替代饲粮中苜蓿草粉对生长肉兔的血清生化指标、器官相对重及肠道免疫和抗氧化功能无负面影响,且略有提高肠道抗氧化功能的作用,尤其是50%的替代比例。

参考文献:

[1] GIDENNE T. Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review[J]. Animal, 2015, 9(2): 227-242.

[2] 2017—2022年中国苜蓿草行业深度调研及投资前景预测报告[J/OL].中国产业信息网.[2017-10-30]. http://www. chyxx. com/research/201702/492332.html.

[3] LIM T K.Edible medicinal and non-medicinal plants: volume 5, fruits[M].Netherlands:Springer,2013.

[4] 王颖,赵兴娥,王微,等.薏苡不同部位营养成分分析及评价[J].食品科学,2013,34(5):255-259.

[5] KULLAWONG S, HONGLADDAPRON C, KAKAISORN S.Effect of replacement of rice bran by Job's tear bran in diets on growth performances in broiler chickens (in Thai)[J].Khon Kaen Agricultural Journal,2012,40(Suppl.2):488-492.

[6] 翁长江.薏苡副产品对兔及猪生长性能的影响[J].饲料博览,2013(10):37-39.

[7] YEH P H, CHIANG W, CHIANG M T.Effects of dehulled adlay on plasma glucose and lipid concentrations in streptozotocin-induced diabetic rats fed a diet enriched in cholesterol[J]. International Journal for Vitamin and Nutrition Research, 2006, 76(5): 299-305.

[8] WANG L F, SUN J, YI Q D, et al.Protective effect of polyphenols extract of adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen Stapf*) on hypercholesterolemia-induced oxidative stress in rats[J].Molecules,2012,17(8):8886-8897.

[9] YU F, GAO J, ZENG Y, et al.Effects of adlay seed oil on blood lipids and antioxidant capacity in hyperlipidemic rats[J].Journal of the Science of Food and Agriculture,2011,91(10):1843-1848.

[10] 江文章.糙薏仁中具有消除自由基和降血脂活性成分之分离及其生物活性之研究[D].硕士学位论文.台北:国立台湾大学,2000.

[11] 黄乔志.超临界二氧化碳萃取薏苡麸皮及其对喂食高脂食物仓鼠之降血脂活性机制研究[D].硕士学位论文.高雄:高雄医学大学,2008.

[12] TAKAHASHI M, KONNO C, HIKINO H. Isolation and hypoglycemic activity of coixans A, B and C, glycans of *Coix lachryma-jobi* var. *ma-yuen* seeds[J]. Planta Medica,1986,52(1):64-65.

[13] PHUNG T H, NGUYEN H A, NGUYEN Q C, et al. Chemical composition and effects on carbohydrate metabolism of chloroform fraction of *Coix lachryma-jobi* (L) stem extract[J]. Mahidol University Journal of Pharmaceutical Science,2012,39(1):19-24.

[14] 肖小年,易海斌,郭烨,等.薏苡仁油微乳对雄性小鼠脏器的影响[J].南昌大学学报:理科版,2012,36(1):65-68.

[15] 李津,覃永长,李桂勇,等.薏苡茎、叶提取物的急性毒性[J].中国实验方剂学杂志,2015,21(5):178-181.

[16] 郭圣奇,黄挺章,李远辉,等.薏苡茎水提取物对H22荷瘤小鼠的抗肿瘤作用研究[J].中国临床药理学杂志,2015,31(10):855-857.

[17] 李远辉,郭圣奇,黄挺章,等.薏苡叶提取物对H22荷瘤小鼠的体内抗肿瘤作用[J].中国临床药理学杂志,2015,31(18):1863-1865.

[18] HUANG D W, KUO Y H, LIN F Y, et al. Effect of adlay (*Coix lachryma-jobi* L.var.*ma-yuen* Stapf) testa and its phenolic components on Cu^{2+}-treated low-density lipoprotein (LDL) oxidation and lipopolysaccharide (LPS)-induced inflammation in RAW 264.7 macrophages[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,2009,57(6):2259-2266.

[19] KUO C C,CHIANG W C,LIU G P,et al.2,2'-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical-scavenging active components from adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) hulls[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2002,50(21):5850-5855.
[20] 谢燕飞,覃冬,潘廷啟,等.广西壮药薏苡茎多糖的提取及抗氧化性研究[J].中国处方药,2012,10(2):43-45,48.
[21] 李涂蓝,林明霞,黄锁义,等.薏苡茎总碱抗氧化性研究[J].中国野生植物资源,2013,32(6):16-18.
[22] 卢善善,黄挺章,李远辉,等.薏苡茎甲醇提取物的抗氧化性研究[J].中国野生植物资源,2015,34(1):12-14.
[23] 郭圣奇,黄挺章,李远辉,等.薏苡茎乙酸乙酯提取物抗氧化性研究[J].化学世界,2015,56(4):219-221.
[24] 余珊,司珂珂,尤萍,等.广西壮药薏苡叶多糖的提取及体外抗氧化性研究[J].食品工业,2012,33(10):57-59.
[25] 杨海梅,黄凯敏,苏汶君,等.薏苡叶总碱抗氧化研究[J].微量元素与健康研究,2014,31(1):22-23.
[26] 黄莹,程世嘉,李芸达,等.广西壮药薏苡叶甲醇提取物抗氧化活性研究[J].实用药物与临床,2015,18(1):63-65.
[27] 李远辉,郭圣奇,黄挺章,等.薏苡叶乙酸乙酯提取物的体外抗氧化活性研究[J].时珍国医国药,2015,26(5):1051-1053.
[28] 叶敏.薏苡仁水提液对免疫抑制小鼠免疫功能的影响[J].安徽医药,2006,10(10):727-729.
[29] 李梅,姜欣,孙宏伟,等.中药薏苡仁汤加味对小鼠大强度运动后免疫功能的影响[J].辽宁中医学院学报,2006,8(2):116-117.
[30] 吕峰,林勇毅,陈代园.薏苡仁活性多糖对小鼠的免疫调节作用[J].中国食品学报,2013,13(6):20-25.
[31] CHEN H J,SHIH C K,HSU H Y,et al.Mast cell-dependent allergic responses are inhibited by ethanolic extract of adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) testa[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2010,58(4):2596-2601.
[32] CHEN H J,LO Y C,CHIANG W.Inhibitory effects of adlay bran (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) on chemical mediator release and cytokine production in rat basophilic leukemia cells[J].Journal of Ethnopharmacology,2012,141(1):119-127.
[33] HUANG D W,CHUNG C P,KUO Y H,et al.Identification of compounds in adlay (*Coix lachryma-jobi* L. var. *ma-yuen* Stapf) seed hull extracts that inhibit lipopolysaccharide-induced inflammation in RAW 264.7 macrophages[J].Journal of Agricultural and Food Chemistry,2009,57(22):10651-10657.
[34] 鲁院院,田刚,余冰,等.晒干大黑山薏苡全株在生长肉兔上的营养价值评定[J].草业科学,2017,34(5):1100-1106.
[35] 田刚,鲁院院,余冰,等.不同比例大黑山薏苡草粉饲粮对生长兔生产性能、养分消化率和屠宰性能的影响[J].动物营养学报,2018,30(5):1928-1935.
[36] BLASCO M A,OUHAYOUN J,MASOERO G.Harmonization of criteria and terminology in rabbit meat research[J].World Rabbit Science,1993,1(1):3-10.
[37] 刘荣欣,鲁改儒,仝军.中草药添加剂对肉用幼兔生长性能及血液生化指标的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2013(17):150-152.
[38] 孙建新,安娟,连军.影响实验动物脏器重量及脏器系数因素分析[J].实验动物科学,2009,26(1):49-51.
[39] 徐蓉蓉,高垚垚,周云龙,等.薏苡仁油β-环糊精包合物的制备及其表征[J].食品工业科技,2017,38(12):258-263.
[40] 赵雪,张辉,刘禹,等.分泌型IgA对肠道黏膜免疫的研究进展[J].中国畜牧兽医,2013,40(6):96-99.
[41] 王娜,唐雪婵.黏蛋白-2与肠黏膜屏障损伤的研究进展[J].基础医学与临床,2015,35(7):985-988.
[42] BHATTACHARYYA A,CHATTOPADHYAY R,MITRA S,et al.Oxidative stress:an essential factor in the pathogenesis of gastrointestinal mucosal diseases[J].Physiological Reviews,2014,94(2):329-354.
[43] 陈雯静,黄锁义,喻巧容,等.不同极性薏苡茎提取物的抗氧化活性研究[J].食品工业,2017,38(6):104-106.

Effects of Replacement of Alfalfa Meal by *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan Meal on Serum Biochemical Parameters, Intestinal Immunity and Antioxidant Capacity of Growing Rabbits

TIAN Gang[1,2] LU Yuanyuan[1,2*] YU Bing[1,2] XIANG Sumei[1,2] ZENG Huijin[1,2] CAI Jingyi[1,2] ZHOU Shufeng[3]

(1. *Animal Nutrition Institute*, *Sichuan Agricultural University*, *Chengdu* 611130, *China*; 2. *Key Laboratory for Animal Disease-Resistance Nutrition of Ministry of Education*, *Chengdu* 611130, *China*; 3. *Maize Research Institute*, *Sichuan Agricultural University*, *Chengdu* 611130, *China*)

Abstract: The objective of this study was to investigate the effects of substituting different proportion of *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal for alfalfa meal in the diet for growing rabbits on serum biochemical parameters, organ relative weight, intestinal immune and antioxidant capacity. A total of 100 weaned New Zealand white rabbits (35 days of age) with similar body weight were randomly assigned to 5 groups with 10 replicates and 2 rabbits per replicate. Rabbits in 5 groups were fed isoenergetic, isonitrogenous and isofibrous diets, including 1 control diet (C) and 4 test diets with 25% (S25), 50% (S50), 75% (S75) and 100% *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal to replace alfalfa meal in control diet (S100), respectively. The experiment lasted for 29 d. On the 15th and 29th day of the experiment, blood, tissue and organ and tissue samples were collected from 4 rabbits for each group. The results showed as follows: 1) there were no significant differences in serum biochemical parameters among groups ($P>0.05$), except for the urea nitrogen content on the 15th day ($P<0.05$). 2) Organ relative weight of rabbits in five different groups showed no significant differences ($P>0.05$). 3) No significant differences were found on the activities of superoxide dismutase (SOD) and hydrogen peroxidase (CAT) and the contents of secreted immunoglobulin A (SIgA) and mucin 2 (MUC2) in duodenal, jejunal and ileal mucosa among groups ($P>0.05$), although the activities of SOD and CAT for four test groups (particularly for S50 group) showed generally higher than group C. Collectively, *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal can replace dietary alfalfa meal without negatively affecting physiological function and slightly improving intestinal antioxidant capacity of growing rabbits, especially better when the replacement proportion is 50%. [***Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2018, 30(7):2791-2798**]

Key words: *Coix lacryma-jobi* cv. Daheishan meal; serum biochemical parameter; intestinal immunity; intestinal antioxidant; growing rabbit

Author, TIAN Gang, associate professor, E-mail: tgang2008@126.com

* Contributed equally

(责任编辑 王智航)