

## 不同大豆品种对大鼠抗营养影响的比较

潘洪彬<sup>1,2</sup>, 谷春梅<sup>1</sup>, 孙泽威<sup>1</sup>, 秦贵信<sup>1</sup>

(1. 吉林农业大学 动物科技学院, 吉林 长春, 131108; 2. 云南农业大学 云南省动物营养与饲料重点实验室, 云南 昆明 650201)

**摘要:**为比较2个不同栽培品种生大豆中抗营养因子对大鼠的影响,以 $50 \pm 2$ 日龄 Wister 大鼠为实验动物,分别饲喂以吉林30、吉农7品种生大豆和膨化大豆粕(对照组)为主要蛋白源的日粮,测定生长性能,第30天解剖大鼠,颈静脉采血检测血液生理生化指标,内脏器官称重,制作肠道组织切片。结果表明:吉林30日粮组大鼠增重、料肉比、胰腺重量、小肠长度、小肠重量、空肠绒毛长度、空肠隐窝深度、白细胞、血浆尿素氮、谷丙转氨酶和总胆红素与对照组大鼠差异显著( $P < 0.05$ ),吉林30日粮组大鼠胰腺重量、空肠隐窝深度(JCD)比吉农7日粮组大鼠高29.1%、14.4% ( $P < 0.05$ )。吉林30做日粮对大鼠抗营养的影响大于吉农7。

**关键词:**生大豆;品种;抗营养;大鼠

中图分类号:S816.42

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2010)02-0310-04

## Comparative on Antinutritional Effect of Two Cultivars Raw Soybean in Rats

PAN Hong-bin<sup>1,2</sup>, GU Chun-mei<sup>1</sup>, SUN Ze-wei<sup>1</sup>, QIN Gui-xin<sup>1</sup>

(1. College of Animal Science and Technology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, Jilin; 2. Key Laboratory of Animal Nutrition and Feed of Yunnan Province, Kunming 650201, Yunnan, China)

**Abstract:** The objective of this study was to investigate the antinutritional effect of two different soybean cultivars in rats. Thirty rats aged  $50 \pm 2$  days were randomly divided into three groups, with each group involved 10 replicates. Test groups were fed on the diets containing raw soybean cultivar Jilin 30 and Jinong 7, respectively. Control group diets containing extruded soybean meal (ESM). The whole experiment duration was 30 days, and individual rat weights and feed intakes were recorded weekly. All rats were slaughtered on the 30th day, the rats were collected blood by jugular vein before dissected, the plasma physiological and biochemistry parameters were detected, pancreas, liver, spleen, kidney and stomach were collected quickly for weighting, duodenum central region and jejunum 1/3 and ileum 1/2 were collected to making histological section for light microscope to inspected, respectively. Results showed the gain weight, feed intake, the pancreas weight, small intestine length, small intestine weight, the jejunum villus height (JVH), the jejunum crypt depth (JCD), white blood (cell) count (WBC), plasma urea nitrogen (PUN), glutamate-pyruvate transaminase (GPT) and total bilirubin (TBIL) of the rats fed on the diets containing Jilin 30 raw soybean were significantly different compared to the control group ( $P < 0.05$ ). The pancreas weight and jejunum villus height (JVH) of rats fed on the diets containing Jilin 30 raw soybean were 29.1% and 14.4% ( $P < 0.05$ ) higher than those fed on Jinong 7. Results suggest the antinutritional effect of Jilin 30 in feeding rats is higher than that of Jinong 7.

**Key words:** Raw soybean; Cultivars; Antinutritional; Rat

大豆是优质的蛋白源,但是生大豆只有经过适当的热处理才能被人类和动物食用,否则将会危害人类和动物的食品安全。Osborne 和 Mendd 早在1917年就发现生大豆中含有抗营养因子<sup>[1]</sup>。大豆胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素是2种主要的抗营养因子,分别选择性地除去其中之一的生大豆饲喂大鼠,结果发现大豆凝集素代表了生大豆生长抑制作用的50%,胰蛋白酶抑制因子代表40%<sup>[2]</sup>。大豆胰蛋白酶抑制因子主要包括两类:一种是 Kunitz 胰蛋白酶抑制因子,分子量21 000 Da,主要

与胰蛋白酶结合;另一种是 Bowman-Birk 胰蛋白酶抑制因子,分子量6 000~12 000 Da,主要与糜蛋白酶结合,胰蛋白酶抑制因子能引起动物胰腺肥大,生长性能降低。大豆凝集素是能与肠黏膜上皮细胞结合的糖蛋白质,引起肠绒毛受到损害和生长性能降低。大量的研究都集中在这2种抗营养因子作用机制及对不同动物的影响上,而对不同品种生大豆中所含抗营养因子的差异的研究却鲜见报道。因此,采用2个不同栽培品种生大豆为主要蛋白源日粮饲喂大白鼠,研究其对大鼠抗营养的影响,进

收稿日期:2009-11-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30471251)。

第一作者简介:潘洪彬(1974-),男,讲师,硕士,研究方向为大豆抗营养因子。E-mail: hongbin\_pan@yahoo.com.cn。

通讯作者:秦贵信,教授,博士生导师。E-mail: guixin@public.cc.jl.cn。

而比较这 2 种生大豆的抗营养作用,以期为畜禽养殖、大豆食品安全及大豆育种提供有意义的参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 试验动物 Wistar 大白鼠 30 只,由吉林大学实验动物中心提供。体重在 150 g 左右,发育程度相近,健康状况相同,雌雄各半,日龄  $50 \pm 2$  d,均为第 5 胎。采用单因子完全随机化设计,共分 3 组,每组 10 个重复。

1.1.2 日粮 生大豆由吉林农业大学种子公司(吉林 45、丰交 7607)提供。玉米、膨化大豆等由吉林省大明饲料公司提供。日粮组成及营养成分见表 1。

表 1 日粮组成和营养水平(干物质基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of basal diets (dry basis)/%

原料 Ingredients	试验组含量 Test groups content	对照组 Control group content
玉米 Corn	56.00	56.00
麦麸 Wheat bran	5.50	5.50
鱼粉 Fish meal	4.00	4.00
石粉 Limestone	1.50	1.50
磷酸氢钙 $\text{CaHPO}_4$	1.70	1.70
食盐 Salt	0.30	0.30
生大豆 Raw soybean	30.00	
膨化大豆粕 Extruded soybean meal		27.00
大豆油 Soybean oil		3.00
预混料 Premix <sup>1)</sup>	1.00	1.00
合计 Total	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels		
粗蛋白质 CP	20.42	20.76
钙 Ca	0.79	0.79
磷 P	0.99	0.94

1)预混料组为每千克全价料提供:铁 70 mg; 锌 60 mg; 锰 15.1 mg; VA 400 IU; VD<sub>3</sub> 500 IU; VB<sub>12</sub> 0.02 mg; VE 40 IU; 核黄素 0.21 mg; 烟酸 4.0 mg; 生物素 4.0 mg; 胆碱 24 mg。

1, feed premix provides for per kilogram of diet: Fe 70 mg; Zn 60 mg; Mn 15.1 mg; VA 400 IU; VnD<sub>3</sub> 500 IU; VB<sub>12</sub> 0.02 mg; VE 40 IU; riboflavin 0.21 mg; nicotinic acid 4.0 mg; biotin 4.0 mg; choline 24 mg.

1.2 试验方法

试验在吉林农业大学实验动物楼动物营养代

谢室鼠用营养代谢笼(30 cm<sup>3</sup>)进行,环境温度控制在 21 ~ 25℃ 范围内,相对湿度控制在 50% ~ 65% 之间。从大白鼠购入之日起即进行了完全的随机分笼。整个饲养期为 30 d,前 7 d 为预饲期,每天 1 次定量饲喂。每天早 8:00 按时加料,乳头饮水器自由饮水,光照为自然光照。

1.3 测定项目

1.3.1 生长性能 大白鼠购入后和屠宰前先空腹 8 ~ 12 h(可自由饮水)称重,测定耗料量,计算饲料转化率。

1.3.2 血液理化指标 第 30 天,大白鼠致死前颈静脉采血,颈静脉采血,迅速放入具有肝素的试管内,血液生理指标用美国库尔特 T540 型血细胞分析仪测定,血液生化指标用日本产日立 7150 型全自动分析仪测定。

测试指标有:红细胞数(RBC)、白细胞数(WBC)、血小板数(PLT)、血浆尿素氮(PUN)、谷丙转氨酶(GPT)、谷草转氨酶(GOT)、总蛋白数(TP)、白蛋白数(ALB)、血红蛋白(Hb)、总胆红素(TBIL)。

1.3.3 内脏器官形态 大鼠饲喂到 30 d 全部集中屠宰,宰前限饲 8 ~ 12 h,但是可以自由饮水。称重后,屠宰顺序随机抓取。样品采集制备依照 Wang 等<sup>[3]</sup>的方法。迅速剖腹取内脏,并且快速的将整个内脏移入盛有生理盐水托盘内,对胰腺、肝脏、脾脏、肾脏和胃进行称重。将肠道分为小肠、大肠,测量长度和称重。

1.3.4 肠道组织学 分别在十二指肠中部、空肠前三分之一、回肠二分之一取 2 cm 左右的肠段,放入 10% 福尔马林溶液中进行固定,制作 5 μm 切片,采用苏-伊氏染色,在每个部位的组织切片上选 5 个典型视野(绒毛完整且平直),比较空肠绒毛长度(jejunum villus height, JVH)、空肠隐窝深度(jejunum crypt depth, JCD)、回肠绒毛长度(ileum villus height, IVH)、回肠隐窝深度(ileum crypt depth, ICD)、大肠绒毛高度(large intestine villus height, LIVH)、十二指肠绒毛高度(duodenum villus height, DVH),计算空肠绒毛长度和空肠隐窝深度(jejunum villus height : jejunum crypt depth, JVH:JCD)。

1.4 统计分析

采用 SPSS12.0 统计软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 生长性能

如表 2 所示,2 个生大豆日粮组大鼠生长性能各项指标均与对照组差异显著( $P < 0.05$ ),对照组

大鼠日增重和总增重分别比吉林 30 日粮组大鼠提高 22.4%、20.3% ( $P < 0.05$ ), 对照日粮组大鼠的料肉比最低, 比吉林 30、吉农 7 日粮组大鼠料肉比低 11.9%、10.9% ( $P < 0.05$ )。

表 2 不同栽培品种生大豆日粮对大鼠生长性能的影响

Table 2 Effect of different cultivars raw soybean dietary on growth performance in rats

项目 Items	吉林 30 Jilin 30	吉农 7 Jinong 7	膨化大豆粕 ESM
日采食量 ADFI/g	18.60 ± 3.97	18.80 ± 2.01	20.31 ± 3.35
日增重 ADG/g	2.41 ± 1.00 <sup>b</sup>	2.46 ± 0.97 <sup>b</sup>	2.95 ± 1.46 <sup>a</sup>
饲料: 增重 F/G	7.70 ± 1.59 <sup>b</sup>	7.63 ± 1.21 <sup>b</sup>	6.88 ± 2.03 <sup>a</sup>
总增重 Total gain weight/g	72.43 ± 5.22 <sup>b</sup>	73.88 ± 2.85 <sup>b</sup>	88.58 ± 23.02 <sup>a</sup>

同一行内平均值肩标字母不同者表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), 相同字母或未标注者差异不显著 ( $P > 0.05$ ), 下表同。

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

2.2 血液生理、生化指标

如表 3 所示大鼠 WBC 吉林 30 日粮组是对照日粮组大鼠的 2.18 倍, 吉林 30 日粮组大鼠的 PUN、GPT 和 TBIL 含量分别比对照组大鼠高 24.3%、32.9%、150% ( $P < 0.05$ )。

表 3 不同栽培品种生大豆日粮对大鼠血液理化指标的影响

Table 3 Effect of different cultivars raw soybean dietary on

blood physiological and biochemical parameters in rats

项目 Items	吉林 30 Jilin 30	吉农 7 Jinong 7	膨化大豆粕 ESM
红细胞 RBC/ $10^{12} \cdot L^{-1}$	7.78 ± 0.56	8.20 ± 0.54	8.23 ± 0.17
白细胞 WBC/ $10^9 \cdot L^{-1}$	9.58 ± 2.69 <sup>b</sup>	9.83 ± 3.68 <sup>b</sup>	4.38 ± 0.63 <sup>a</sup>
血小板 PLT/ $10^9 \cdot L^{-1}$	443.33 ± 100.17	443.33 ± 112.40	415.00 ± 97.47
血浆尿素氮 PUN/ $mmol \cdot L^{-1}$	5.61 ± 0.23 <sup>b</sup>	5.35 ± 0.56 <sup>ab</sup>	4.51 ± 0.88 <sup>a</sup>
总蛋白 TP/ $g \cdot L^{-1}$	72.20 ± 7.95	72.00 ± 6.98	79.50 ± 8.43
白蛋白 ALB/ $g \cdot L^{-1}$	43.00 ± 2.74	43.50 ± 2.38	41.00 ± 3.46
谷丙转氨酶 GPT/ $U \cdot L^{-1}$	212.00 ± 20.59 <sup>b</sup>	192.00 ± 26.15 <sup>ab</sup>	160.50 ± 23.89 <sup>a</sup>
谷草转氨酶 GOT/ $U \cdot L^{-1}$	134.75 ± 28.48	129.50 ± 6.36	101.33 ± 37.69
总胆红质 TBIL/ $\mu \cdot mol \cdot L^{-1}$	2.00 ± 0.78 <sup>b</sup>	1.53 ± 1.44 <sup>b</sup>	0.80 ± 0.77 <sup>a</sup>
血红蛋白 Hb/ $g \cdot L^{-1}$	148.00 ± 17.73	144.50 ± 6.56	151.60 ± 10.11

2.3 内脏器官形态

如表 4 所示大鼠的胰腺重量、小肠重量和小肠长度均以吉林 30 日粮组最高, 与对照组大鼠相比差异明显 ( $P < 0.05$ ), 分别比对照组大鼠高 76.8%、19.0% 和 22.5%, 胰腺重量吉林 30 日粮组大鼠比吉农 7 日粮组大鼠高 29.1% ( $P < 0.05$ )。

表 4 不同栽培品种生大豆日粮

对鼠内脏器官的影响 (% 活体重)

Table 4 Effect of different cultivars raw soybean dietary on viscus organ Morphogenesis in rats (% of live weight)

项目 Items	吉林 30 Jilin 30	吉农 7 Jinong 7	膨化大豆粕 ESM
胰腺 Pancreas/ $g \cdot kg^{-1}$	8.42 ± 2.25 <sup>c</sup>	6.52 ± 0.78 <sup>b</sup>	4.76 ± 1.31 <sup>a</sup>
胃 Stomach/ $g \cdot kg^{-1}$	8.82 ± 1.69	9.04 ± 1.83	8.07 ± 1.56
脾脏 Spleen/ $g \cdot kg^{-1}$	3.72 ± 1.25	3.33 ± 0.54	2.90 ± 0.74
肾脏 Kindey/ $g \cdot kg^{-1}$	5.95 ± 0.53	6.44 ± 0.73	6.37 ± 0.95
肝脏 Liver/ $g \cdot kg^{-1}$	33.94 ± 1.90	34.43 ± 3.37	35.40 ± 3.02
小肠 Small intestine/ $g \cdot kg^{-1}$	34.49 ± 3.88 <sup>b</sup>	32.71 ± 3.80 <sup>ab</sup>	28.97 ± 2.57 <sup>a</sup>
大肠 Large intestine/ $g \cdot kg^{-1}$	23.87 ± 4.52	22.23 ± 1.81	24.40 ± 5.97
小肠 Small intestine/ $cm \cdot kg^{-1}$	352.83 ± 82.12 <sup>b</sup>	327.24 ± 58.74 <sup>ab</sup>	287.97 ± 38.12 <sup>a</sup>
大肠 Large intestine/ $cm \cdot kg^{-1}$	61.53 ± 15.07	53.17 ± 9.71	71.79 ± 11.88

2.4 肠道组织学

表 5 不同栽培品种生大豆日粮

对大鼠肠道组织学的影响

Table 5 Effect of different cultivated varieties raw soybean dietary on the histology of intestinal in rats

项目 Items	吉林 30 Jilin 30	吉农 7 Jinong 7	膨化大豆粕 ESM
空肠绒毛高度 JVH/ $\mu m$	559.46 ± 22.99 <sup>b</sup>	549.39 ± 11.57 <sup>bc</sup>	588.30 ± 8.12 <sup>a</sup>
空肠隐窝深度 JCD/ $\mu m$	201.34 ± 5.58 <sup>c</sup>	176.01 ± 7.60 <sup>a</sup>	140.01 ± 10.54 <sup>a</sup>
回肠绒毛高度 IVH/ $\mu m$	478.69 ± 9.88	481.36 ± 9.88	496.04 ± 10.12
回肠隐窝深度 ICD/ $\mu m$	191.94 ± 5.66	185.34 ± 5.58	181.34 ± 10.95
大肠绒毛高度 LIVH/ $\mu m$	706.70 ± 10.54	701.37 ± 12.82	714.70 ± 12.82
十二指肠绒毛高度 DVH/ $\mu m$	777.37 ± 26.08	754.70 ± 15.92	764.04 ± 11.56
空肠绒毛高度: 隐窝深度 JVH: JCD	2.78 ± 0.21 <sup>b</sup>	3.12 ± 0.92 <sup>b</sup>	4.22 ± 0.28 <sup>a</sup>

如表 5 所示吉林 30 日粮组大鼠 JVH、JCD 和

JVH: JCD 与对照组差异明显 ( $P < 0.05$ )。吉林 30 日粮组大鼠的 JCD 比吉农 7 日粮组大鼠深 14.4% ( $P < 0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同生大豆日粮对大鼠生长性能的影响

Grant 等以 Kunitz 胰蛋白酶抑制因子含量高、Bowman-Birk 胰蛋白酶抑制因子、凝集素含量中等的生大豆为主要蛋白源和以乳清蛋白为主要蛋白源的日粮饲喂大鼠 700 d, 结果表明, 生大豆日粮组大鼠的鲜体重和干体重均明显降低 ( $P < 0.05$ )<sup>[4]</sup>, 这与该研究结果相一致。吉林 30 日粮组大鼠的增重低于其它 2 个日粮组大鼠, 料肉比也以吉林 30 日粮组大鼠最高, 表明吉林 30 品种生大豆抗营养因子的总含量要高于吉农 7。Li 等应用高剂量 ( $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) 大豆凝集素饲喂大鼠增重降低明显<sup>[5]</sup>, Tang 等研究也发现大鼠的生长与大豆凝集素含量呈线性负相关<sup>[6]</sup>; 对生大豆而言这种抗营养作用可能是大豆胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素等抗营养因子共同作用的结果。

#### 3.2 不同生大豆日粮对大鼠血液的影响

尿素氮主要反映体蛋白分解代谢情况, 体蛋白分解代谢加强, 非蛋白氮含量增加, 即尿素氮含量增加。Roy 等通过对鼠的研究证明, 胰蛋白酶抑制因子引起鼠体内蛋白质的内源性消耗, 会造成体内含硫氨基酸的内源性丢失, 氨基酸的代谢不平衡, 使动物生长受阻, 甚至发生疾病<sup>[7]</sup>。Jordinson 等研究表明, 大豆凝集素可以促进胰腺的外分泌, 造成内源氮的分泌增加<sup>[8]</sup>。Li 等研究发现大鼠的基础日粮添加纯化大豆凝集素可降低蛋白质表观消化率和日粮蛋白质利用率<sup>[9]</sup>。Donatucli 的研究表明, 低大豆凝集素活性大豆品种 (T102, 凝血活性为普通品种的 0.05%) 的蛋白质效率比高于普通品种 (Amosy)<sup>[10]</sup>, 因此饲喂 2 个生大豆日粮大鼠血液中尿素氮含量明显增多, 可能是胰蛋白酶因子和大豆凝集素的共同作用。

白细胞数增多常见于炎症和大多数传染病初期, 这被认为机体对于刺激的反应。日粮中大豆凝集素严重损害小肠和相关组织的代谢, 大豆凝集素结合于大鼠小肠粘膜上皮细胞导致刷状缘膜紊乱<sup>[11]</sup>、微绒毛萎缩<sup>[12]</sup>、上皮细胞的生存发育能力降低<sup>[13]</sup>, 因此饲喂生大豆日粮组大鼠血液中白细胞数目的显著增多可能是大豆凝集素对小肠的损害造成的。

#### 3.3 不同生大豆对大鼠内脏器官形态发育的影响

Huisman 等研究表明用含有大豆蛋白酶抑制因

子的日粮喂鼠, 观察到胰腺增生<sup>[14]</sup>。Bardocz 认为大豆凝集素是比胰蛋白酶抑制因子更有效促进胰腺增生的因子<sup>[15]</sup>。Grant 等的研究表明, 日粮大豆凝集素能引起胰腺的广泛增生, 生大豆引起的胰腺增生可持续 1~2 a 左右, 其中前 250 d 左右的增生由凝集素和蛋白酶抑制因子共同作用, 而后期则主要是蛋白酶抑制因子的作用<sup>[4]</sup>。表明饲喂生大豆大鼠胰腺的增生可能是胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素的共同作用的结果。

Qin 报道了不同来源生大豆中胰蛋白酶抑制因子的含量不同<sup>[16]</sup>。Pull 等对 102 个大豆品种样品检测后, 发现有 5 个品种缺乏凝集素<sup>[17]</sup>。该试验中大鼠胰腺重量吉林 30 日粮组大鼠与吉农 7 日粮组大鼠差异显著 ( $P < 0.05$ ), 表明这 2 个栽培品种大豆中胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素的含量也可能不完全相同, 吉林 30 品种生大豆的胰蛋白酶抑制因子和大豆凝集素含量要高于吉农 7 品种生大豆。

Pusztai 等<sup>[18]</sup>报导大豆凝集素能够促进小肠增生和平滑肌厚度增加, 而且这种作用随剂量的加大和时间的延长而增强, 因此生大豆日粮组大鼠小肠重量的增加可能主要是大豆凝集素的作用。该试验对照组大鼠小肠重量和小肠长度明显低于吉林 30 日粮组大鼠 ( $P < 0.05$ ), 表明吉林 30 品种生大豆凝集素含量相对吉农 7 可能较高。

#### 3.4 不同生大豆对大鼠肠道组织学的影响

Pusztai 等认为在大鼠体内, 大豆凝集素主要与小肠近段的粘膜细胞结合<sup>[18]</sup>, Grant 发现大豆凝集素对空肠绒毛的影响较明显<sup>[12]</sup>。凝集素与空肠绒毛作用 1 h 后即可使绒毛缩短、紊乱及微绒毛结构异常。饲喂纯化大豆凝集素造成空肠粘膜形态的很大变化, 隐窝深度大大增加, 绒毛/隐窝为 3:1, 而对照组 (乳清蛋白组) 为 12:1。Pusztai 等<sup>[18]</sup>发现大豆凝集素结合于大鼠小肠粘膜上皮细胞导致刷状缘膜紊乱、微绒毛萎缩、上皮细胞的生存发育能力降低。吉林 30 日粮组大鼠的 JVH: JCD 比吉农 7 日粮组大鼠低, 并且吉林 30 日粮组大鼠 JCD 比吉农 7 日粮组大鼠深 14.4% ( $P < 0.05$ ), 表明吉林 30 品种生大豆的凝集素含量可能比吉农 7 高。

### 参考文献

- [1] Osborn T B, Mendel L B. The use of soybean as food[J]. Journal of Biological Chemistry, 1917, 32(12): 369-387.
- [2] Liener I E. Implications of antinutritional components in soybean foods[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 1994, 34(1): 31-67.

- [3] Wang T, Xu R. Effect of Colostrum feeding on intestinal development in newborn pigs[J]. *Biology of the Neonate*, 1996, 70(6): 339-348.
- [4] Grant G, Dorward PM, Buchan W C, et al. Consumption of diets containing raw soya beans (*Glycine max*), kidney beans (*Phaseolus vulgaris*), cowpeas (*Vigna unguiculata*) or lupin seeds (*Lupinus angustifolius*) by rats for up to 700 days: effect on body composition and organ weights[J]. *British Journal of Nutrition*, 1995, 73(1): 17-29.
- [5] Li Z, Li D, Qiao S, et al. Anti-nutritional effects of a moderate dose of soybean agglutinin in the rats [J]. *Archives for Tierernahr*, 2003, 57(4): 267-277.
- [6] Tang S, Li D, Qiao S, et al. Effects of purified soybean agglutinin on growth and immune function in rats[J]. *Archives of Animal Nutrition*, 2006, 60(5): 418-426.
- [7] Roy D M, Schneeman B O. Effect of soy protein, casein and trypsin inhibitor on cholesterol, bile acids and pancreatic enzymes in mice [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1981, 111(5): 878-885.
- [8] Jordinson M, Deprez P H, Playford R J, et al. Soybean lectin stimulates pancreatic exocrine secretion via CCK-A receptors in rats[J]. *American Journal of Physiology - Gastrointestinal and Liver Physiology*, 1996, 270(4): 653-659.
- [9] Li Z, Li D, Qiao S. Effects of soybean agglutinin on nitrogen metabolism and on characteristics of intestinal tissues and pancreas in rats[J]. *Archives for Tierernahr*, 2003, 57(5): 369-380.
- [10] Donatucci D A. The role of the lectin on the nutritional toxicity of raw legumes[D]. Minneapolis: University of Minnesota, 1983.
- [11] Pusztai A, George G, Gelencser E, et al. Effects of an orally administered mistletoe (type-2 KIP) lectin on growth, body composition, small intestinal structure and insulin levels in young rats [J]. *Journal Nutritional Biochemistry*, 1998, 9(1): 31-36.
- [12] Grant G. Antinutritional effects of soybean: A Review. *Prog [J]. Food Nutrition Science*, 1989, 13(2): 317-348.
- [13] Ishiguro M, Nakashima H, Tanabe S, et al. Interaction of toxic lectin ricin with epithelial cells of rat small intestine *in vitro* [J]. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, 1992, 40(2): 441-445.
- [14] Huisman J, Jansman A J M. Dietary effects and analytical aspects of antinutritional factors in peas (*Pisum sativum*) common bean (*Phaseolus vulgaris*) and soybeans (*Glycine max* L) in monogastric farm animals. A literature review [J]. *Nutrition Abstracts & Reviews*, 1991, 61(B): 901-921.
- [15] Bardocz S, Duguid T J, Brown D S, et al. The importance of dietary polyas in cell regeneration and growth [J]. *Nutrition*, 1995, 73(6): 819-828.
- [16] Qin G, Elst E R, Bosch M W, van der Pole A F B. Thermal processing soybean, studies on the inactivation of antinutritional factors and effects on oral digestibility in piglets [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 1996, 57(4): 313-324.
- [17] Pull S P, Pueppke S G, Hymowitz T, et al. Soybean lines lacking 120 000 Da seed lectin [J]. *Science*, 1978, 200: 1277-1278.
- [18] Pusztai A, Bardocz S. Biological effects of plant lectins on the gastrointestinal tract: metabolic consequences and applications [J]. *Trends Glycosci Glycotechnol*, 1996, 8(41): 149-165.
- 
- (上接第 309 页)
- [6] 高大海, 梅乐和, 盛清, 等. 硫酸铵沉淀和层析法分离纯化纳豆激酶的研究[J]. *高校化学工程学报*, 2006, 20(1): 63-67. (Gao D H, Mei Y H, Sheng Q, et al. Separation and Purification of Nattokinase produced by bacillus subtilis with ammonium sulfate precipitation and chromatography [J]. *Journal of Chemical Engineering of Chinese Universities*, 2006, 20(1): 63-67.)
- [7] 陈勇, 徐赟, 应汉杰, 等. 亲和层析研究进展[J]. *离子交换与吸附*, 2001, 17(3): 276-280. (Chen Y, Xu Y, Ying H J, et al. Researches and developments of affinity chromatography [J]. *Ion Exchange and Adsorption*, 2001, 17(3): 276-280.)
- [8] 杨明, 董超, 史延茂, 等. 纤维蛋白平板法测定纳豆激酶方法的改进[J]. *中国酿造*, 2008(7): 77-80. (Yang M, Dong C, Shi Y M, et al. Improvement on the method of measuring the activity of Nattokinase with agarose-fibrin plate [J], *China Brewing*, 2008(7): 77-80.)
- [9] 孙彦. 生物分离工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 189-191. (Sun Y. *Bioseparation Engineering* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 189-191.)
- [10] 魏瑞霞, 陈金龙, 陈连龙, 等. 2-噻吩乙酸在 3 种树脂上的吸附行为研究[J]. *高分子学报*, 2004, 8(4): 471-477. (Wei R X, Chen J L, Chen L L, et al. Study of adsorption of 2-thiopheneacetic acid on three adsorbent resins [J]. *Acta Polymerica Sinica*, 2004, 8(4): 471-477.)
- [11] 刘众悦, 王红玲, 刘春, 等. 中国大豆种质 11S 球蛋白 A5 A4 B3 和 A3 B4 亚基缺失的分子机制[J]. *大豆科学*, 2009, 28(3): 363-369. (Liu Z R, Wang H L, Liu C, et al. Molecular mechanism of A5A4B3-null and A3B4-null of Chinese soybean germplasm [J]. *Soybean Science*, 2009, 28(3): 363-369.)
- [12] 麻浩, 王显生, 刘春, 等. 706 份中国大豆种质贮藏蛋白 7S 和 11S 组分及其亚基相对含量的研究[J]. *大豆科学*, 2006, 25(1): 11-17. (Ma H, Wang X S, Liu C, et al. The content variation of 7S, 11S globulins and their subunits of seed storage protein of 706 Chinese soybean germ plasm [J]. *Soybean Science*, 2006, 25(1): 11-17.)
- [13] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 405-408. (Wang J Y, Zhu S G, Xu C F. *Biochemistry* [M]. Beijing: Higher Education Press, 2002: 405-408.)