

## 五龙鹅 IgY、IgM 分子特性研究

刘光磊 孙健 王宝维 贾晓辉 龙芳羽 张旭辉 王雷 杨志刚

(莱阳农学院 优质水禽研究所, 山东 青岛 266109)

**摘要** 为丰富和完善鹅 Ig 分子特性的研究,以层析、离子交换等方法分离纯化五龙鹅的免疫球蛋白及重链、轻链、Fab 段、Fc 段,进行鹅 Ig 的多态性、分子质量、氨基酸组成、稳定性等分子特性研究。结果表明:五龙鹅 IgY 存在几个亚类,总分子质量为 166 ku,重链约为 60 ku,轻链约为 23.5 ku;鹅 IgM 的重链分子质量分别为 51.72、48.30 和 44.09 ku,轻链 20.30 ku,所以,总分子质量约为 660~740 ku;五龙鹅 Ig 重链的分子质量均小于鸡、鸭;IgY 的 Fab 段分子质量为 48.67 ku,Fc 段为 68.62 ku。IgY 的重链和轻链中碱性氨基酸摩尔分数小于酸性氨基酸,为酸性蛋白质,而 IgM 则为碱性蛋白质;IgY 中 Cys 摩尔分数为 2.25%,IgM 为 3.26%;鹅 IgY 的重链和轻链中 Pro 的摩尔分数相差较大,分别为 7.69%和 0.10%;鹅 IgY 在 pH3.5~11.5 的范围内十分稳定,IgM 在 pH4.0~10.5 的范围内稳定,IgM 的酸碱稳定性小于 IgY,但在 pH3.5~4.5 时活性增加 5%~8%;研究表明五龙鹅 IgY 热稳定性较差,热变性反应级数为 1.2。

**关键词** 五龙鹅; IgY; IgM; 多态性; 氨基酸组成; 稳定性

**中图分类号** S 835

**文章编号** 1007-4333(2007)01-0007-06

**文献标识码** A

### Studies on molecular properties of IgY and IgM of Wulong goose

Liu Guanglei, Sun Jian, Wang Baowei, Jia Xiaohui, Long Fangyu, Zhang Xuhui, Wang Lei, Yang Zhigang

(Waterfowl Research Institute, Laiyang Agricultural University, Qingdao 266109, China)

**Abstract** In order to enrich and improve our understanding of the molecular characteristics of geese Ig, we studied Ig (H+L), H chain, L chain, Fab and Fc sections of Wulong goose, and molecular properties of Wulong goose Ig. Results indicated that the IgY molecular weight was 166 ku, H chain was about 60 ku, and L chain was about 23.5 ku. H chain molecular weight of IgM were 51.72 ku, 48.30 ku and 44.09 ku respectively and the L chain was 20.30 ku, hence, the molecular weight of IgM was about 660 - 740 ku. The molecular weight of Ig and H chain were smaller than that of chicken and duck; the molecular weight was 48.67 ku for Fab section and 68.62 ku for Fc section. There was more acid amino acid in IgY, H chain and L chain, and more alkaline amino acid in IgM, H chain and L chain. Therefore, IgY was an acid protein and IgM was an alkaline protein. The mol percentage of Cys was 2.25% in IgY, and 3.26% in IgM; mol percentage of Pro was 7.69% and 0.10% in H and L chain of IgY, and the difference was significant. The stability of IgY in acid and alkali was very steady in the pH range of 3.5 to 11, that of IgM in pH range of 4.0 to 10.5, but worse than IgY, and the activity of IgM increased 5% - 8% at pH3.5 - 4.5; the heat stability of goose IgY was poorer than that of cattle and pig, and the reaction class of IgY was 1.2.

**Key words** Wulong goose; IgY; IgM; polymorphism; amino acid composition; stability

免疫球蛋白(immunoglobulin, Ig)是具有抗体活性球蛋白的统称,包括浆细胞产生的抗体(antibody, Ab)、M 蛋白及 BJ 蛋白等<sup>[1-3]</sup>。Ig 是体液免疫应答中发挥免疫功能最主要的免疫分子,可识别并特异

地结合抗原,激活补体和结合 Fc 受体。依据其重链恒定区抗原特异性的差别,同种系个体内的 Ig 重链可分为  $\gamma$ 、 $\mu$ 、 $\delta$  及  $\epsilon$  共 5 类,相应的免疫球蛋白分别称为 IgG、IgA、IgM、IgD 及 IgE<sup>[4-5]</sup>。鸡鸭已确证

收稿日期: 2006-06-05

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2002BA514A20);山东省农业良种产业化项目

作者简介: 刘光磊,现为中国农业科学院北京畜牧兽医研究所博士研究生, E-mail: guanglei1979@126.com; 王宝维,教授,通讯作者,主要从事家禽生产学研究, E-mail: wangbw@lyac.edu.cn

的 Ig 有 3 种: IgY(IgG)、IgM 和 IgA; 还有间接证据支持存在 IgD 和 IgE 类似物<sup>[47]</sup>。关于鸡鸭 Ig 的结构与功能、VDJ 基因结构及 Ig 产生机制研究较为全面和详细, 而鹅此方面研究较少, 鹅 Ig 的类和亚类至今没有定性, 很多方面都处于研究空白。本试验旨在丰富和完善鹅 Ig 的研究, 为进行鹅 Ig 的动态变化规律、抗病机制的研究奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以优良地方品种五龙鹅的血清为材料, 采用 Sephadex G-200、Sephacryl S-300 等层析介质进行分离, 以 DEAE-Sephacel A-50 等离子交换介质进行纯化, 得到五龙鹅的 IgY、IgM 及重链、轻链、Fab 段、Fc 段, 经过 Western blotting 试验进行鉴别, 经 PAGE 鉴定为电泳纯。

### 1.2 主要试剂与仪器

试剂: 兔抗鹅 Ig 免疫血清、低分子质量标准蛋白 (Pharmacia)、丙烯酰胺 (Sanland)、双丙烯酰胺 (Sigma)、TEMED (Amresco)、-ME (上海生工生物公司)、17 种氨基酸标准液 (Beckman)、茚三酮 (Beckman)、121 MB 氨基酸分析仪 (Beckman)、AA-10 型阳离子交换柱 (Beckman)、Tris 及其他常用缓冲液试剂。仪器: 超低温冰箱 (日本三洋公司)、核酸蛋白分析仪 (日本导津公司)、多功能电泳仪 (北京市六一仪器厂)、水平电泳槽、垂直电泳槽、冷冻离心机、微量移液器 (Eppendorf) 等。

### 1.3 试验方法

1) SDS-PAGE 电泳。制作 5% (体积分数) 的浓缩胶及 12% (体积分数) 的分离胶, 以低分子质量标准蛋白为 Marker, 进行十二烷基硫酸钠聚丙烯酰胺凝胶电泳 (SDS-PAGE), 研究其多态性并计算分子质量。

2) 纯化 Ig 各链。采用酸水解方法测定五龙鹅 Ig 样品氨基酸含量。

3) Ig 酸碱稳定性研究。调整 PBS 缓冲液 pH 至 2.0 ~ 13.0, 将 IgY、IgM (1 mg/mL, 0.01 mol/L PBS, pH 7.0) 分别装入透析袋投入上述不同 pH 的溶液中, 室温下 3 h, 取出后用 PBS 缓冲液 (0.01 mol/L, pH 7.0) 透析至 pH 为 7 左右, 测定透析袋内待检 Ig 的实际含量, 进行单相环状免疫扩散, 得到变性率, 研究不同 pH 对鹅 Ig 稳定性的影响。

4) Ig 热稳定性及热变性动力学。分别将 IgY、IgM 溶液 (1 mg/mL) 在 50 ~ 75 每隔 5 温度下

水浴取样, 立即投入冰水混合物中冷却, 测定变性率, 计算鹅 Ig 的热变性动力学参数。

## 2 结果与分析

### 2.1 IgY 的多态性

五龙鹅 IgY 进行 PAGE 电泳后显现 5 条较均匀的 IgY 蛋白条带 (图 1), 可能为 IgY 亚类, 有待于进一步研究。已知鸡 IgY 有 3 个亚类, 为 IgY<sub>1</sub>、IgY<sub>2</sub>、IgY<sub>3</sub>, 鸭存在 7.8S 和 5.7S 的 2 种 IgY<sup>[57]</sup>。

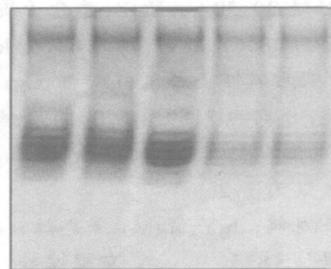


图 1 五龙鹅 IgY 的 PAGE

Fig. 1 PAGE analysis of IgY of Wulong goose (Glg)

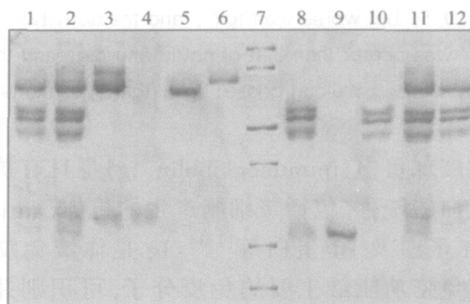
### 2.2 SDS-PAGE 测定各蛋白肽链分子质量

从表 1 和图 2 可见鹅 IgY 的重链约为 60 ku, 轻

表 1 五龙鹅 Ig 肽链的分子质量

Table 1 Molecular weight of immunoglobulin peptide of Wulong goose (Glg)

Ig	Ig 肽链	分子质量/ku
IgY	重链	60.16
	轻链	23.46
	IgY	166.44
IgM	重链	51.72、48.30、44.09
	轻链	20.30
	IgM	大约 740、700、660



1、2、11、12 为鹅 Ig 粗提; 3 为鹅 IgY; 4 为鹅 IgY 的 L 链; 5 为鹅 IgY 的 H 链; 6 为鸡 IgY 的 H 链; 7 为 Marker; 8 为鹅 IgM; 9 为鹅 IgM 的 L 链; 10 为鹅 IgM 的 H 链

图 2 五龙鹅 Ig 的 SDS-PAGE

Fig. 2 SDS-PAGE analysis Ig of goose (Glg)

链约为 23.5 ku,重链约为轻链的 2.5 倍; IgY 的分子质量约为 166 ku。以氨基酸平均分子质量 112 ku 计算,鹅 IgY 的重链约含 535 个氨基酸残基,轻链含 210 个氨基酸残基。鹅 IgM 的重链经 SDS-PAGE 电泳出现分子质量不同的 3 条带,分子质量为 51.72、48.30 和 44.09 ku,而轻链只有 20.30 ku,均小于 IgY。鹅 IgM 的重链、轻链氨基酸残基的数目约为 390~460 和 180。由于未分离到 J 链,参考巴德年<sup>[2]</sup>设 J 链分子质量为 20 ku,则 IgM 的分子质量约为 660~740 ku。

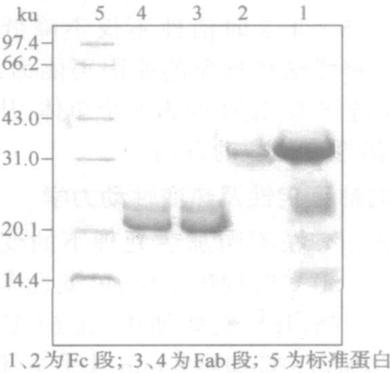


图 3 五龙鹅 IgY 的 Fab 段和 Fc 段 SDS-PAGE 图

Fig. 3 SDS-PAGE of Fab and Fc of IgY of Wulong goose

### 2.3 IgY 的 Fab 段和 Fc 段的 SDS-PAGE 电泳

SDS-PAGE 电泳结果见图 3, Fab 段变性降解为 23.23 和 25.21 ku 的 2 条蛋白条带, Fc 段电泳只有 1 条 34.31 ku 的条带。可见, 23.23 ku 的肽链为 IgY 的轻链, IgY 的重链(60.16 ku) 经木瓜酶降解为 25.21 和 34.31 ku 的 2 个蛋白肽链, Fab 段分子质量为 48.67 ku, Fc 段分子质量为 68.62 ku(图 4)。

### 2.4 纯化 Ig 氨基酸含量分析

经测定, 鹅 IgY、IgM 含有 17 种氨基酸, 各种氨基酸质量分数和摩尔分数见表 2。氨基酸的组成对

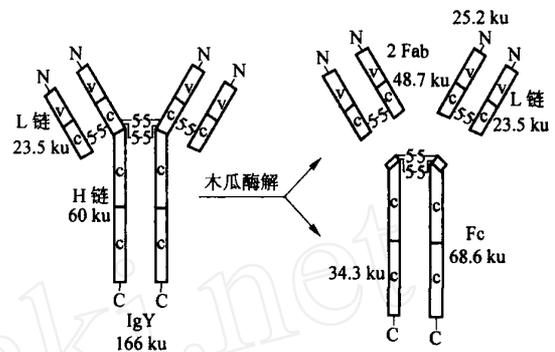


图 4 五龙鹅 IgY 的木瓜蛋白酶水解片段示意图

Fig. 4 Sketch of hydrolyzed fragments by papain of IgY of Wulong goose

表 2 五龙鹅 Ig 的氨基酸含量分析

Table 2 Assays of amino acids content of Ig of Wulong goose

氨基酸	IgY 的重链		IgY 的轻链		IgY		IgM 的重链		IgM 的轻链		IgM	
	质量分数	摩尔分数	质量分数	摩尔分数	质量分数	摩尔分数	质量分数	摩尔分数	质量分数	摩尔分数	质量分数	摩尔分数
甘氨酸	5.47	9.16	5.34	9.20	5.43	9.08	5.01	8.75	4.67	8.05	5.86	10.47
丝氨酸	7.99	9.57	5.14	6.33	7.19	8.59	6.68	8.33	6.53	8.04	5.07	6.46
苏氨酸	8.96	9.47	7.05	7.66	8.42	8.88	7.73	8.51	7.93	8.62	7.22	8.13
半胱氨酸	4.22	2.28	1.67	0.88	2.39	2.25	3.77	2.06	3.66	1.97	4.06	3.26
酪氨酸	5.12	3.56	5.33	3.81	5.18	3.59	6.48	4.69	3.94	2.81	8.83	6.53
丙氨酸	5.32	7.52	5.40	7.85	5.35	7.53	2.45	3.61	4.37	6.35	0.70	1.05
缬氨酸	7.30	7.84	9.39	10.38	10.62	9.39	4.92	5.51	6.40	7.07	4.23	4.84
蛋氨酸	2.72	2.29	4.48	3.89	3.21	2.71	3.31	2.91	3.01	2.61	4.05	3.64
异亮氨酸	3.37	3.23	4.29	4.24	4.31	4.13	4.23	4.23	4.27	4.22	3.12	3.19
亮氨酸	6.32	6.07	8.52	8.42	6.94	6.64	6.76	6.76	5.60	5.53	9.66	8.87
脯氨酸	7.03	7.69	0.11	0.10	4.93	5.37	5.46	6.22	6.15	6.92	2.95	4.44
苯丙氨酸	4.79	3.65	9.05	7.09	5.99	4.55	1.46	1.16	4.00	3.13	4.88	2.96
赖氨酸	5.14	4.42	6.80	6.02	5.60	4.81	6.98	6.26	5.66	5.01	10.27	6.42
组氨酸	2.34	1.90	2.66	2.22	2.43	1.97	3.52	2.98	3.45	2.88	3.70	3.19
精氨酸	5.42	3.92	0.16	0.12	0.60	0.43	5.64	4.25	6.65	4.94	3.13	4.41
天冬氨酸	9.26	8.75	10.30	10.02	9.55	9.01	10.17	10.02	10.67	10.37	8.92	10.18
谷氨酸	11.79	10.08	11.86	10.44	11.81	10.08	15.44	13.76	13.04	11.47	13.35	12.16

Ig的组成和结构的研究十分必要。酸水解法分析氨基酸的过程中 Trp 被破坏不能被检测, Glu 水解为 Gln, Asn 水解为 Asp, 但基本能反映蛋白质的组成成分。对比五龙鹅不同肽链氨基酸质量分数可以发现, 鹅 IgY、IgM 及其各自重链、轻链中氨基酸质量分数较类似, 不同之处在酸碱性氨基酸、Cys、Pro 的摩尔分数存在差异。IgY 的重链中碱性氨基酸 (Lys、Arg 及 His) 的摩尔分数为 10.24%, 而酸性氨基酸 (Asp、Glu) 的摩尔分数为 18.83%, 轻链中分别为 8.36% 和 20.46%。IgM 的重链中碱性氨基酸的摩尔分数为 23.78%, 而酸性氨基酸为 13.49%, 轻链中分别为 21.84% 和 12.83%。IgY 中 Cys 摩尔分数为 2.25%, 而 IgM 为 3.26%。IgY 的重链和轻链中 Pro 的摩尔分数为 7.69% 和 0.10%。

### 2.5 Ig 的酸碱稳定性

将五龙鹅 IgY、IgM 分别置于不同 pH 溶液后的变性率见图 5。IgY 在 pH 3.5~11.5 的范围内十分稳定, 变性率只有 5%~10%, 当 pH 小于 3.0 和大于 12.0 时变性率变化迅速, 当 pH 为 3.0、12.0 时变性率为 20% 和 50%。鹅 IgM 在 pH 4.0~10.5

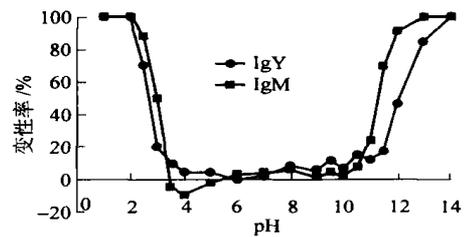


图 5 不同 pH 下五龙鹅 IgY 和 IgM 的变性率  
Fig. 5 Denaturation of IgY and IgM at different pH of Wulong goose

的范围内稳定, 其酸碱稳定性明显小于鹅 IgY; 但 IgM 在 pH 3.5~4.5 时活性不仅不降低反而增加 5%~8%。解释这种现象的原因可能为: IgM 在酸性环境下 J 链解离, IgM 变为 5 个单体, 从而减小了空间位阻, 活性有短暂的升高。

### 2.6 IgY 的热稳定性及热变性动力学

五龙鹅 IgY 在不同加热处理下的变性率见图 6~8。可见, 在 50℃ 时加热 150 min 变性率仅为 8%, 随着温度的升高, IgY 变性加快, 在 65℃ 时 30 min 变性率为 80%, 75℃ 加热 3 min 几乎全部失活。

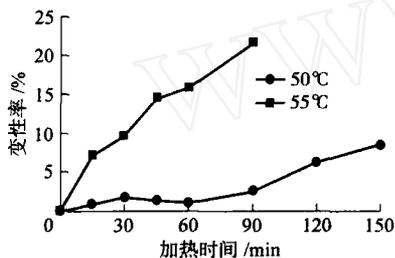


图 6 50 和 55 加热处理下五龙鹅 IgY 的变性率

Fig. 6 Denaturation of IgY at 50 and 55 of Wulong goose

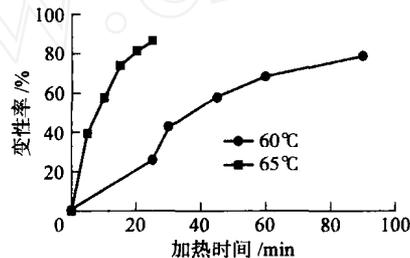


图 7 60 和 65 加热处理下五龙鹅 IgY 的变性率

Fig. 7 Denaturation at 60 and 65 of IgY of Wulong goose

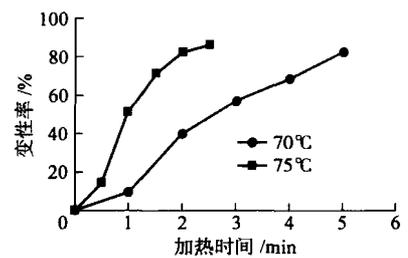


图 8 70 和 75 加热处理下五龙鹅 IgY 的变性率

Fig. 8 Denaturation at 70 and 75 of IgY of Wulong goose

IgY 热变性  $n$  级反应速率方程为  $-dc/dt = k \cdot C^n$  [8]。其中  $-dc/dt$  为变性速率,  $k$  为变性速率常数,  $C$  为不同时间 IgY 活性,  $n$  为反应级数。经取对数、积分得:  $(C_t/C_0)^{1-n} = 1 + (n-1) \cdot k \cdot C_0^{n-1} \cdot t$ , 作  $(C_t/C_0)^{1-n}$  与  $t$  的一元线性关系, 求得不同温度下  $(C_t/C_0)^{1-n}$  与  $t$  的相关系数, 当  $n=1.2$  时,  $R^2$  最大, 因此确定五龙鹅 IgY 的热变性反应级数约为 1.2。

## 3 讨论

1) 将本试验所得鹅免疫球蛋白的分子质量与鸡鸭进行比较 (表 3) 发现: 鹅 IgY 的重链比鸡鸭小 7 ku, 轻链差异不大; 鹅 IgM 的重链相差较大, 比鸡鸭

小 10~20 ku, 轻链亦小 2~4 ku。鹅 Ig 的分子质量与其他动物存在差异, 因此, 鹅 Ig 的免疫作用机制与其他动物不尽相同。

2) 五龙鹅 IgY 的重链和轻链中碱性氨基酸的摩尔分数均小于酸性氨基酸, 说明鹅 IgY、重链和轻链均为酸性蛋白质, 等电点约为 5~6; 而 IgM 的重链和轻链中碱性氨基酸的摩尔分数均大于酸性氨基酸, 说明 IgM、重链和轻链均为碱性蛋白质, 等电点约为 8~9。Cys 可形成肽链间二硫键, 对保持蛋白质的三级结构和生物学活性起着十分重要的作用。IgY 中 Cys 摩尔分数 (2.25%) 小于 IgM (3.26%), 原因是由于 IgM 中 J 链富含半胱氨酸, 通过二硫键

连接  $\mu$  链或  $\kappa$  链的羧基端。IgY 的重链和轻链中 Pro 的摩尔分数为 7.69%、0.10%，相差较大。Pro 的  $\alpha$ -碳原子参与 R 基吡咯的形成，环内的 C-N 键和 C-N 肽键都不能旋转，而且 Pro 的肽键不具亚氨

基，不形成链内氢键；因此，肽链中只要存在 Pro， $\alpha$ -螺旋和  $\beta$ -折叠便被中断<sup>[10-12]</sup>。IgY 的轻链含少量的 Pro，说明轻链的二级结构中较易形成  $\alpha$ -螺旋和  $\beta$ -折叠，构象变化程度较大，易形成高变区。

表 3 五龙鹅与鸡鸭免疫球蛋白分子质量比较

Table 3 Comparison of Ig molecular weight of poultry between Wulong goose, chicken and duck

ku

禽的种类	IgY			IgM		
	重链	轻链	IgY	重链	轻链	IgM
五龙鹅	60	23.5	166	44~52	20.3	660~740
鸡*	67	22	160~180	75	22.5	900
鸭*	62~67	22~25	178~200	60~86	24	800~900

注：\*数据来源于参考文献[1,5,7,9]。

3) 五龙鹅 IgY 在 pH3.5~11.5 的范围内十分稳定，张和平等<sup>[12]</sup>对牛 IgG 的研究表明，当 pH 为 3.0、12.0 时牛 IgG 的变性率为 40% 和 90% 以上，孙天松<sup>[8]</sup>对猪 IgG 的研究表明，当 pH 为 3.0、12.0 时，猪 IgG 的变性率为 30% 和 25% 以上。可见，鹅 IgY 的酸碱稳定性要高于牛 IgG，抗酸性与猪 IgG 相似，但抗碱性比猪 IgG 弱。IgY 的抗原结合部位由轻链和重链高变区组成，而 Ser、His、Cys 是组成高变区活性的重要氨基酸<sup>[11-12]</sup>。pH 变化会影响 Ser-OH、His-咪唑基、Cys-SH 的解离程度，影响其亲核性及次级键的形成，从而影响 IgY 与抗原结合的活性。此外，pH 过高过低会使 IgY 蛋白质表面离子层发生变化而导致其变性，以致完全失去活性。

4) 五龙鹅 IgY 在 50℃ 时加热 150 min 变性率仅为 8%，65℃ 时加热 30 min 变性率为 80%，75℃ 加热 3 min 几乎全部失活；猪 IgG 在 50℃ 时加热 150 min 活性没有变化，80℃ 加热 3 min 才全部失活<sup>[8]</sup>；牛 IgG 在 65℃ 时 30 min 变性率为 40% 左右<sup>[13]</sup>。可见，五龙鹅 IgY 热稳定性较猪和牛 IgG 差。Li-chan 等研究牛乳 IgG 的热变性反应，认为 IgG 的变性为非一级反应，其变性率取决于 IgY 的起始浓度<sup>[14]</sup>；Mainer 等研究结果表明牛乳 IgG 的热变性反应级数为 1.5<sup>[15-16]</sup>；孙天松研究表明猪 PIgG 为 1.1<sup>[13]</sup>。 $n$  为热反应动力学中的重要参数，影响着  $D$ 、 $Z$  值及热力学参数<sup>[8,14-15]</sup>，在牛乳消毒工艺中研究 IgG 活性变化较为重要，在鹅上的应用较少。

## 参 考 文 献

[1] Sharma J M. The structure and function of the avian im-

mune system[J]. Acta Vet Hung, 1997, 45(3): 229-238

[2] 巴德年. 当代免疫学技术与应用[M]. 北京:北京医科大学中国协和医科大学联合出版社, 1998:256-356

[3] 余传霖,熊思东. 分子免疫学[M]. 第 2 版. 上海:复旦大学出版社,2001:267-280

[4] Warr G W, Magor K E, Higgins D A. IgY: clues to the origins of modern antibodies[J]. Immunol Today, 1995, 16: 392-398

[5] Lundqvist M L, Middleton D L, Hazard S, et al. The immunoglobulin heavy chain locus of the duck: Genetic organization and expression of D, J and C region genes [J]. J Biol Chem, 2001, 276(5): 46729-46736

[6] Hadge D, Ambrosius H. Radio immunochemical studies on 7.8 s and 5.7 s duck immunoglobulins in comparison with Fab and Fc fragments of chicken IgY[J]. Dev Comp Immunol, 1984, 8(4): 131-139

[7] Hadge D, Ambrosius H. Evolution of low molecular weight immunoglobulins, V, degree of antigenic relationship between the 7s immunoglobulins of mammals, birds, and lower vertebrates to the turkey IgY[J]. Dev Comp Immunol, 1986, 10(5): 377-385

[8] 孙天松,孙天竹,敖长金,等. 猪血液中免疫球蛋白热变性动力学研究[J]. 内蒙古农业大学学报, 2004, 25(1): 75-80

[9] 杨宗照. 鸭肝炎病毒部分 cDNA 文库的构建及鸭 IgG 的特性[D]. 南京:南京农业大学,2000

[10] Y Mine, P Rupa. Immunological and biochemical properties of egg allergens [J]. World's Poultry Science Journal, 2004, 60(3): 321-327

[11] Higgins D A. Secretory immune system of the duck (Anas platyrhynchos), Identification and expression of the genes encoding IgA and IgM heavy chains[J]. Eur J Immunol, 2002, 28(3): 1063-1068

- [12] Johansson J, Aveskogh M, Munday B, et al. Heavy chain V region diversity in the duck-billed platypus (*Ornithorhynchus anatinus*): Long and highly variable complementarity-determining region 3 compensates for limited germline diversity [J]. *The Journal of Immunology*, 2002, 168(9): 5155-5162
- [13] 张和平, 郭军, 李立民, 等. 免疫乳中 IgG 热变性动力学研究[J]. *中国乳品工业*, 2001, 29(4): 4-8
- [14] Li-Chan E, Kummer A, Losso J N, et al. Stability of bovine immunoglobulins to thermal treatment and processing [J]. *Food Research International*, 1995, 28(3): 9-16
- [15] Mainer G, Sanchez L, Ena I M, et al. Kinetic and thermodynamic parameters for heat denaturation of bovine milk IgG, IgA, and IgM [J]. *Food Sci*, 1997, 62(6): 1034-1038
- [16] Mainer G, Dominguez E, Randrup M, et al. Effect of heat treatment on anti-totavirus activity of bovine colostrums [J]. *Dairy Res*, 1999, 66(1): 131-137

## 科研简讯 ·

### “动物乳房炎发病机理、诊断和防治新技术研究”成果达到国际先进水平

我校王九峰副教授主持的“动物(奶牛、奶山羊和猪)乳房炎发病机理、诊断和防治新技术研究”通过成果鉴定,鉴定委员会专家一致认为该成果总体水平达到国际先进。课题组首次提出将免疫应答、营养代谢与神经内分泌调节三者联系起来研究动物乳房炎发病机理的理论,研制出乳房炎早期诊断指标和方法,填补了一项国内动物乳房炎早期诊断技术的空白;该项成果对降低动物乳房炎发病率和新生动物死亡率、提高乳品安全以及推动我国奶业、畜牧业和食品行业的健康发展等方面均具有重要的理论价值和实践意义。

### “植物乳杆菌产细菌素的研究及其在发酵香肠中的应用”和“长寿老人源短双歧杆菌生理功能研究及直投式发酵剂的制备”成果达到国际先进水平

2006年11月12日,我校李平兰副教授等主持完成的“植物乳杆菌产细菌素的研究及其在发酵香肠中的应用”和“长寿老人源短双歧杆菌生理功能研究及直投式发酵剂的制备”通过成果鉴定。鉴定委员会专家一致认为成果总体达到国际先进水平。

“植物乳杆菌产细菌素研究及其在发酵香肠上的应用”受北京市自然科学基金资助。课题组从我国传统宣威火腿中分离筛选到了一株高产细菌素的植物乳杆菌 L-1;确立了一条经济合理、适合工业化生产该细菌素的分离纯化技术(工艺)路线;利用产细菌素植物乳杆菌 L-1 作为发酵剂开发出了两种新型发酵香肠,产品的品质优良、质构、风味、感官特性好,具有很好的市场空间。

“长寿老人源短双歧杆菌生理功能研究及直投式发酵剂的制备”是国家“863计划”“优良微生物发酵剂的研制与开发”的子课题。课题组重点开展了耐胃肠道逆环境及具有高黏附性双歧杆菌菌株的选育,利用现代微生物培养技术和膜分离技术,首次建立了短双歧杆菌 A04 的补料分批与膜过滤耦合式高密度培养体系;开发出了发酵特性优良、抗冻干、活力强、具有自主知识产权的双歧杆菌冻干发酵剂菌粉。该成果对进一步开发双歧杆菌等功能性食品及益生菌制剂具有重要意义。

(科学技术处供稿)