

明胶及酪蛋白作为封闭剂及保存稳定剂在 免疫磁球制备中的应用

许迪莘^{1#}, 代凤英^{2#}, 杨寅¹, 邓奕¹, 杜庆庆¹, 陈旭¹, 张远¹, 杜美红^{2*}

(1. 北京市科学器材公司, 北京 100010;
2. 北京市理化分析测试中心(北京市食品安全分析测试工程技术研究中心), 北京 100089)

摘要: **目的** 研究免疫磁球封闭剂及保存稳定液的性能, 以保证微生物捕获效果。 **方法** 以沙门氏菌为目标捕获物, 通过制备抗沙门氏菌免疫磁球, 将明胶和酪蛋白作为封闭液及保存液成分, 对免疫磁球特异性捕获及免疫磁球的保存周期进行了研究。 **结果** 7.5%明胶溶液作为免疫磁球的封闭液时, 免疫磁球非特异性吸附低于5%, 1%酪蛋白的结果高于10%; 保存液中添加1%酪蛋白和1%明胶, 在37℃条件下放置3d后, 免疫磁球特异性捕获率在70%以上。 **结论** 明胶作为封闭剂可以降低免疫磁球的非特异性吸附, 1%明胶与1%酪蛋白在保存液中共同作用有助于免疫磁球抗体活性的保存。

关键词: 免疫磁球; 明胶; 酪蛋白; 封闭液; 保存液

Application of gelatin and casein as blocking agent and stabilizer in preparation of immunomagnetic beads

XU Di-Xin^{2#}, DAI Feng-Ying^{1#}, YANG Yin², DENG Yi², DU Qing-Qing², CHEN Xu²,
ZHANG Yuan², DU Mei-Hong^{1*}

(1. Beijing Scientific Instruments & Materials Corp, Beijing 100010, China; 2. Beijing Center for Physical & Chemical Analysis (Beijing Engineering Research Center of Food Safety Analysis), Beijing 100089, China)

ABSTRACT: Objective To research the performance of the blocking agent and storage stable liquid of immunomagnetic beads, and to guarantee the capture efficiency of microorganism. **Methods** The gelatin and casein were used as blocking agent and preservation solution in the preparation of anti-*Salmonella* immunomagnetic beads. The specific capture rate and shelf life of the immunomagnetic beads were obtained and examined. **Results** The non-specific binding rate of *Escherichia coli* was less than 5% after blocking the immunomagnetic beads with 7.5% of gelatin, the specific binding rate maintained above 70% after 3 d at 37℃ when the beads were preserved in 1% of casein and 1% of gelatin. **Conclusion** As ablocking agent, gelatin

基金项目: 北京市科学技术研究院萌芽计划(20140315-01)、国家重大科学仪器设备开发专项(2013YQ140371)、北京市科学技术研究院创新团队项目(IG201307)、北京市科技计划(Z151100001015018)

Fund: Supported by the Program of Beijing Academy of Science and Technology (20140315-01), National Major Special Project in Scientific Equipment (2013YQ140371), Innovation Team of Beijing Academy of Science and Technology (IG201307) and Beijing Science and Technology Program (Z151100001015018)

[#]许迪莘、代凤英为共同第一作者

[#]XU Di-Xin and DAI Feng-Ying are co-first authors

*通讯作者: 杜美红, 副研究员, 主要研究方向为食品安全与快速检测。E-mail: dumeihong@beijinglab.com.cn

*Corresponding author: DU Mei-Hong, Associate Researcher, Beijing Center for Physical & Chemical Analysis, Beijing Engineering Research Center of Food Safety Analysis, Beijing 100089, China. E-mail: dumeihong@beijinglab.com.cn

could reduce the non-specific binding of immunomagnetic beads, and 1 % of gelatin with 1 % of casein in the preservation solution exhibited a conducive ability to keep the activity of antibody on immunomagnetic beads.

KEY WORDS: immunomagnetic beads; gelatin; casein; blocking agent; preservation solution

1 引言

由免疫磁球分离富集技术与多种检测技术相整合的免疫磁球分离富集检测技术已经越来越多的运用于医学、生物、食品和环境等领域的检测中^[1]。免疫磁球分离富集技术主要利用磁球表面包被的抗体与待测物品中抗原结合,快速准确的检测出待测物品中是否存在目标物。在免疫磁球的制备过程中,为了避免非目标物吸附(非特异性)的出现,磁球连接抗体后,需要包被其他蛋白封闭磁球表面剩余位点,避免磁球对非抗原的吸附作用。封闭液中封闭蛋白与剩余位点结合的越多,磁球的非特异性吸附越低,即封闭液的封闭效果就越好。目前,许多检测方法中多利用牛血清白蛋白作为封闭剂进行封闭以消除非特异性吸附^[2],本研究之前本实验室在免疫磁球的制备中也采用牛血清白蛋白作为封闭剂,但吸附结果为9.72%,对非目标菌的吸附率较高,影响了目标物富集分离之后的检测结果。

免疫磁球表面包被有抗体,在长时间的储存过程中构象容易发生改变,抗体的免疫活性就会受到影响,最终影响免疫磁球目标物的捕获效率。另外,免疫磁球在运输过程中也需要在保存液中保存,因此,对免疫磁球保存液的研究成为必需。目前,对于免疫磁球的保存液研究报道甚少,焦点主要集中在对抗体的保存研究上,抗体保存主要采用低温冻干保存法^[3]和加大保存体系中杂蛋白方法^[2]。明胶和酪蛋白是一类生物高聚分子^[4-7]本质为蛋白质,被广泛应用于构造药物^[9-12]及生物传感器^[13]等生物检测和临床医学方面^[8],而在封闭剂和保存液中的应用还未见到。本研究以明胶和酪蛋白作为研究对象,研究他们在免疫磁球封闭液和保存液中的作用,对免疫磁球的制备及广泛应用提供科学数据及技术支撑。

2 材料与方 法

2.1 材 料

羧基磁球(直径180 nm,上海奥润微纳新材料科技有限公司);沙门氏菌多克隆IgG抗体(美国KPL公

司,羊抗IgG抗体);沙门氏菌多克隆IgG抗体(北京博奥森生物技术有限公司,兔抗IgG抗体);牛血清白蛋白(BSA, Sigma-Aldrich公司)使用前0.22 μm滤膜过滤除菌;酪蛋白(Sigma-Aldrich公司)使用前0.22 μm滤膜过滤除菌;明胶(Sigma-Aldrich公司)使用前0.22 μm滤膜过滤除菌;菌鼠伤寒沙门氏菌(*Salmonella typhimurium*,菌株编号:ATCC14028);大肠埃希氏菌(*Escherichia coli*,菌株编号:ATCC25922);福氏志贺氏菌(*Shigella flexneri*,菌株编号:ATCC12022) IgG-FITC(北京博奥森生物技术有限公司,羊抗兔抗体);胎牛血清(FBS, Gibco公司)使用前0.22 μm滤膜过滤除菌;磷酸盐缓冲液(10 mmol/L pH 7.2-7.4,北京欣源佳和生物科技公司);营养肉汤(北京陆桥技术有限责任公司);1-(3-二甲氨基丙基)-3-乙基碳二亚胺盐(EDC)和N-羟基硫代琥珀酰亚胺(NHS)(J&KCHEMICAL公司);试验中所有用水均为去离子水。

2.2 仪 器

生物安全柜(苏净安泰,型号:BSC-1300IIA2,苏州),生物培养箱(Thermo scientific,型号:IGS180,美国),高温灭菌锅(SANYO,型号:MLS-3780,日本),荧光显微镜(OLYMPUS,型号:BX43/53,日本),天平(Sartorius,型号:CPA225D,德国),纯水仪(Milli-Q,美国)。

2.3 方 法

2.3.1 磁球封闭

将羧基磁球加入2 mL离心管中,PBST洗涤2次。利用5 mg/mL EDC和5 mg/mL NHS混合溶液充分混合,37 °C活化羧基磁球30 min,PBS洗涤2次。加入封闭剂,在37 °C封闭30 min,PBS洗涤2次。

2.3.2 免疫磁球制备

将羧基磁球加入2 mL离心管中,PBST洗涤2次。利用5 mg/mL EDC和5 mg/mL NHS混合溶液充分混合,37 °C活化羧基磁球30 min,PBS洗涤2次。加入沙门氏菌多克隆抗体(羊抗IgG抗体)至已活化磁球中,充分混合后,37 °C偶联3 h,PBS洗涤2次。加入封闭剂,在37 °C封闭30 min,PBS洗涤2次。

2.3.3 免疫磁球对目标菌的捕获

将稀释至 10^2 cfu/mL的1 mL目标菌液转移到免

疫磁球沉淀中, 混匀菌液与免疫磁球, 使目标菌与免疫磁球充分接触, 室温结合 30 min。经磁场分离后, 去掉上清。去磁场后, 加 1 mL PBS 冲洗离心管壁上的菌体-免疫磁球, 用 vortex 打散成浑浊溶液。微生物平板培养, 36 °C±1 °C 下经过 18 h 后对菌落计数, 利用公式 $y=b/(a+b) \times 100\%$ 计算捕获效率(a 上清液菌落数、 b 下沉液菌落数)。

2.3.4 免疫荧光实验

向菌体-免疫磁球中加入含有 1% FBS 的沙门多克隆抗体(兔抗 IgG 抗体), 37 °C 孵育 60 min。磁分离 30 min 后, 用含 1% 的 FBS 的 PBS 清洗 2 遍。加入带有 FITC 标记的二抗羊抗兔 IgG-FITC 室温孵育 30 min。磁分离 30 min, 用含有 1% FBS 的 PBS 清洗 5 遍, 观察拍照。

2.3.5 保存液的制备

将免疫磁球放入保存液中, 保存液主要成分为 20% BSA、10% 甘油、1% 叠氮化钠、1%~5% 明胶、1%~5% 吐温 20 和 1%~5% 酪蛋白。将免疫磁球放在 37 °C 保存, 分别测定 37 °C 保存 1 d、2 d、3 d 的免疫磁球对目标菌的特异性捕获率。

3 结果与分析

3.1 免疫磁球封闭液的优化

3.1.1 不同封闭液对磁球吸附效率的影响

利用 7.5% 明胶溶液、1% 明胶溶液、0.1% 明胶溶液、1% 牛血清白蛋白溶液、0.1% 牛血清白蛋白、1% 酪蛋白溶液和 0.1% 酪蛋白溶液封闭等量已经过活化的磁球。利用等量经过封闭的磁球对 1 mL 10^2 cfu/mL 菌液中的非目标菌进行捕获, 捕获率如图 1、2 所示。

如图 1、2 所示, 目前普遍使用以 1% 牛血清白蛋白作为封闭液封闭磁球, 经封闭后的磁球对大肠埃希氏菌的吸附率是 $9.73\% \pm 0.69\%$, 对福氏志贺氏菌的吸附率是 $7.49\% \pm 0.14\%$ 。磁球经 0.1% 和 1% 酪蛋白溶液封闭后对非目标菌的吸附率均大于 10%。由于在正常生化 pH 值范围内, 酪蛋白溶解度仅在 0.8%~1.2%, 1% 酪蛋白溶液已接近饱和, 所以不能通过提高封闭液浓度的方法降低磁球非特异性吸附。用 7.5% 明胶溶液封闭磁球, 磁球对大肠埃希氏菌的吸附率为 $4.72\% \pm 0.48\%$, 对福氏志贺氏菌的吸附率是 $3.44\% \pm 0.90\%$ 。但经过浓度为 1% 或 0.1% 明胶溶液封闭磁球, 磁球对大肠埃希氏菌的的吸附率均超过 10%。说明当低浓度明胶作为封闭剂封闭磁球时, 磁

球依然会吸附大量大肠埃希氏菌。7.5% 明胶溶液作为封闭剂时, 被封闭的磁球对非目标菌的吸附率可以降低到 5% 以下, 说明明胶浓度越高, 磁球封闭效果越好。但明胶浓度过高时, 在室温条件下, 明胶会形成凝胶^[14], 不能充分分散与被封闭磁球结合, 所以浓度过高的明胶不能作为制备免疫磁球的封闭剂使用。用 7.5% 明胶溶液封闭后的磁球非目标菌的吸附率低于 1% 牛血清白蛋白溶液的封闭效果, 7.5% 明胶对磁球的封闭效果更好。

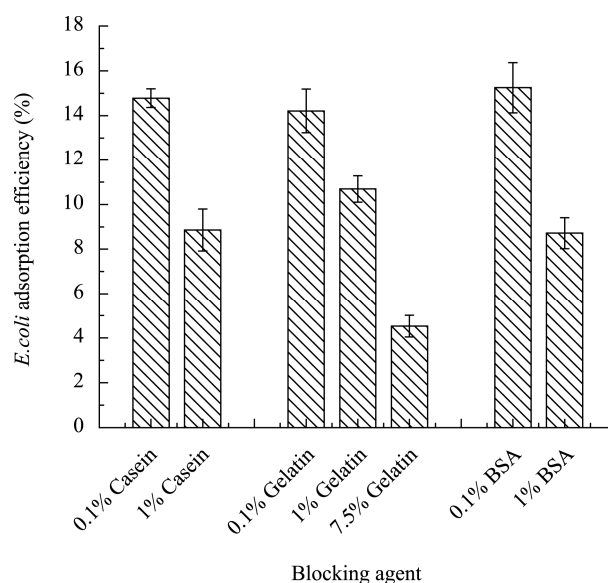


图 1 不同封闭液制备的磁球对大肠杆菌的吸附率

Fig. 1 Adsorption rate of magnetic beads on *E. coli* prepared by different blocking agent

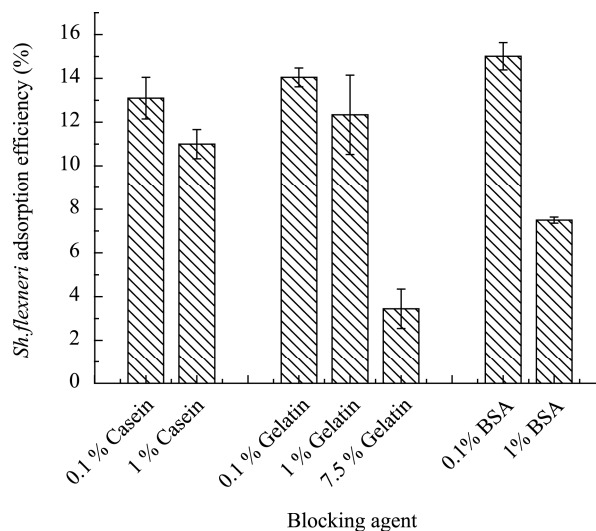


图 2 不同封闭液制备的磁球对福氏志贺氏菌的吸附率

Fig. 2 Adsorption rate of magnetic beads on *Sh. flexneri* prepared by different blocking agent

3.1.2 不同封闭液对免疫磁球捕获效率的影响

利用 7.5%明胶溶液、1%牛血清白蛋白溶液和 1%酪蛋白溶液分别封闭等量的磁球-抗体复合物。利用三种免疫磁球对 1mL 10^2 cfu/mL 菌液中的目标菌进行捕获, 捕获率如图 3 所示。

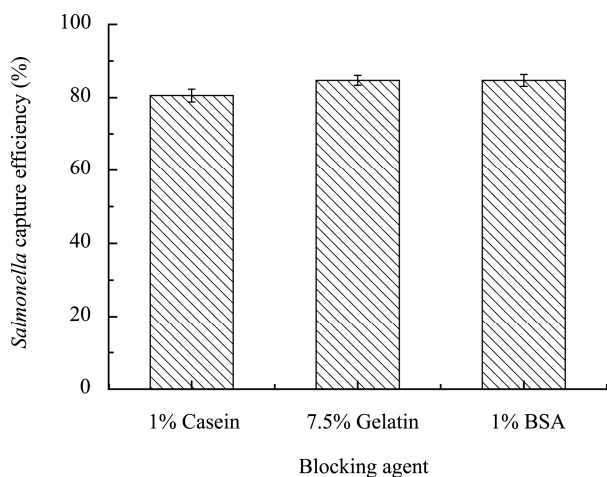


图3 不同封闭液制备的免疫磁球的特异性捕获率

Fig. 3 Specific capture rate of immunomagnetic beads prepared by different blocking agent

由图 3 可知, 利用 7.5%明胶溶液对磁球-抗体复合物进行封闭后, 免疫磁球对目标菌的特异性捕获率是 $84.57\% \pm 0.72\%$, 利用 1%牛血清白蛋白溶液封闭

后, 免疫磁球对微生物的特异性捕获率 $84.68\% \pm 0.31\%$, 两种蛋白质封闭后的免疫磁球对目标菌捕获效率大致相同。利用 1%酪蛋白溶液进行封闭后, 对目标菌的捕获率是 $80.73\% \pm 0.76\%$, 捕获效率仍在 80%以上。说明利用明胶封闭的免疫磁球与传统方法中利用牛血清白蛋白封闭的免疫磁球相比, 免疫磁球对目标菌的特异性捕获效率基本相同, 1%酪蛋白溶液封闭的免疫磁球对目标菌的捕获率低于其他两种蛋白。但经 7.5%明胶溶液封闭磁球对微生物的吸附率低于 1%牛血清白蛋白溶液封闭磁球的吸附率, 所以 7.5%明胶溶液与传统方法 1%牛血清白蛋白溶液相比更适合作为免疫磁球的封闭液。

3.2 免疫荧光验证试验

为了直观验证 7.5%明胶溶液更加适合作为免疫磁球的封闭液, 利用 7.5%明胶溶液、1%牛血清白蛋白溶液和 1%酪蛋白溶液分别封闭等量的磁球-抗体复合物。将三种免疫磁球分别投入相同浓度的目标菌液中捕获目标菌, 经磁分离后, 再向免疫磁球-目标菌复合物中加入兔源沙门氏菌多克隆抗体。若免疫磁球被封闭液封闭完全, 兔源沙门氏菌多克隆抗体只能与沙门氏菌结合, 不能与免疫磁球结合; 若免疫磁球封闭不完全, 免疫磁球和沙门氏菌均可以与兔源抗体结合。加入可与一抗结合的带有 FITC 标记的二抗后, 利用荧光显微镜进行镜检。

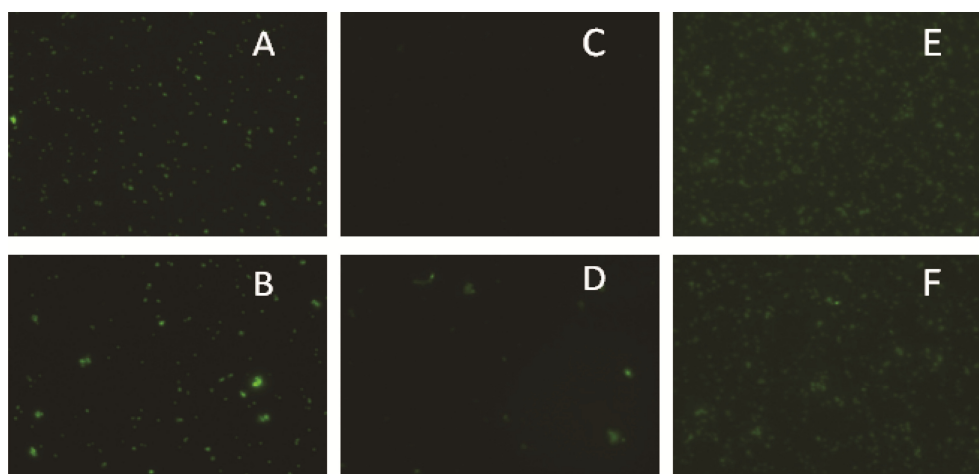


图4 A: 1% BSA 封闭免疫磁球, B: 1% BSA 封闭免疫磁球捕获细菌; C: 7.5% Gelatin 封闭免疫磁球, D: 7.5% Gelatin 封闭免疫磁球捕获细菌; E: 1%Casein 封闭免疫磁球, F: 1%Casein 封闭免疫磁球捕获细菌

Fig. 4 A: 1% BSA blocked immunomagnetic beads, B: 1% BSA blocked immunomagnetic beads to capture bacteria, C: 7.5% Gelatin blocked immunomagnetic beads, D: 7.5% Gelatin blocked immunomagnetic beads to capture bacteria, E: 1%Casein blocked immunomagnetic beads, F: 1%Casein blocked immunomagnetic beads to capture bacteria

由图 4 中 A、C、E 可以看出, 在曝光时间条件均相同的情况下, 利用 7.5%明胶溶液封闭的免疫磁球, 经 FITC 标记后, 单个免疫磁球亮度弱, 图片背景低。由图 B、D、F 可以看出, 捕获目标菌后, 图片中可见清晰免疫磁球-目标菌复合物。说明与 1%牛血清白蛋白溶液封闭免疫磁球相比, 经 7.5%明胶溶液封闭后的免疫磁球表面无多余位点, 不能再与兔源沙门氏菌多克隆抗体结合。本实验使用抗兔 IgG-FITC, 仅标记兔源抗体^[15]。当免疫磁球捕获目标菌后, 虽然磁球表面不能与兔源抗体结合, 但目标菌本身可与兔源抗体结合, 所以经过 FITC 标记后, 免疫磁球-目标菌复合物清晰可见。本实验利用免疫荧光方法验证 2.1 结论, 即与 1%牛血清白蛋白溶液相比, 7.5%明胶溶液作为封闭液效果更好。

3.3 明胶、酪蛋白对免疫磁球保存液的影响

目前普遍保持抗体活性的方法是提高保存液体系中蛋白含量, 即利用大量杂蛋白提高保存体系中的蛋白含量对抗体进行保护。抗体产生和存在于血浆之中, 血浆中含有大量蛋白保持了抗体的免疫活性^[16,17]。本研究模拟血浆组成成分, 以牛血清白蛋白作为基本成分, 在保存体系中添加少量明胶及酪蛋白。此外添加少量吐温 20 作为表面活性剂, 微量叠氮化钠和甘油组成免疫磁球保存液体系。

由表 1 可知, 无论三种成分的浓度高低, d 1 时免疫磁球的特异性捕获率均在 90%以上。延长保存时间到 d 3 时, 当保存液中吐温 20 的浓度为 5‰时, 免疫

磁球对目标菌的特异性捕获率高, 即保存液中存在高浓度吐温 20 有利于保存液对免疫磁球的长时间保存; 当保存液中酪蛋白浓度为 1‰时, 保存液保存的免疫磁球对目标菌捕获效率更高; 当保存液中明胶的浓度为 1‰对保存免疫磁球更有利。可以看出, 当保存液中存在一定浓度的表面活性剂时, 低浓度的明胶和酪蛋白就可以满足保存液中杂蛋白的数量, 保证免疫磁球的活性。

4 结 论

免疫磁球对目标菌特异性捕获性能, 不仅取决于磁球表面连接的特异性抗体性能, 同时也取决于表面封闭液的选择。本研究以明胶及酪蛋白作为研究对象, 通过分析磁球对非目标菌的吸附率和免疫磁球对目标菌的特异性捕获率, 得出结论 7.5%明胶溶液的封闭效果最佳。将菌体-免疫磁球复合物与带有 FITC 标记的二抗连接, 利用免疫荧光技术检测目标菌间接验证了与 1%BSA 相比 7.5%明胶作为封闭液封闭效果更佳。本研究免疫磁球保存液体系中添加 1‰明胶、1‰酪蛋白及 5‰吐温 20, 37 °C 条件下保存 3 d 后, 免疫磁球对目标菌的捕获率仍在 70%以上, 说明保存液对免疫磁球具有较好的保存效果。利用该保存液保存免疫磁球, 避免冻干过程中对免疫磁球抗体的影响, 为抗体的保存与运输提供新方法, 也为今后免疫磁球的广泛应用提供科学实验数据。

表 1 保存液中明胶、吐温 20、酪蛋白含量和保存时间对捕获率的影响

Table 1 The effect of content of gelatin, Twain 20 and casein in the preservation solution and storage time on the capture rate

序号	明胶、吐温 20、酪蛋白含量	捕获率(%)		
		1 d	2 d	3 d
A	1‰、1‰、1‰	92.93±0.66	46.16±1.27	29.38±2.27
B	1‰、1‰、5‰	93.03±1.24	34.56±1.26	3.33±0.08
C	1‰、5‰、1‰	92.05±0.21	76.31±0.08	73.52±2.96
D	1‰、5‰、5‰	93.74±1.20	56.26±1.78	10.14±0.21
E	3‰、3‰、3‰	93.75±1.10	58.87±2.14	42.09±0.78
F	3‰、5‰、3‰	92.93±0.17	64.45±0.16	54.56±1.50
G	5‰、1‰、1‰	91.85±0.21	51.33±0.62	19.72±0.60
H	5‰、1‰、5‰	92.68±0.25	32.05±2.31	13.44±1.78
I	5‰、5‰、1‰	93.24±0.64	76.08±1.84	59.00±0.03
J	5‰、5‰、5‰	93.75±0.21	58.87±2.81	52.09±4.18

参考文献

- [1] GB/T 4789.36-2008 食品卫生微生物学检验大肠埃希氏菌 O157:H7/NM 检验[S].
GB/T 4789.36-2008 Microbiological examination of food hygiene-examination of *Escherichia coli* O157:H7/NM [S].
- [2] Liu YC, Yang ZY, Du J, *et al.* Interaction of curcumin with intravenous immunoglobulin: a fluorescence quenching and Fourier transformation infrared spectroscopy study [J]. *Immunobiology*, 2008, 2013(8): 651-661.
- [3] 王世中. 单克隆抗体的理化性质[J]. *中华微生物学和免疫学杂志*, 1993, 3(2): 109-112.
Wang SZ, Antibody Production by Hybridomas, [J]. *Chin J Microbiol Immunol*, 1993, 3(2): 109-112.
- [4] 王书展, 陈复生, 杨宏顺, 等. 鱼明胶的功能特性与应用[J]. *明胶科学与技术*, 2013, 33(3): 125-132.
Wang SZ, Chen FS, Yang HS, *et al.* Functional properties and applications of fish gelatin [J]. *Elatin Sci Technol*, 2013, 33(3): 125-132.
- [5] 张建忠, 郇一心. 酪蛋白和酪蛋白制品的开发[J]. *中国乳品工业*, 1998, 26(6): 31-32.
Zhang JZ, Li YX. The development of casein and casein products [J]. *China Dairy Ind*, 1998, 26(6): 31-32.
- [6] Jahaniaval F, Kakuda Y, Abraham V, *et al.* Soluble protein fractions from pH and heat treated sodium caseinate: physicochemical and functional properties [J]. *Food Res Int*, 2000, 33(8): 637-647.
- [7] Lee SY, Morr, CV, Ha EYW. Structural and functional-properties of caseinate and whey-protein isolate as affected by temperature and pH [J]. *J Food Sci*, 1992, 57 (5): 1210-1213.
- [8] 郭圣荣. 医用生物降解性高分子材料[M]. 北京: 化学工业出版社出版, 2004.
Guo SR. Biodegradable polymer materials for medical use [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [9] Buchhammer HM, Olemann M. Fonnation of mono-Sized polyelectrolyte complex dispersions: effects of polymer strcture, concentration and mixing conditions [J]. *Colloids Surfaces A*, 2003, 218 (1-3): 151-159.
- [10] Dautzenberg H, Rother G, Hartmann J. Light-scattering-studies of polymer concentration [J]. *J Am Chem Soc*, 1994, 548: 210-224.
- [11] Vigayanathan V, Lyall J, Thomas T, *et al.* Ionic, structure and temperature effects on DNA nanoparticles formed by natural and synthetic polyamines [J]. *Biomacromolecules*, 2005, 6 (2): 1097-1103.
- [12] Cho CS, Komoto T, Nakagami A, *et al.* Interaction between poly (alalysine) and sulfated poly (Vinyl alcojol) [J]. *Makromolekulare Chemie-Macromolecular Chem Phy*, 1979, 180 (8): 1951-1959.
- [13] Latha MS, Lal AY, Kumary TV, *et al.* Progesterone release from glutaraldehyde cross-linked casein microspheres: In vitro studies and *in vivo* response in rabbits [J]. *Contraception*, 2000, 61(5): 329-334.
- [14] 徐润, 梁庆华. 明胶的生产及应用技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
Xu R, Liang QH. Production and application technology of gelatin [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000.
- [15] 林齐心, 陈赞风, 熊玉林. 一种免疫组化用二抗显色系统灵敏度、亲和力的测定方法[P]. 中国, CN 201310031750, 2013-05-22.
Ling QX, Chen ZF, Xiong YL. Method for determination of sensitivity and affinity of two color sensitivesystem for immunohistochemistry [P]. China, CN 201310031750, 2013-05-22.
- [16] Anderson NL, Polanski M, Pieper R, *et al.* The human plasma proteome, a non-redundant list developep by combination of four separate sources [J]. *Mol Cel Proteomics*, 2004, 3(4): 311-326.
- [17] Anderson NL, Anderson NG. The human plasma proteome: history, character, and diagnostic prospects [J]. *Mol Cell Protepmics*, 2002, 1(11): 845-967.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



许迪莘, 助理研究员, 主要研究方向为: 纳米免疫磁球技术应用及方法开发。
E-mail: xudixin_germaine@163.com

代凤英, 副研究员, 主要研究方向为生物分离磁性材料。
E-mail: daifengying@beijinglab.com.cn



杜美红, 副研究员, 主要研究方向为食品安全与快速检测。
E-mail: dumeihong@beijinglab.com.cn