金黄色葡萄球菌便携式计数测试片的研制

董娜[1]，崔雯雯[1]，徐琳琳[1]，郑慧纹[1]，史艳宇[2]，陈萍[1]
（1.吉林农业大学食品科学与工程学院，吉林长春 130118）（2.吉林省食品检验所，吉林长春 130022）

摘要：为了研制新型便携式计数测试片检测食品中金黄色葡萄球菌，本文通过正交试验对金黄色葡萄球菌测试片中培养基成份进行优化；研究冷水可溶性凝胶的复配比例，以及优化后的表面活性剂对复配凝胶质构特性的影响。结果表明，金黄色葡萄球菌测试片中培养基组分为胰蛋白胨 10 g/L，牛肉膏 5 g/L，酵母膏 1 g/L，甘氨酸 12 g/L，氯化锂 5 g/L，尿素 0.2 g/L，亚碲酸钾 10 mg/L，卵黄粉 6 g/L，表面活性剂最优添加量为 D-甘露醇 4 g/L，丙酮酸钠 5 g/L；冷水可溶性凝胶复配比例为瓜尔胶：聚丙烯酸钠=7:3；添加优化后的 D-甘露醇和丙酮酸钠的复合冷水可溶性凝胶可获得最优的凝胶质构，其硬度和黏性分别为 1362.04 g 和 630.41 g。将本研究的测试片与国标平板计数方法相比，其检测结果相关性良好(R^2=0.995)，可达到相同水平的检出限 2 CFU/mL 和灵敏度(100%)。本文研究的金黄色葡萄球菌测试片可应用于食品中金黄色葡萄球菌的定量检测。

关键词：金黄色葡萄球菌；测试片；冷水可溶性凝胶；质构特性
文章篇号：1673-9078(2020)03-296-301 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.3.039

Preparation of Portable Counting Card of *Staphylococcus aureus*

DONG Na[1], CUI Wen-wen[1], XU Lin-lin[1], ZHENG Hui-wen[1], SHI Yan-yu[2], CHEN Ping[1]
(1.Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)
(2.Jilin Institute for Food Control, Changchun 130022, China)

Abstract: In this paper, in order to develop a new type of portable counting card for the detection of *Staphylococcus aureus* in foods, optimization of medium composition of *S. aureus* count card by orthogonal experiment, the compounding ratio of the cold water soluble gel and the effect of the optimized surfactant on the texture properties of the composite gel were studied. The results showed that the medium components of *S. aureus* count card were tryptone 10 g/L, beef extract 5 g/L, yeast extract 1 g/L, glycine 12 g/L, lithium chloride 5 g/L, urea 0.2 g/L, potassium tellurite 10 mg/L, yolk powder 6 g/L, the optimal concentration of surfactants were D-mannitol 4 g/L, sodium pyruvate 5 g/L, the proportion of cold water soluble gel was guar gum: sodium polyacrylate=7:3. The optimal gel texture was obtained by adding the optimized cold water soluble gel of D-mannitol and pyruvate. The hardness and viscosity of the composite gel were 1362.04 g and 630.41 g respectively. Compared with the national standard plate counting method, the test results of this study have a good correlation (R^2=0.995), which can reach the same level of detection limit of 2 CFU/mL and sensitivity (100%). The *S. aureus* count card studied in this paper can be applied to the quantitative detection of *S. aureus* in foods.

Key words: *Staphylococcus aureus*; count card; cold water soluble gel; texture properties
引文格式：
董娜,崔雯雯,徐琳琳,等.金黄色葡萄球菌便携式计数测试片的研制[J].现代食品科技,2020,36(3):296-301
DONG Na, CUI Wen-wen, XU Lin-lin, et al. Preparation of portable counting card of *Staphylococcus aureus* [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(3): 296-301

食源性疾病是全球关注的公共问题，金黄色葡萄球菌是引起食源性疾病的主要病原菌之一[1]。金黄色葡萄球菌广泛存在于自然界中，且极易污染食物[2]。GB 29921-2013《食品安全国家标准食品中致病菌限量》规定了对肉制品、水产品、果蔬制品等食品中金黄色葡萄球菌的限量要求[3]。因此，检测食品中的金黄色葡萄球菌对提供安全的食物供应和降低食源性疾病发生率具有重要意义。

GB 4789.10-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验金黄色葡萄球菌检验》规定了食品中金黄色葡萄球菌的检验方法，该方法准确度高，但步骤繁琐，耗时耗力，不适用于基层便捷检测的要求[4]。近几年国内外开发了许多新型检测技术检测金黄色葡萄球

收稿日期：2019-09-17
基金项目：吉林省科技厅科技支撑重点研发项目（20180201048NY）；吉林省发改委经济战略调整开发项目（2018C045-2）
作者简介：董娜（1995-），女，硕士研究生，研究方向：食品质量与安全
通讯作者：陈萍（1968-），女，博士，教授，研究方向：食品质量与安全

菌，如核酸探针技术、实时 PCR 检测技术等，但这些方法耗费高，操作复杂，对技术人员要求较高[5]。而测试片法是基于特异性显色法，添加经优化后的培养基为目标菌提供营养物质促进其生长，利用微生物自身代谢产生的物质与相应显色底物结合产生特定的颜色产物来计数目标菌[6]。区别于国标平板计数法，测试片法采用冷水可溶性凝胶和显色培养基代替琼脂平板，具有操作简单，节省空间，便于携带运输等优点[7]。谭静[8]等将市售的金黄色葡萄球菌测试片与国标平板计数法进行比较，研究结果显示，当菌浓度为 10^2 CFU/mL 时，测试片法检出率低于国标平板计数法。梁景涛[9]等将市售的测试片与国标平板计数法及 Baird-Parker+RPF 倾注法进行比较，结果显示，当其样品接种液的菌含量控制在 150 个/mL 以内时，测试片法对食品中金黄色葡萄球菌的计数准确清晰，但当菌浓度过大时,测试片法较其他两种方法相比判读计数不准确。因此，金黄色葡萄球菌测试片在准确度和灵敏度方面仍有待改善。

本研究以国标法平板计数法中 Baird-Parker 培养基为基础，优化金黄色葡萄球菌测试片培养基组份及冷水可溶性凝胶的复配比例。冷水可溶性凝胶是一种亲水性胶体，作为琼脂的替代，有延缓微生物分解、提供固化粘合的作用[10]。且适宜配比下的复合冷水可溶性凝胶其硬度、黏性等质构特性具有协同增效的作用，可以达到更理想的效果[11]，本研究通过添加表面活性剂改变冷水可溶性凝胶的硬度、黏性，对其质构特性进行检测，分析冷水可溶性凝胶质构与金黄色葡萄球菌生长的关系，为金黄色葡萄球菌创造一个适宜生长的环境，制作出菌落清晰可见，显色明显，灵敏度高的金黄色葡萄球菌便携式计数测试片。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

胰蛋白胨、酵母浸粉、牛肉粉、丙酮酸钠、D-甘露醇、亚碲酸钾、卵黄粉等，阿拉丁试剂（上海）有限公司；聚丙烯酸钠、瓜尔胶，西亚生化试剂发展有限公司。

Baird-Parker 培养基：胰蛋白胨 10 g/L，牛肉膏 5 g/L，酵母膏 1 g/L，甘氨酸 12 g/L，氯化锂 5 g/L。

净化工作台，上海新苗医疗器械制造有限公司；KYC-100B 空气恒温摇床，上海新苗医疗器械制造有限公司；生化培养箱 SPX-30085SH-Ⅱ型，上海新苗医疗器械制造有限公司；TA-XT2 质构仪，英国 Stable Micro System 公司。

1.2 试验菌株

金黄色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*）来自吉林农业大学食品科学与工程学院食品安全实验室保藏菌种。

1.3 菌悬液的制备

挑取金黄色葡萄球菌单菌落接种到营养肉汤中，37 ℃振荡培养。取 25 mL 菌液加入 225 mL 无菌生理盐水混匀，制成 1:10 的稀释液，重复上述步骤制备 10 倍系列稀释梯度的菌悬液待用。

1.4 测试片的制备

制备金黄色葡萄球菌便携式计数测试片，其结构从上至下依次为：盖膜、中层支撑材料、底片。测试片盖膜为 PET 膜，中层支撑材料为聚丙烯透明塑料板，底片为防水防渗透的铜版纸。其中中层支撑材料与底片粘合构成培养区域，将金黄色葡萄球菌培养基均匀的加入到测试片培养区域，并使用环氧乙烷灭菌法对测试片进行灭菌。

1.5 金黄色葡萄球菌测试片培养基的研究

1.5.1 单因素试验

1.5.1.1 尿素用量优化

将 0.05 g/L、0.1 g/L、0.15 g/L、0.2 g/L、0.25 g/L 浓度的尿素分别与 Baird-Parker 培养基混合，同时添加 15 mg/L 的亚碲酸钾和 6 g/L 的卵黄粉，均匀地加入到金黄色葡萄球菌测试片培养区域。接种 1 mL 具有适当稀释度（约 10^2 CFU/mL）的金黄色葡萄球菌菌悬液，37 ℃温培养 24 h 后观察结果。

1.5.1.2 亚碲酸钾用量优化

将 5 mg/L、10 mg/L、15 mg/L、20 mg/L、25 mg/L 浓度的亚碲酸钾分别与 Baird-Parker 培养基混合，同时添加 0.15 g/L 的尿素和 6 g/L 的卵黄粉，均匀地加入到金黄色葡萄球菌测试片培养区域。接种 1 mL 具有适当稀释度（约 10^2 CFU/mL）的金黄色葡萄球菌菌悬液，于 37 ℃温培养 24 h 后，观察亚碲酸钾对金黄色葡萄球菌生长的影响。

1.5.1.3 卵黄粉用量优化

将 2.0 g/L、4.0 g/L、6.0 g/L、8.0 g/L、10.0 g/L 浓度的卵黄粉分别与 Baird-Parker 培养基混合，同时添加 0.15 g/L 的尿素和 15 mg/L 的亚碲酸钾，均匀地加入到金黄色葡萄球菌测试片培养区域。以国标培养基为对照组，接种 1 mL 具有适当稀释度（约 10^2 CFU/mL）的金黄色葡萄球菌菌悬液，在 37 ℃温培

养 24 h 后观察菌落形态并计数。

1.5.2 正交试验设计

在以上单因素试验的基础上，以尿素浓度、亚碲酸钾浓度和卵黄粉浓度为考察因素，进行三因素三水平正交试验设计，确定金黄色葡萄球菌测试片中培养基组份的最优组合，正交试验设计表如表 1 所示。

表 1 正交试验设计表

Table 1 Orthogonal test design table

水平	因素		
	A 尿素/(g/L)	B 亚碲酸钾/(mg/L)	C 卵黄粉/(g/L)
1	0.1	10	4
2	0.15	15	6
3	0.2	20	8

1.6 冷水可溶性凝胶的制备及其质构特性的研究

1.6.1 冷水可溶性凝胶的制备及其复配

冷水可溶性凝胶的制备按照 Ren[10]等的方法制备。

冷水可溶性凝胶的复配：将瓜尔胶和聚丙烯酸钠于 120 目分子筛过滤后的分别按 1:9、2:8、3:7、4:6、5:5、6:4、7:3、8:2、9:1、10:0 的比例混合均匀后，均匀涂抹于测试片表面，观察不同比例的复合冷水可溶性凝胶对金黄色葡萄球菌菌落生长的影响。

1.6.2 表面活性剂用量优化

将 2.0 g/L、4.0 g/L、6.0 g/L、8.0 g/L、10.0 g/L 浓度的 D-甘露醇和 1.0 g/L、3.0 g/L、5.0 g/L、7.0 g/L、9.0 g/L 浓度的丙酮酸钠与上述优化后的金黄色葡萄球菌培养基混合，分别均匀地加入到金黄色葡萄球菌测试片培养区域。以国标培养基为对照组，接种 1 mL 具有适当稀释度（约 10^2 CFU/mL）的金黄色葡萄球菌稀释液中，37 ℃温培养 24 h 后观察结果。

1.6.3 表面活性剂对复合冷水可溶性凝胶质构特性的影响

根据 Ramirez[12]等的方法测定表面活性剂 D-甘露醇和丙酮酸钠对复合冷水可溶性凝胶质构的影响。按照本实验室刘爽[13]等的前期研究成果，将表面活性剂（D-甘露醇：丙酮酸钠=1:1）与复配冷水可溶性凝胶以 3:7 的比例混合后装入直径为 4 cm 的铝盒中，使用质构仪（BROOKFIELD LFRA-4500）测定。质构仪设定参数为：测前速度 5.0 mm/s，测试速度 5.0 mm/s，测后速度 5.0 mm/s，直径 50 mm 的平底柱形探头 P/50，触发力：5 g。

1.7 金黄色葡萄球菌测试片检测性能评价

1.7.1 灵敏度检测

将制备好的金黄色葡萄球菌菌悬液，以生理盐水进行 10 倍梯度稀释到 10^{-4}~10^{-8}，使用测试片法和国标平板计数法进行菌落计数，培养后计数黑色菌落。试验重复三次，结果取平均值，以最低稀释度的检测结果作为最低检测限，以最低检测限作为测试片灵敏度的检测标准。检测结果大于最低检测限的为阳性，检测结果小于最低检测限的为阴性，灵敏度=阳性/(阳性+阴性)[14]。

1.7.2 准确度检测

将制备好的金黄色葡萄球菌菌悬液，以无菌生理盐水稀释至 10^2 CFU/mL 后，接种于测试片上。以国标平板计数法作为对照，培养 24 h 后进行菌落计数，建立金黄色葡萄球菌测试片法和国标平板计数法检测结果的标准曲线，以确定测试片的准确度。

1.8 数据处理与分析

使用 ORIGIN2017 和 IBS SPSS 24.0 软件进行数据的统计分析，各组数据均采用单因素 ANOVA 方差分析，显著水平被设定为 $p<0.05$，采用 SNK 方法对差异显著的结果进行两两比较[15]，结果用平均值（X）±标准偏差(SD)表示。

2 结果与分析

2.1 金黄色葡萄球菌测试片培养基的研究

2.1.1 培养基单因素试验结果

实验中不同浓度的尿素、亚碲酸钾及卵黄粉对金黄色葡萄球菌生长的影响如图 1 所示。

不同浓度的尿素对金黄色葡萄球菌生长如图 a 所示，随着尿素浓度的增加，金黄色葡萄球菌菌落数呈上升趋势，当其浓度达到 0.15 g/L 时，金黄色葡萄球菌菌落数达到最大值；随着尿素浓度的继续增加，金黄色葡萄球菌菌落数趋于平缓。因此，选择 0.15 g/L 为尿素最优浓度。

亚碲酸钾作为抑制剂对大肠杆菌、沙门氏菌等其他细菌有较大的抑制作用，但对金黄色葡萄球菌的生长抑制作用影响较小，其原因主要是亚碲酸钾具有较强的氧化性，可以抑制大部分微生物，而金黄色葡萄球菌中具有可以编码 O-乙酰丝氨酸裂解酶 B 的基因，可以将亚碲酸钾还原成碲元素，使菌落显黑色，所以受到的影响较小[16]。如图 c 所示，亚碲酸钾浓度在 10

mg/L~15 mg/L 时，金黄色葡萄球菌菌落数显著增加，但由图 1 中 a、c 的试验结果对比可知，当亚碲酸钾浓度为 15 mg/L 时，金黄色葡萄球菌所呈现的颜色较深，随着亚碲酸钾浓度的增加，菌落颜色保持不变。因此，为了便于观察和计数，且考虑试验成本，最终选择 15 mg/L 为亚碲酸钾的最优浓度。

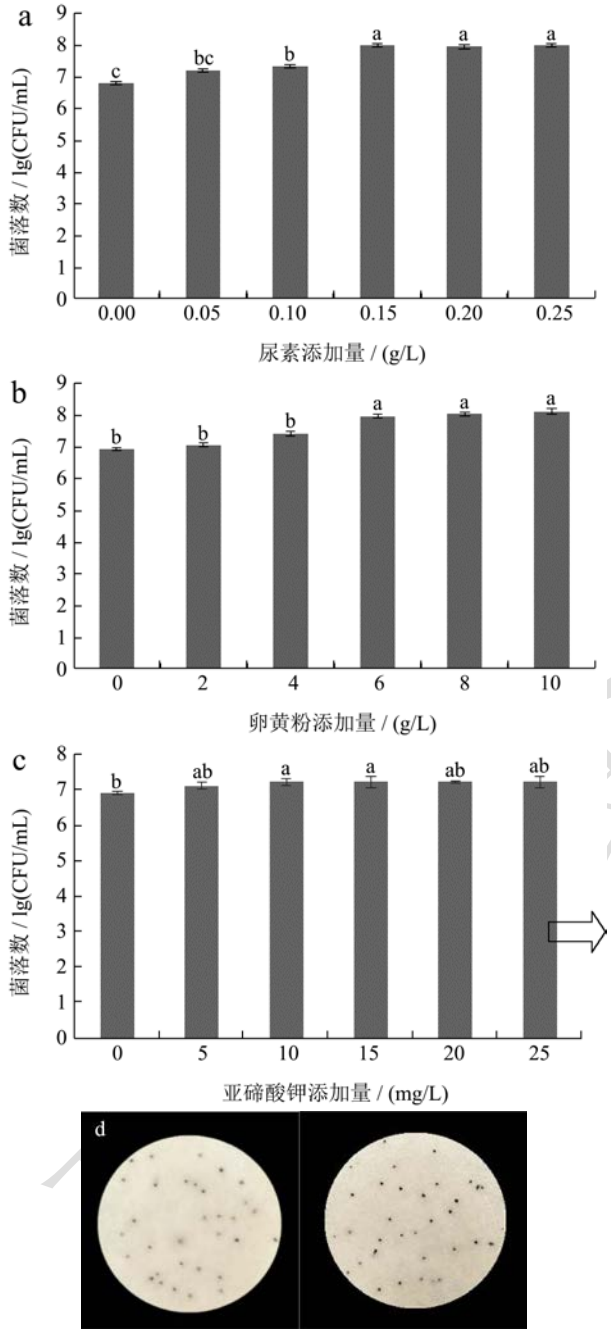


图 1 不同浓度尿素、亚碲酸钾、卵黄粉对金黄色葡萄球菌生长影响

Fig.1 Effects of different concentrations of urea, potassium citrate and egg yolk on the growth of S. aureus

注：图中小写字母相同表示两者差异不显著(p>0.05)，不同表示差异显著(p<0.05)；下同。

不同浓度的卵黄粉对金黄色葡萄球菌生长如图 b 所示，随着卵黄粉浓度的增加，金黄色葡萄球菌菌落数呈上升趋势，当卵黄粉浓度达到 6 g/L 时，金黄色葡萄球菌菌落数达到最大值；随着卵黄粉浓度的继续增加，金黄色葡萄球菌菌落数趋于平缓。因此，选择 6 g/L 为卵黄粉的最优浓度。

2.1.2 正交试验结果

表 2 正交试验结果

Table 2 Orthogonal test results

试验号	因素			金黄色葡萄球菌菌落数/(CFU/mL)
	A	B	C	
1	1	1	1	184
2	1	2	2	100
3	1	3	3	215
4	2	1	2	248
5	2	2	3	141
6	2	3	1	177
7	3	1	3	201
8	3	2	1	204
9	3	3	2	219
K_1	499	633	565	
K_2	566	445	567	
K_3	624	611	557	
k_1	166.33	211	188.33	
k_2	188.67	148.33	189	
k_3	208	203.67	185.67	
R	41.67	62.67	3.33	

根据 2.1.1 单因素试验结果，选取适宜浓度的尿素、亚碲酸钾和卵黄粉为试验因素，进行三因素三水平正交试验，结果如表 2 所示：影响金黄色葡萄球菌的生长因素顺序为：亚碲酸钾>尿素>卵黄粉。结合极差分析，确定培养基最佳配方为 $A_3B_1C_2$，即尿素 0.2 g/L，亚碲酸钾 10 mg/L，卵黄粉 6 g/L。

为了验证正交试验结果的准确性，本文在此条件下了进行了 3 次平行试验，结果表明，在此最优组合条件下，测试片中金黄色葡萄球菌菌落数为 251±3 CFU/mL，优于正交试验中菌落数最大值，与正交试验结果相符。

2.2 凝胶质构特性的研究

2.2.1 复合冷水可溶性凝胶比例的确定

如图 2 所示，瓜尔胶与聚丙烯酸钠的比例对金黄色葡萄球菌生长有较大影响，当瓜尔胶和聚丙烯酸钠的比例为 7:3 时，金黄色葡萄球菌菌落数达到最大值。因此，金黄色葡萄球菌测试片复合冷水可溶性凝胶的最佳比例为瓜尔胶：聚丙烯酸钠=7:3。

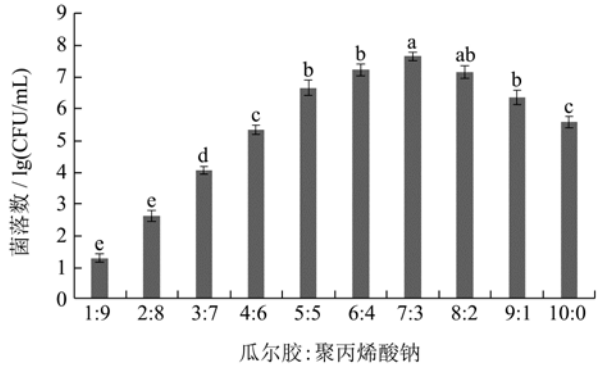


图 2 复合凝胶比例对金黄色葡萄球菌生长的影响

Fig.2 Effect of compound gel ratio on the growth of *S. aureus*

2.2.2 表面活性剂对金黄色葡萄球菌生长及凝胶质构特性影响的研究

由图 3 可知，随着表面活性剂浓度的增加，对金黄色葡萄球菌的生长促进作用呈先上升后平稳的趋势，当 D-甘露醇浓度为 4 g/L、丙酮酸钠的浓度为 5 g/L 时，金黄色葡萄球菌菌落总数达到最大值，随着 D-甘露醇和丙酮酸钠浓度继续增加，金黄色葡萄球菌菌落生长趋于平缓。所以，选择 4 g/L 浓度的 D-甘露醇和 5 g/L 浓度的丙酮酸钠作为表面活剂，改善金黄色葡萄球菌测试片中复合冷水可溶性凝胶的质构特性，促进金黄色葡萄球菌在测试片中的生长。

金黄色葡萄球菌是需氧和兼性厌氧型细菌，刘爽[13]等研究在一定的冷水可溶性凝胶质构特性条件下，可创造适宜菌落生长及培养的环境。所以本研究添加经筛选后得到的最优浓度的表面活性剂改变冷水可溶性凝胶质构特性，增加测试片的透气性，促进其生长。如表 3 所示，与国标平板琼脂组相比，不添加表面活性剂的复合冷水可溶性凝胶空白对照组的硬度和黏性显著降低（p<0.05），菌落数也少于国标平板琼脂组；在添加表面活性剂 D-甘露醇和丙酮酸钠后，其硬度和黏性可达到 1362.04 g 和 630.41 g，与国标平板琼脂组相比，菌落数无明显差异（p>0.05）。

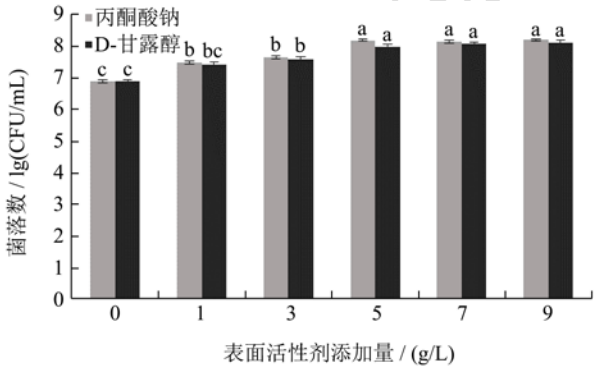


图 3 不同浓度表面活性剂对金黄色葡萄球菌生长影响

Fig.3 Effect of different concentrations of surfactants on the growth of *S. aureus*

表 3 表面活性剂对复合冷水可溶性凝胶的质构及菌落生长影响

Table 3 Effects of surfacetants on texture of compound gel and colony growth

项目	硬度/g	黏性/g	弹性/mm	内聚性	胶着性	回复性/mm	菌落数/(CFU/mL)
国标平板琼脂	1379.00±6.15	617.22±9.37	0.94±0.09	0.325±0.04	5.14±16.39	0.10±0.01	82±1.30
复合凝胶+表面活性剂	1362.04±2.14	630.41±2.24	0.99±0.06	0.364±0.05	5.99±0.02*	0.09±0.02	90±1.36
空白(复合凝胶)	1246.00±9.21*	368.69±34.73*	1.11±0.06	0.415±0.04*	5.47±0.26	0.07±0.06*	77±2.03*

注：*与国标平板琼脂组相比差异较显著。

表 4 金黄色葡萄球菌测试片灵敏度检测

Table 4 Sensitivity detection of S. aureus count card

检测方法	稀释度						灵敏度
	空白	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	
国标法菌落数/(CFU/mL)	0	多不可计	多不可计	299±2.16	40±3.89	2±1.24	100%
测试片法菌落数/(CFU/mL)	0	多不可计	多不可计	300±3.93	38±2.45	2±1.41	100%

2.3 金黄色葡萄球菌测试片性能评价

2.3.1 金黄色葡萄球菌测试片灵敏度检测

如表 4 所示，采用金黄色葡萄球菌测试片与 GB 4789.10-2016 平板计数法[7]作对比试验，结果表明，金黄色葡萄球菌测试片的检测限为 2 CFU/mL，与国标法检测限相同，灵敏度达到 100%。同时对 30~300 可计数范围内的菌落进行数据分析，得到结果 t=-1.807，p=0.422>0.05，表明测试片法与国标法的检测结果无差异显著性。

2.3.2 准确度检测

图 4 为测试片法与国标方法检测结果比较图片，由图 5 两种检测方法的线性相关曲线可知，测试片法和 GB 4789.10-2016 平板计数法[7]检测结果相关性较好，R^2 达到 0.995，具有良好的线性关系，表明两种方法对金黄色葡萄球菌菌落计数无差异显著性。

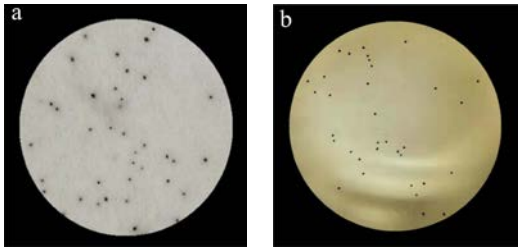


图 4 测试片法与国标法图片比较

Fig.4 Comparison of count card method and national standard method picture

注：a:金黄色葡萄球菌测试片；b:国标平板计数法。

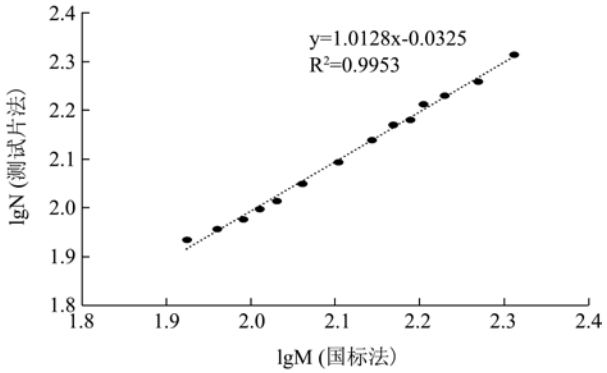


图 5 测试片法与国标法检测结果线性相关曲线

Fig.5 Linear correlation curve between count card method and national standard test result

3 结论

本实验在 Baird-Parker 培养基的基础上，对测试片的营养成分进行研究，添加速效氮源，优化亚碲酸钾和卵黄粉用量，并对优化后的单因素进行正交试验，确定添加尿素 0.2 g/L，亚碲酸钾 10 mg/L，卵黄粉 6 g/L；确定测试片中冷水可溶性凝胶的复配比例为瓜尔胶：聚丙烯酸钠=7:3，添加优化后的 D-甘露醇 4 g/L 和丙酮酸钠 5 g/L 的复合冷水可溶性凝胶可获得最优的凝胶质构，其硬度和黏性分别为 1362.04 g 和 630.41 g。将本文研究的测试片法与 GB 4789.10-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验金黄色葡萄球菌检验》中平板计数法进行对比，检测结果线性相关性良好，灵敏度可达到 100%，检出限可达到 2 CFU/mL，金黄色葡萄球菌菌落计数清晰可见，显色效果较好。本文所研究的金黄色葡萄球菌便携计数测试片具有显色清晰、检出限低、灵敏度高的优点，可应用于食品中金黄色葡萄球菌的检测。

参考文献

[1] Wang H W, Wang H H, Liang L J, et al. Prevalence, genetic characterization and biofilm formation *in vitro* of staphylococcus aureus isolated from raw chicken meat at retail level in Nanjing, China [J]. Food Control, 2008, 86: 11-18

[2] Inês B, Sílvia M R, Ângela C, et al. Inactivation of *Staphylococcus aureus* by High Pressure Processing: An Overview [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 36: 128-149

[3] GB 29921-2013 食品安全国家标准食品中致病菌限量[S]
GB 29921-2013 National food safety standard limit of pathogenic bacteria in food [S]

[4] GB 4789.10-2016 食品安全国家标准食品微生物学检验金黄色葡萄球菌检验[S]
GB 4789.10-2016 National Food Safety Standard Food Microbiology Inspection *Staphylococcus aureus* Inspection [S]

[5] 董蕾,刘慧敏,孟璐,等.快速检测金黄色葡萄球菌活菌的研究进展[J].食品工业,2017,38(10):253-259
DONG Lei, LIU Hui-min, MENG Lu, et al. Research progress on rapid live *Staphylococcus aureus* detection methods [J]. Food Industry, 2017, 38(10): 253-259

[6] Orenga S, James A L, Manaf M, et al. Enzymatic substrates in microbiology [J] Journal of Microbiological Methods, 2009, 79(2): 139-155

[7] 孔祥瑞,王洪柱.金黄色葡萄球菌检测方法的研究进展[J].中国乳业,2017,10:72-74
KONG Xiang-rui, WANG Hong-zhu. Progress in detection of *Staphylococcus aureus* [J]. China Dairy, 2017, 10: 72-74

[8] 谭静,平洋,朱海华.金黄色葡萄球菌两种检测方法的比较研究[J].食品安全质量检测学报,2016,7(6):2277-2280.
TAN Jing, PING Yang, ZHU Hai-hua. Comparative study of 2 kinds of detection methods for *Staphylococcus aureus* [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2016, 7(6): 2277-2280

[9] 梁景涛,谢翊,林秋芬,等.3 种食品中金黄色葡萄球菌检测方法的比较研究[J].中国卫生检验杂志,2010,20(4):790-791
LIANG Jing-tao, XIE Yi, LIN Qiu-fen, at al. Comparison of three methods in detection of *Staphylococcus aureus* in food [J]. Chinese Journal of Health Inspection, 2010, 20(4): 790-791

[10] Ren D Y, Wang Y R, Chen P, et al. Research and application on the characteristics of compound cold water soluble gel in petrifilm aerobic count plates [J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 82: 335-341

（下转第 218 页）