

# 正交试验法在牛乳质量管理中的应用

李大芳 吴元桃

(南京财经大学管科科学与工程学院, 210046, 15151864232, ldfcahty@163.com)

**摘要:** 牛乳生产中的加工处理过程以及销售阶段的贮存方式很大程度上影响了牛乳的质量, 优化这两个过程可以很好的提高乳产品质量。本文将离心技术应用于牛乳的除菌工艺上, 通过正交试验法, 对影响牛乳的除菌效果以及包装贮存的因素进行了研究, 并利用 Minitab 软件对试验结果进行极差、方差分析。对离心除菌设计了一个单指标 2 因素 5 水平有交互作用的正交表, 对牛乳贮存设计了一个 2 指标 2-3 混合水平的正交表, 本文优选出了离心技术的最佳灭菌工艺以及包装贮存的条件, 补充了正交试验法在这个领域的应用。

**关键词:** 正交试验法; 离心除菌; 包装贮存

## 1 引言

牛乳中含有丰富的营养物质, 是人类长期以来用以补充身体营养、能量的首选产品。但是生鲜牛乳在挤出或者奶牛养殖的环节中不可避免地, 受内在、外在环境因素的污染, 产生一些潜在的病原微生物, 如沙门氏菌、李斯特氏菌等。因此, 需要对生鲜牛乳进行加工处理, 以达到除菌、延长保质期的效果。传统的巴氏杀菌能够达到灭菌标准且口感风味好, 但因保质期短而在我国受到了限制; 而 UHT (超高温消毒) 乳能达到几乎完全无菌, 但营养物质流失严重、口感风味差, 难以满足消费者需求<sup>[1]</sup>。因此对牛乳加工工艺的研究, 在保持口感风味和延长产品保质期之间寻求最佳平衡点一直是科学家们不曾停止的研究工作。在这样的背景下, 利用一些新技术并将其应用到乳品加工工艺中, 可以作为改进牛乳保持口感和延长保质期之间矛盾的新思路。离心技术是一项根据颗粒在作匀速圆周运动时受到一个外向的离心力的行为而发展起来的分离技术, 将其应用于生鲜牛乳加工工艺中, 可以有效分离出生鲜牛乳中的沉淀物、生物大分子、体细胞等物质, 以达到除菌的效果。应用此技术进行加工处理的生鲜牛乳, 在达到除菌标准的情况下, 其保质期较于传统的巴氏杀菌乳延长了 1-2 周, 这对于全面提升我国液态乳的加工技术水平, 延长乳品货架期具有十分重要的现实意义。

然而牛乳的除菌工艺并没有杀灭掉所有的细菌和芽孢<sup>[2]</sup>。乳中含有极其丰富的营养成分, 十分适合微生物的生长, 且时间越长微生物之增长数目越多。与此同时, 牛乳还极易受贮存环境中的光照、温度、氧气等因素影响, 使得牛乳氧化腐败变质, 流失营养物质。因此使用好的包装材料可以防止光照造成营养流失, 空气中的污染物污染牛乳、加快微生物的生长繁殖, 由此可以看出牛乳的包装、贮存条件在保持鲜乳的营养价值上具有至关重要的作用。

正交试验设计用部分试验代替全面试验寻找最佳工艺参数, 因为具有试验次数少, 使用简单, 效果好, 效率高从而大大减少了试验的工作量和收益计算量。将其应用在离心技术除菌工艺上, 可通过对有代表性的试验进行分析, 直观便捷地优选出最佳除菌工艺; 将其应用在牛乳的包装贮存上, 相较于传统的控制变量法, 可以大大的减少人力、物力和财力, 以较少的试验次数合理选择出牛乳的包装方式和贮存条件。

## 2 研究现状

### 2.1 离心技术研究现状

虽然关于离心技术除菌的文章只有寥寥数篇, 但是他们用实验说明了离心技术在牛乳除菌上可行性。生庆海, 王玉良等<sup>[3]</sup>使用单因素分析法, 分别研究了离心力、离心时间、温度对牛乳除菌效果的影响; 张修军, 姚晶<sup>[4]</sup>将离心技术与巴氏杀菌装置配合使用, 研究了原料奶中细菌总数、芽孢数对除菌效果的影响, 结果符合保湿杀菌乳的要求; 任璐, 于鹏等<sup>[5]</sup>运用离心技术对牛乳进行除菌,

用 9 组实验研究了离心除菌对细菌总数、嗜冷菌、芽孢数、杂菌总数的影响，结果证实了离心技术除菌是有效的、可行的。任璐等人的研究证实了离心技术的可行性，但是对离心条件没有进行研究；生庆海等人研究了不同离心条件对除菌效果的影响，但是单因素分析法使得试验次数多而繁杂。因此本文将基于此使用正交试验法来安排试验，降低试验次数，减少成本，找出离心条件的最优组合。

## 2.2 牛乳包装及贮存研究现状

安朋朋，刘光磊<sup>[6]</sup>等人通过在牛乳中添加不同防腐剂并将其保存在不同的温度下，然后对牛乳进行 DHI（生物性能测定）指标测定，结果表明防腐剂的影响在误差范围内，而-10℃对乳脂率的稳定性不利，冷藏温度 4℃最宜牛乳的保存，30℃以上则无法保证大部分指标的稳定性；任美燕<sup>[7]</sup>总结了不同牛乳包装材料的优点以及不足之处，提出包装可回收利用的发展前景，肯定了包装的重要性；白婧，李冉等<sup>[8]</sup>研究了不同包装材料对牛乳保存时酸度、细菌总数、维生素等变化的影响，找出了牛乳的最佳包装材料，并比较了牛乳贮存时避光、光照对牛乳品质变化的影响。

牛乳的包装和贮存对于牛乳品质的影响显然十分重要，以往的文章中也肯定了其重要性，但是对于牛乳的包装和贮存如何影响牛乳品质缺乏量化的比较。因此本文选用正交试验法来安排试验，较于白婧等人的研究减少了试验次数，试验结果的极差、方差分析为牛乳的不同包装、贮存条件对试验结果的影响给出了直观、可靠的结果分析。

## 3 正交试验设计在牛乳质量管理中的应用与分析

### 3.1 离心技术对牛乳品质及灭菌效果的影响

原料乳中含有多种微生物，在贮藏过程中会大量繁殖，影响牛乳口感风味。离心技术已经在一些欧洲国家干酪的生产中，目前许多国家也正尝试将该技术应用于 ESL（延长货架期）乳的生产中，除菌的同时延长产品保质期<sup>[9]</sup>。本文将离心技术应用到牛乳除菌工艺中，对影响牛乳除菌效果的因素进行探讨，寻找最佳除菌操作条件。

#### 1. 试验目的和试验指标

本试验的目的是探究离心技术 2 种因素及其交互作用对牛乳灭菌效果的影响，优化牛乳除菌工艺条件，优选出牛乳最佳除菌条件。试验指标为菌落总数（104 CFU/mL），牛乳经过离心技术后的菌落总数，值越小，除菌越好。

#### 2. 因素和水平

本试验将考察离心力、离心时间两个影响牛乳除菌效果的因素及其交互作用，影响原理如下：

（1）离心力：离心技术的除菌原理是利用物体高速旋转时产生的离心力，使旋转体中的悬浮颗粒发生沉降或漂浮，从而达到分离的效果。离心力的大小影响着牛乳中悬浮颗粒的分离效果，从而影响牛乳的除菌效果。

（2）离心时间：除菌时间影响着牛乳的除菌效果，随着时间的增加，细菌的变化逐渐不明显，除菌效果会逐渐降低。为避免不必要的浪费，合理的选择离心时间对于离心除菌过程十分重要。每个因素各取 5 个水平，具体结果如下：

表 1 离心技术因素水平

水平	因素	
	离心时间 (min)	离心力 (×g)
1	1	2000
2	3	2500

3	5	3000
4	7	3500
5	10	4000

### 3. 正交表的生成和试验

此次试验各因素都取 5 个水平，因此应选用五水平正交表。又因为本次试验考察 2 个因素及其交互作用，预留一个误差列，则可以选择 L25 (56) 正交表。根据五水平正交表生成试验方案并安排试验，同时记录试验结果，填在对应的试验条件后。试验时，可将 1 至 25 号试验的顺序随机进行。试验结果如图 1 所示：

	A离心时间	B离心力	C离心时间×离心力	D空列1	E空列2	F空列3	菌落总数
1	1	1	1	1	1	1	8.1150
2	1	2	2	2	2	2	6.0568
3	1	3	3	3	3	3	4.5811
4	1	4	4	4	4	4	3.6879
5	1	5	5	5	5	5	3.3772
6	2	1	2	3	4	5	6.5122
7	2	2	3	4	5	1	4.4511
8	2	3	4	5	1	2	2.9724
9	2	4	5	1	2	3	2.0763
10	2	5	1	2	3	4	1.7627
11	3	1	3	5	2	4	5.5803
12	3	2	4	1	3	5	3.5162
13	3	3	5	2	4	1	2.0347
14	3	4	1	3	5	2	1.1356
15	3	5	2	4	1	3	0.8190
16	4	1	4	2	5	3	5.3192
17	4	2	5	3	1	4	3.2522
18	4	3	1	4	2	5	1.7678
19	4	4	2	5	3	1	0.8658
20	4	5	3	1	4	2	0.5463
21	5	1	5	4	3	2	6.1855
22	5	2	1	5	4	3	4.1142
23	5	3	2	1	5	4	2.6253
24	5	4	3	2	1	5	1.7189
25	5	5	4	3	2	1	1.3951

### 4. 极差分析

利用 Minitab 得出离心技术除菌条件均值响应表（表 2）和各因素与菌落总数的关系趋势图（图 2）

表 2 离心技术均值响应

水平	因素					
	A 离心时间	B 离心力	C 离心时间×离心力	D 空列 1	E 空列 2	F 空列 3
1	5.164	6.342	3.379	3.376	3.376	3.372
2	3.555	4.278	3.376	3.378	3.375	3.379
3	2.617	2.796	3.376	3.375	3.382	3.382
4	2.350	1.897	3.378	3.382	3.379	3.382
5	3.208	1.580	3.385	3.382	3.382	3.378
Delta 排序	2.8132	4.7621	0.0103	0.0075	0.0076	0.0104

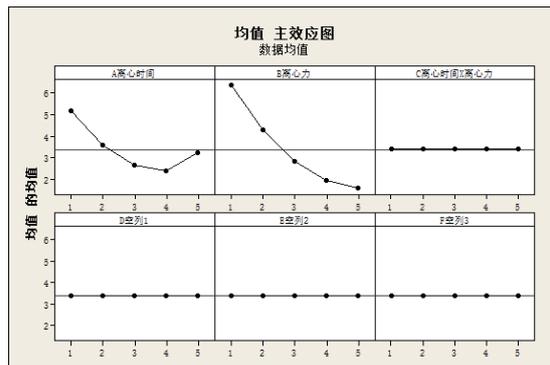


图2 菌落总数均值主效应

根据极差分析结果可知，影响牛乳菌落总数的因素主次顺序为：B 离心力>A 离心时间，离心力对减少菌落总数的影响较大，A、B 间无交互作用。离心技术最佳除菌工艺条件为 A4B5，即离心时间为 7min，离心力 4000×g。离心时间在一定范围内，菌落总数随着离心时间的增加而呈现出先减后增的趋势，离心时间 3 水平与 4 水平的菌落总数减少的幅度低，趋势平缓，从节能、便利的角度考虑，离心时间应当选择 3 水平即 5min；菌落总数随着离心力的增大呈现递减的趋势，离心力越大，除菌效果越好，在 2500×g 以下牛乳除菌效果显著，随后除菌效果虽然还在增加，但是变化缓慢，因此离心力可以适当选择在 2500-3000×g 左右。

### 5. 方差分析

以菌落总数为响应值，运用 Minitab 得出方差分析结果如下图。

菌落总数 的方差分析，在检验中使用调整的 SS

来源	自由度	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A离心时间	4	24.4188	24.4188	6.1047	99081.08	0.000
B离心力	4	76.8137	76.8137	19.2034	311676.96	0.000
C离心时间×离心力	4	0.0003	0.0003	0.0001	1.23	0.349
误差	12	0.0007	0.0007	0.0001		
合计	24	101.2336				

图3 离心技术方差分析

方差分析中，A、B 交互作用的列偏差平方和小于误差的列偏差平方和，故将 A、B 交互作用列并入误差，提高 F 检验灵敏度。由方差分析结果可知，A、B 两因素 p 值趋近于零，离心时间、离心力两个因素均高度显著，对牛乳除菌有显著影响。

### 6. 总结

综合离心技术除菌极差、方差分析，离心时间、离心力对牛乳除菌均具有显著作用。本次试验结合试验结果以及从经济的角度考虑，离心技术最佳除菌工艺为：离心时间 5min，离心力 2500×g 或 3000×g。原料乳经过离心除菌，可以提高产品品质，延长保质期，为保持牛乳风味和保质期短之间的矛盾提供解决思路。

### 3.2 不同包装、贮存条件对牛乳品质的影响

牛乳在储存环境中极易受光照、温度、尘埃等因素的影响，包装对于食品具有保护性、降低污染程度、提高品牌价值等功能，好的包装可以防止微生物对鲜乳的污染以及光照引起的营养物质损失。因此，鲜牛乳的包装、贮存条件对牛乳的品质具有很大的影响，本文接下来将对不同包装、贮存条件对牛乳品质的影响进行研究。

#### 1. 试验目的和试验指标

本试验的目的是探究鲜牛乳的包装方式、光照程度、储存时间三个因素对牛乳品质的影响，优选出鲜牛乳最佳贮存条件。试验指标为细菌总数 (1g CFU/mL)、酸度 (°T)，它们的值越小，储存效果越好。

#### 2. 因素和水平

鲜牛乳品质受光照条件、储存时间、包装方式 3 个因素的影响，各因素影响原理如下：

(1) 光照强度：光中的可见光、紫外光容易被牛乳中的色素吸收，使其发生光氧化作用；而光氧化作用促进牛乳酸败，从而影响其质量。本次试验考虑的光照条件有避光和正常光照两种，按照照度标准值，避光条件下光照强度为 0.5Lx，一般超市营业厅光照强度 300Lx。

(2) 时间：随着时间的增加，牛乳中残留细菌会加倍繁殖，酸度也会逐渐下降，从而影响牛乳的风味质量。

(3) 包装方式：牛乳在贮存过程中，易受空气污染，又受光照、温度的影响，而好的包装可以

很好的组个空气的污染物、光照等。

光照条件取 2 个水平，储存条件、包装方式各取 3 个水平，结果如下：

表 3 储存条件因素水平

水平	因素		
	光照强度 (Lx)	时间 (d)	包装方式
1	0.5	2	塑料桶
2	300	4	屋顶盒
3		7	袋装

### 3. 正交表的选择

此次试验各因素水平不全相同，因此选用 2-3 混合水平正交表。本次试验中有 3 个影响因素，预留误差列则可以选择 L18(2×33) 正交表来安排试验。根据 2-3 混合水平正交表生成试验方案并安排试验，并记录试验结果，填在对应的试验条件后。试验时，可将 1 至 18 号试验的顺序随机进行。试验结果如图 4 所示：

	A光照强度	B包装	C时间	D空列	细菌总数	酸度
1	1	1	1	1	2.00	12.84
2	1	1	2	2	3.75	13.10
3	1	1	3	3	6.71	13.60
4	1	2	1	1	1.98	12.78
5	1	2	2	2	3.01	13.03
6	1	2	3	3	6.08	13.51
7	1	3	1	2	2.25	13.20
8	1	3	2	3	3.97	13.51
9	1	3	3	1	7.06	13.98
10	2	1	1	3	2.98	13.10
11	2	1	2	1	3.84	13.40
12	2	1	3	2	6.82	13.71
13	2	2	1	2	2.96	13.08
14	2	2	2	3	3.81	13.06
15	2	2	3	1	6.79	13.59
16	2	3	1	3	2.49	13.58
17	2	3	2	1	3.98	13.75
18	2	3	3	2	7.04	14.16

### 4. 极差分析

运用 Minitab 得出酸度均值响应表，如表 4 所示。

表 4 酸度均值响应

水平	因素			
	A 光照强度	B 包装	C 时间	D 空列
1	13.28	13.29	13.10	13.39
2	13.51	13.20	13.33	13.38
3		13.70	13.76	13.42
Delta	0.22	0.50	0.66	0.04
排序	3	2	1	4

作出各因素与酸度的趋势图，如图 5：

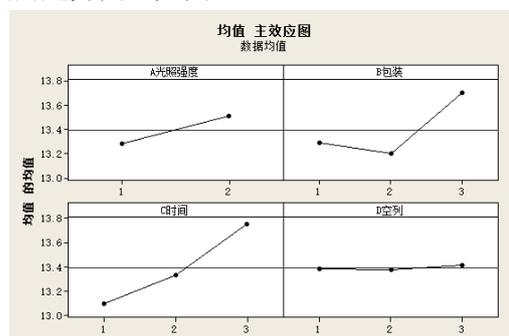


图 5 酸度各因素均值主效应

同理，得出细菌总数均值响应表，如表 5 所示。

表 5 细菌总数均值响应

水平	因素			
	A 光照强度	B 包装	C 时间	D 空列
1	4.090	4.350	2.358	4.275
2	4.467	4.020	3.727	4.220
3		4.465	6.750	4.340
Delta	0.377	0.445	4.392	0.120
排秩	3	2	1	4

作出各因素与酸度的趋势图，如图 6：

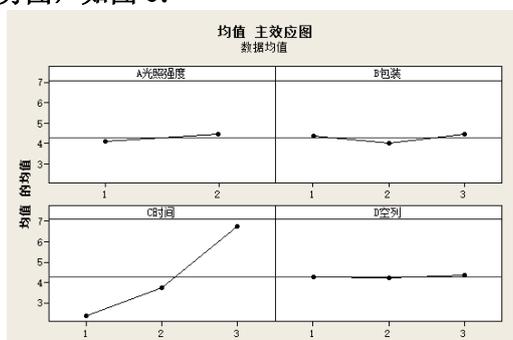


图 6 细菌总数各因素均值主效应

牛乳酸度极差分析表明，各因素对酸度的影响主次顺序为：C 时间>B 包装>A 光照强度，时间对牛乳酸度变化影响最大，酸度随着时间的推移而逐渐增加，呈现出明显的递增趋势。牛乳最佳贮存条件为：A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>，即光照强度为零（避光），使用屋顶盒包装，保存时间 2 天（越短越好）。

牛乳细菌总数极差分析中，各因素对细菌总数影响的主次顺序为：C 时间>B 包装>A 光照强度，时间对牛乳细菌总数变化的影响最大，细菌总数随着时间的推移而增加，光照强度对细菌总数的变化影响不大。最佳贮存条件与酸度的极差分析结果相同，为 A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>，说明牛乳使用屋顶盒包装，在冷藏避光的条件下更宜储存，并且时间越短牛乳品质越好，口感更佳。

### 5. 方差分析

利用 Minitab 对酸度进行 F 检验，得出结果如下：

酸度 的方差分析，在检验中使用调整的 SS

来源	自由度	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A光照强度	1	0.22669	0.22669	0.22669	62.87	0.000
B包装	2	0.84214	0.84214	0.42107	116.78	0.000
C时间	2	1.35014	1.35014	0.67507	187.23	0.000
误差	12	0.04327	0.04327	0.00361		
合计	17	2.46224				

图 7 酸度的方差分析

由上图可知，酸度的影响因素 A 光照强度、B 包装、C 时间均高度显著，其 p 值均小于 0.01 且趋近于零。

同理得出细菌总数方差分析结果，如下图 8。

来源	自由度	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
A光照强度	1	0.638	0.638	0.638	10.77	0.007
B包装	2	0.640	0.640	0.320	5.40	0.021
C时间	2	60.599	60.599	30.300	511.19	0.000
误差	12	0.711	0.711	0.059		
合计	17	62.589				

图 8 细菌总数方差分析

由上图可知，细菌总数的影响因素 A 光照强度、C 时间均高度显著，其 p 值小于 0.01，B 包装显著，其 p 值小于 0.05。

## 6. 总结

综合正交试验两种分析方法，在牛乳的贮存过程中，保存时间对品质影响较大，应尽早食用，采用屋顶盒包装更宜牛乳的保存，同时要尽量冷藏避光保存。

## 参考文献

- [1] 杨怀谷, 郑楠, 王加启. 巴氏杀菌乳和超高温灭菌乳营养价值及卫生安全对比研究[J]. 中国乳业, 2016, (175): 62-67.
- [2] 陈庆华, 王欣. 冷藏温度及时间对巴氏杀菌乳品质的影响研究[J]. 食品科技, 2009, 34 (1): 84-87.
- [3] 生庆海, 王玉良, 翟红梅. 高速离心除菌技术在 ESL 牛乳生产中的应用[J]. 中国乳品工业, 2004, 32 (10): 3-4.
- [4] 张修军, 姚晶. 离心除菌与巴氏杀菌在原料奶预处理中应用的研究[J]. 中国乳业, 2014, (154): 42-44.
- [5] 任璐, 于鹏, 刘振民, 王辉, 姜雪. 离心除菌技术在巴氏杀菌乳生产中的应用[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(1): 46-50.
- [6] 安朋朋, 刘光磊, 孙先枝, 郭美, 孙咏梅, 包凯. 不同保存条件对牛乳 DHI 指标测定值的影响[J]. 中国奶牛, 2016, (3): 52-57.
- [7] 任美燕. 牛奶包装的现状与发展趋势[J]. 现代食品, 2016, (9): 27-28.
- [8] 白婧, 李冉, 任发政. 不同包装材料对牛乳品质的影响[J]. 乳业科学与技术, 2008, (3): 101-103.
- [9] 郭燕, 张赞, 田杰, 丁晓卫. 离心对原料乳中微生物的影响及数学模型的建立[J]. 农产品加工, 2015, (10): 15-16.