不同温度下牛奶的保质时间

北京十一学校　李逸男　史舒迟
指导教师：侯立伟

论文提要：牛奶是我们每天都在饮用的一种饮品，，营养价值高，对人体好处很多。每人每天都应该摄入大概 500 毫升牛奶。但是，变质的纽乃饮用后对人体有害。副食商店里，卖牛奶的的确不少，可是你知道他们卖的牛奶是否新鲜？牛奶买回家后，应该如何保存？牛奶放在什么样的温度里能保存的时间更长一些呢？这就是我们研究的问题。我们通过查找资料、做化学实验、利用数学软件建立数学模型，并通过对函数图象的分析，来讨论在不同温度下，牛奶的保质时间。

关键词：袋装巴氏消毒牛奶（牛奶处于无菌状态）、
巴氏消毒（把牛奶加热到 75℃左右，持续 15 秒钟，可杀死大部分有害细菌）、
变质（当牛奶中的乳酸含量在 0.12%-0.18%时，为正常，超过 0.18%时，我们就可以说这袋牛奶变质了）、
时间（以小时为单位，等时间段测量）、
温度（我们分别测定了牛奶在 5℃--三月平均室外温度，20℃--三月平均室内温度，43℃暖气上的温度；三个温度进行测定）。

一、　问题的提出

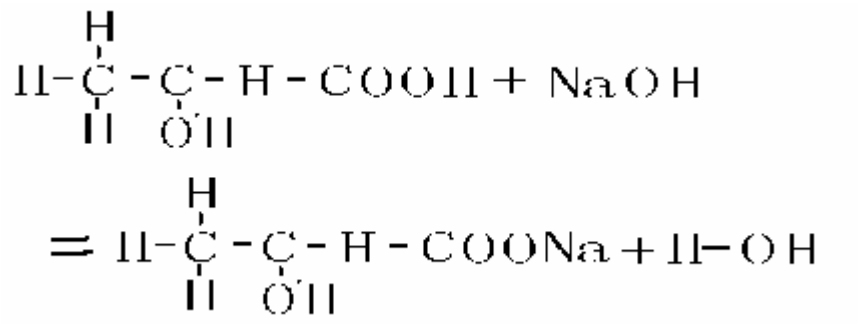
每一种食品，在不同温度下的保质期是不同的，在不同的时期，变质的速率也各有不同。牛奶是我们每天都要饮用的一种饮品，也是比较容易变质的东西。日常生活中，难免会遇到味道不对的牛奶，是不是说变味的牛奶就叫变质呢？或者说，牛奶在还没变味的时候就已经变质了呢？

一般家庭中有时会发现牛奶感觉不好，又未发现结块现象，不知道牛奶是否变质了，这时该怎么办呢？有人回认为牛奶已经变质而将其扔掉，即使牛奶还没有变质，也被白白地浪费掉了。有人会将它喝掉，结果因为喝了变质的牛奶而导致身体不适。其实，只要能了解牛奶保存的大致时间，测量一下室温，就可以粗略地知道牛奶是否变质了。为此，我们设计了如下的研究方向：

1. 牛奶在不同温度下变质的时间
2. 牛奶在这段时间内的变化趋势

二、　实验方案及记录

（一、）实验原理：牛奶中含有的乳酸可以与氢氧化钠按物质的量比 1：1 反应，生成乳酸钠与水。反应方程式：



计算公式：

$$乳酸\%=\frac{n（NaOH）（mol/l）*V（NaOH）（L）}{m（NaOH）（g）}*90*100\%$$

（二、）酸碱滴定原理：

（三、）实验器材；仪器：酸式滴定管、碱式滴定管、滴定管夹、铁架台、锥行瓶、烧杯、量筒（100ml）、天平、胶头滴管

药品：NaOH（0.1mol/L）、酚酞、经过巴氏消毒的袋装牛奶

其他：恒温箱、温度计

（四、）实验过程：

1.将买来的同一天生产的牛奶分别放入三个调节好温度的恒温箱（温度分别为 5℃、20℃、43℃）

2.从滴定管夹上取下碱式滴定管，用标准的 0.1mol/L 氢氧化钠溶液润洗 2~3 次，然后把 0.1mol/L 氢氧化钠溶液注入碱式滴定管，使液面位于零刻度以上 2~3 厘米处，再把碱式滴定管固定在滴定管夹上，在滴定管下放一个烧杯，轻轻挤压玻璃球，使滴定管的尖嘴部分充满溶液。待滴定管内没有气泡，并使液面处在零刻度或以下某一刻度处，记下准确读数，并填入表一。

3.取其中的两袋牛奶，倒入烧杯中。

4．用待测浓度的牛奶（未经稀释）把酸式滴定管润洗 2~3 次，然后装满待测浓度的牛奶，将其固定在滴定管夹上。调节活塞使滴定管的尖嘴部分充满溶液且没有气泡，之后调节滴定管液面，使液面处在零刻度或以下某一刻度处。记下准确读数，并填入表一。

5．用酸式滴定管向锥形瓶中注入待测浓度的牛奶 25ml，再向锥形瓶中滴加 2 滴酚酞试液，此时无明显现象；

6．把锥形瓶放在碱式滴定管的下面，瓶下垫一张白纸，滴加碱溶液，边滴边摇动锥形瓶，直到假如一滴碱溶液后，溶液突然呈现粉红色。这表示已滴到终点，记下滴定管的液面读数，并填入表一。

7．倒掉锥形瓶中的溶液，用蒸馏水清洗干净，按上述操作重复两次，将所得结果分别填入表一。

8．取三次数值的平均值，计算待测牛奶中乳酸的浓度。

滴定次数	待测牛奶的体积（mL）				标准碱溶液的体积（mL）		
	滴定前刻度	滴定后刻度	体积	百分比	滴定前刻度	滴定后刻度	体积
第一次							

第二次							
第三次							
平均							

表一

9.2 小时后，从 43℃的恒温箱中取出一袋牛奶，重复 2—8 的操作。

10.按照表一所示的时间，进行 2—8 的操作。

温度	5℃（三月室外平均温度）	20℃（室内）	43℃（暖气上）
时间（时）	0	0	0
	8	8	2
	16	16	4
	24	24	6
	40	40	8
		48	11
			16
			24

表一

（五、）实验记录：

氢氧化钠物质的量浓度(mol/L)	0.1056
牛奶的密度(g/mL)	1.3
牛奶的体积(mL)	25
牛奶的质量(g)	32.5

（1.）5℃，25ml 牛奶，质量 32.5g

保存时间（h）	滴定次数	滴定前读数（ml）	滴定后读数（ml）	NaOH 体积	百分比
0	1	0	5.4	5.4	0.015791
	2	5.4	10.7	5.3	0.015499
	3	10.7	15.5	4.8	0.014037
	平均			5.167	0.015109
8	1	6.5	11.6	5.1	0.014914
	2	11.6	16.6	5	0.014622
	3	17.3	22.5	5.2	0.015206
	平均			5.100	0.014914
16	1	14.8	20	5.2	0.0152064
	2	20	25	5	0.01462154
	3	0	5.3	5.3	0.01549883
	平均			5.167	0.01510892
24	1	0	5	5	0.01462154
	2	5	10.4	5.4	0.01579126
	3	10.4	15.4	5	0.01462154

	平均			5.133	0.01501145
40	1	0	5.2	5.2	0.0152064
	2	5.2	10.6	5.4	0.01579126
	3	10.6	16	5.4	0.01579126
	平均			5.333	0.01559631

（2.）20℃，25ml 牛奶，质量 32.5g

保存时间（h）	滴定次数	滴定前读数（ml）	滴定后读数（ml）	NaOH 体积	百分比
0	1	0	5.4	5.4	0.015791
	2	5.4	10.7	5.3	0.015499
	3	10.7	15.5	4.8	0.014037
	平均			5.167	0.015109
8	1	16.5	11.6	5.4	0.01491397
	2	21.5	25	5.1	0.01579126
		0	1.6		
	3	1.6	4.5	4.9	0.01432911
	平均			5.133	0.01501145
16	1	0	5.1	5.1	0.01491397
	2	5.1	10.1	5	0.01462154
	3	10.1	14.9	4.8	0.01403668
	平均			4.967	0.01452406
24	1	15.3	20.5	5.2	0.0152064
	2	20.5	25	5.2	0.0152064
		0	0.3		
	3	0.3	5.5	5.2	0.0152064
	平均			5.2	0.0152064
40	1	0	5.2	5.2	0.0152064
	2	5.2	10.6	5.4	0.01579126
	3	10.6	16	5.4	0.01579126
	平均			5.333	0.01559631

（3.）43℃，25ml 牛奶，质量 32.5g

保存时间（h）	滴定次数	滴定前读数（ml）	滴定后读数（ml）	NaOH 体积	百分比
0	1	0	5.4	5.4	0.015791
	2	5.4	10.7	5.3	0.015499
	3	10.7	15.5	4.8	0.014037
	平均			5.167	0.015109
2	1	0	5.4	5.4	0.01579126

	2	5.4	10.5	5.1	0.01491397
	3	10.5	16	5.5	0.01608369
	平均			5.333	0.01559631
4	1	0	5	5	0.01462154
	2	5	10.4	5.4	0.01579126
	3	10.4	15.4	5	0.01462154
	平均			5.133	0.01501145
6	1	0	5.5	5.5	0.01608369
	2	5.5	11.1	5.6	0.01637612
	3	11.1	16.6	5.5	0.01608369
	平均			5.533	0.01618117
8	1	0	5.6	5.6	0.01637612
	2	5.6	11	5.4	0.01579126
	3	11	16.1	5.1	0.01491397
	平均			5.367	0.01569378
11	1	15.8	24.1	8.3	0.02427175
	2	0	7.2	7.2	0.02105502
	3	7.2	15.1	7.1	0.02076258
	平均			7.533	0.02202978
16	1	0	7	7	0.02047015
	2	7	13.2	6.2	0.01813071
	3	13.2	20.5	7.3	0.02134745
	平均			6.833	0.01998277
24	1	0	10.9	10.9	0.031875
	2	10.9	23	12.1	0.035384
	平均			11.5	0.03363

三、 实验数据分析与数学建模

（一）43 摄氏度时牛奶中乳酸含量随时间的变化图象

1．函数解析式和图象

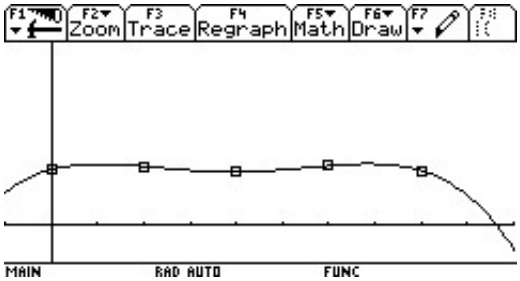
恒温箱 43 摄氏度

时间（小时）	乳酸浓度（%）	用去的氢氧化钠体积(mL)
0	0.015109898	5.167
2	0.016083692	5.5
4	0.014621538	5
6	0.016229908	5.55
8	0.014913969	5.1
11	0.02202881	7.533
18	0.024856615	8.5

24	0.033629538	11.5

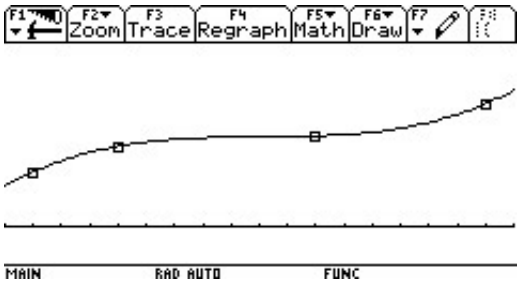
我们首先建立了平面直角坐标系，以牛奶放置的时间为横坐标，以牛奶中乳酸含量（百分比）为纵坐标。将实验数据描在坐标系上，发现 8 小时前的数据点分布与四次函数的图形较相像。利用 TI 的函数拟合功能将函数拟合出来，此四次函数为：

$$y=-2.995132E-4x^4+0.004741x^3-0.023107x^2+0.34513x+0.151099(x\leqslant 8)$$

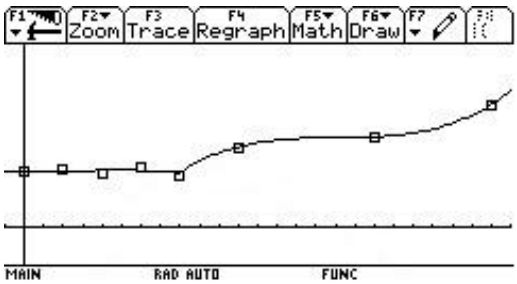


8 小时以后，数据点的分布与三次函数相象，拟合出来的函数为：

$$y=1.738517E-4x^3-0.0084x^2+0.135858x-0.489123(x>8)$$



我们把上面的两个图组合起来，可以更直观地看出 43 摄氏度时牛奶中乳酸含量随时间变化的情况：



2．函数分析

这个函数是一个分段函数。

由函数图象可以看出，8 小时以前牛奶中乳酸的浓度在 0.015%左右波动，变化并不大。8 小时之后，乳酸浓度呈加速上升趋势。9 小时左右牛奶中乳酸的浓度达到 18%，并有结块现象，说明此时牛奶已经变质不能饮用。

牛奶在 43 摄氏度下的保质时间约为 9 小时。

（二）20 摄氏度时牛奶中乳酸含量随时间的变化图象

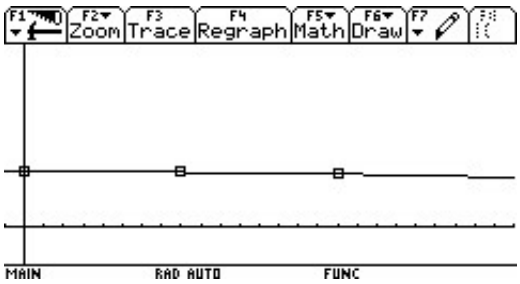
1．函数解析式和图象

恒温箱　20 摄氏度

时间（小时）	乳酸浓度（%）	用去氢氧化钠体积
0	0.015109898	5.167
8	0.015010471	5.133
16	0.014525036	4.967
24	0.0152064	5.2
40	0.019396933	6.633

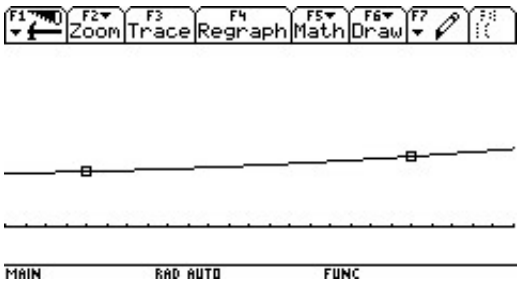
对这个实验的数据（25 小时前）进行描点后，发现其与三次函数的图象相象，用 TI 拟合出的函数如下：

$$y=-3.015687E-5x^2+1.169712E-4x+0.151099$$

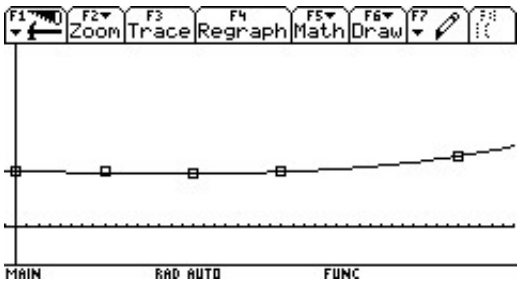


25 小时后数据点的分布有所变化，这一段数据点与二次函数相象，拟合如下：

$$y=7.364076E-5x^2-0.002094x+0.159901$$



我们把上面的两个图组合起来，可以更直观地看出 25 摄氏度时牛奶中乳酸含量随时间变化的情况：



2．函数分析

这个函数是一个分段函数。

由函数图象可得知，16 小时前牛奶中乳酸浓度变化不大。16 小时后乳酸的增加速率明显加

快。36 小时后，乳酸浓度超标，牛奶变质。
牛奶在 25 摄氏度下的保质期约为 36 小时。

（三）5 摄氏度时牛奶中乳酸含量随时间的变化图象

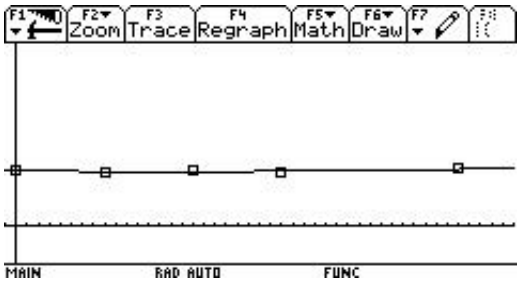
1．函数解析式和图象

恒温箱　5 摄氏度

时间（小时）	乳酸浓度（%）	用去的氢氧化钠体积
0	0.015109898	5.167
8	0.014913969	5.1
16	0.015109898	5.167
24	0.014913969	5.1
40	0.015595333	5.333

在平面直角坐标系中对数据进行描点，发现数据点的分布与四次函数相象，拟合后的函数如下：

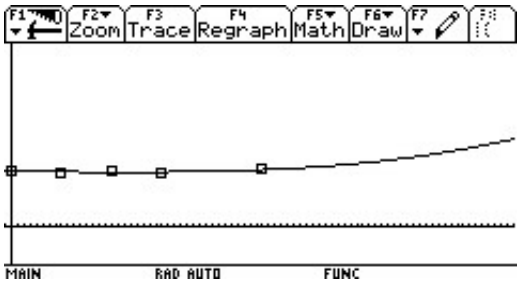
$$y=1.096139E-7x^4-7.815282E-6x^3+1.691162E-4x^2-0.1154x+0.151099$$



2．函数分析

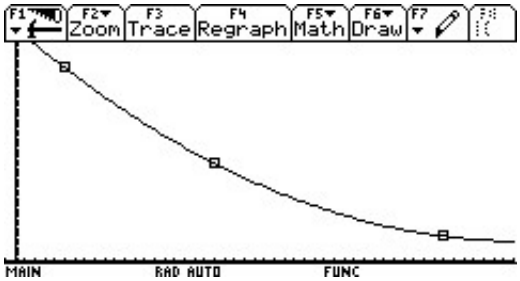
此函数的图线比较平稳。由函数图象可知，5 摄氏度牛奶中乳酸浓度变化较小。24 小时前乳酸浓度保持在 0.015%左右，24 小时后乳酸浓度略有上升，但没有变质。

趋势预测（如下图）说明牛奶在 5 摄氏度下能够保持较长时间，约为 58 小时。这比牛奶包装袋上标明的保质期“0~4 摄氏度 48 小时”时间略长。这说明，如果牛奶存放在 0~4 摄氏度的环境中，在 48 小时内饮用还是比较可靠的。



四、　综述与对生活中的建议

在实际生活中，牛奶保存处的温度并不是一定的，怎么拌呢？为了解决这个问题，我们按照上述的实验方法重新做了几组实验，并对数据进行了分析。我们发现，牛奶的保质期与其存放地点的温度的关系，大致符合二次函数 $y=0.30511x^2-3.09611x+85.717773$。函数图像如下：



由此，只要知道牛奶保存处的大致温度，就可以大略地推算出牛奶的保质期。

通过对实验数据的分析，我们得出以下结论，供生活中参考。

1. 对于卖牛奶的人（室外）：

1） 第一季度，平均气温 0 摄氏度左右，大约可保存 85 小时。

2）第二季度，平均气温 20 摄氏度左右，大约可保存 36 小时。

3）第三季度，平均气温 25 摄氏度左右，大约可保存 27 小时。

4）第四季度，平均气温 10 摄氏度左右，大约可保存 57 小时。

2．对于一般家庭（室内）：

2） 春、秋季，平均气温 20 摄氏度左右，大约可保存 36 小时。

2）夏季，平均气温 25 摄氏度左右，大约可保存 27 小时。

3）冬季，平均气温 16 摄氏度左右，大约可保存 44 小时。

3．与牛奶包装袋上标明的保质期“0~4 摄氏度 48 小时”的差异

1）牛奶在 43 摄氏度下的保质期约为 9 小时，远小于 48 小时。

2）牛奶在 20 摄氏度下的保质期约为 36 小时，小于 48 小时。

3）牛奶在 5 摄氏度下的保质期约为 58 小时，稍大于 48 小时。

五、 误差分析

1．因实验室仪器精度不是很高，特别是恒温箱提供的温度略有波动，所以造成系统误差。

2．即使是同一批牛奶，每袋牛奶的密度也不同，基于实验条件，不可能将每一袋用于实验的牛奶密度都测出，所以只能取近似平均值。这也会造成一定误差。

3．我们做酸碱中和滴定的实验时，有这样一步操作：把锥形瓶（已滴加酚酞）放在碱式滴定管的下面，瓶下垫一张白纸，滴加碱溶液，边滴边摇动锥形瓶，直到假如一滴碱溶液后，溶液突然呈现粉红色。这表示已滴到终点，记下滴定管的液面读数。因为牛奶是乳浊液，所以不能准确地观察出混合液什么时候突然变红，而且通过肉眼来观察颜色的变化，结果并不精确，这些因素都导致误差。我们只能通过多次实验取平均值的方法来尽量减小误差。

4．在做实验的过程中，有时动作较慢，在这个过程中牛奶中乳酸的浓度很可能已经发生变化，从而造成误差。

六、 对这个问题的进一步分析

我们的研究已经告一段落，但还没有结束。在以后我们的研究将会向着更精确、更实际的方向发展。在条件允许的情况下，尽量使用精确的仪器，改进实验方法，比如利用 pH 计来测定滴定后溶液的 pH 值，从而得知氢氧化钠和乳酸是否完全中和。并尽量使结果和日常生活联系得更紧密，实用性更强。

七、 收获与体会

通过对“不同温度下牛奶保质时间”这个课题的研究，我们通过查阅资料，了解了牛奶的一些性质，通过大量的实验，了解了化学实验的流程，并且初步学会了如何科学地看待问题，逐步形成了较严谨的科学态度。通过对数据的分析、处理，逐渐掌握了一些数学工具的使用方法，并了解了处理数学问题的一些基本方法，对数学产生了更浓厚的兴趣。在今后的学习中，我们也要重视这些技能的积累，争取做到更好！

八、 合作经历

要写好一篇论文，选题是非常重要的。有了题目，订了计划，实施起来，就容易得多了。开始的时候，我们选了有不下十个题目，后来在和指导老师商量、分析具体操作的可能性之后，我们共同选定了这个题目——研究不同温度下牛奶保质时间。于是，我们又遇到了很多问题。比如，如何制造恒温的环境？如何测定牛奶中的乳酸含量？牛奶变质的标准是什么？……后来，我们通过向学校里的老师请教、向高校里的老师请教、向牛奶公司请教、上网查阅资料……这些方法，解决了以上的问题。

之后，我们在实验室老师的大力支持下，做了多组实验，获得了很多有用的数据。在处理数据的过程中，我们学习了 Excel, Texas Instruments,这两种工具对数据进行了分析，得到了一些结论，供生活中参考。

九、 参考文献

中华人民共和国进出口商品检验行业标准

北京市气象台历史气象信息（北京市气象局网站）

十、 联系作者

史舒迟　北京十一学校　海淀区三虎桥南路 6 号院 9-601　电话：010684251262

李逸男　北京十一学校　朝阳区对外经济贸易大学汇新楼 1601　电话：01064496835