

•科普•

doi: 10.3866/PKU.DXHX202303004

www.dxhx.pku.edu.cn

亚硝酸钠拜师记

李想, 王太宝, 吕萍, 丁寒锋*

浙江大学化学系, 杭州 310058

摘要: 食品防腐剂的出现极大地延长了食品保存的时间, 在现代食品工业中占有重要地位。随着生活水平的提高, 人们越来越关心食品安全问题, 但仍然存在不少误区。本文以拟人化的手法, 介绍了几类食品防腐剂的作用原理和利弊, 旨在向大众普及科学的防腐剂知识。

关键词: 亚硝酸钠; 防腐剂; 苯甲酸钠

中图分类号: G64; O6

A Study Travel of Sodium Nitrite

Xiang Li, Taibao Wang, Ping Lu, Hanfeng Ding *

Department of Chemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China.

Abstract: Food preservatives, which have greatly extended the shelf life of food, play an important role in modern food industry. With the improvement of living standards, people are more and more concerned about food safety. However, many misunderstandings still exist. This paper introduces the food preservation principle of several kinds of food preservatives, as well as their advantages and disadvantages by anthropomorphic method, aiming at popularizing the knowledge of scientific preservatives to the public.

Key Words: Sodium nitrite; Preservative; Sodium benzoate

1 盐家有女初长成

一道电光划破窗户, “隆——”的雷声从屋顶走过, 雨点淅淅沥沥地落了下来, 小小的房间就被笼罩在一片“沙沙”声中了。爷爷听着满世界的雨声, 慢慢从报纸中抬起头来, 看着在一旁玩耍的小孙女, 想到什么似的轻轻呼出一口气: “啊, 硝硝。”

“怎么了, 爷爷?” 小女孩抬起头来, 扑闪着—双大眼睛。

“硝硝啊, 你已经长大了, 可以开始学习家族本领, 为传承事业做准备了。”爷爷笑笑, 看着稚气未脱却越发出挑的小孙女, 一双浑浊的老眼闪烁出光芒。

原来, 老人家名叫氯化钠, 是防腐国无机盐家族的老族长, 早在建国前就和几位长老一起致力于对抗微生物一族, 为保卫食品大陆做出了不可磨灭的贡献。如今防腐王国已经建立, 在各大新生防腐家族的共同努力下, 被人尊称“盐老”的他早已不需像从前那样事必躬亲了。虽然退居二线多年, 老人家对前线战事却一直十分关心。前些时候, 据情报部门分析, 今年气候将十分利于微生物繁殖, 食品保鲜愈加困难。加之各大家族不顾阻拦, 时常滥用兵力, 导致部分食品防腐剂含量超出安全范围^[1], 外界竟对防腐国产生了疑虑。内忧外患, 这位防腐国老前辈心急如焚, 好在孙女亚硝酸

收稿: 2023-03-01; 录用: 2023-03-27; 网络发表: 2023-03-30

*通讯作者, Email: hfding@zju.edu.cn

资金资助: 国家自然科学基金(22125109, 21871230); 浙江省自然科学基金(LZ22B020002)

钠已经快长大成人，可以接过防腐保鲜的重担，也好给老人家分担一份责任。

亚硝酸钠听了，走到爷爷面前站定，仍显稚嫩的脸庞透露出一丝坚毅：“爷爷，您放心，我一定不辱家族荣光，为食品保鲜奋斗终身！”小家伙想了想，又说：“爷爷，我想把几大家族的本领都学会，这样我就能更好地保护食品了。”

“好大的口气，哈哈！”老人家不禁被这个雄心勃勃的孩子逗笑了，“好，那我就带着你，去找各大家族拜师吧！”

2 有机酸防腐剂

硝硝第一站先来到了有机酸盐家族的封地，族长苯甲酸钠带领一众族人接待了爷孙俩。苯甲酸钠族长向硝硝介绍道：

“食品腐败，大多是由微生物在食品中的大量繁殖引起。我们防腐国各家族正是用不同的抑菌本领来保护食品，像你爷爷盐老，利用的是形成高渗环境，使微生物失水而亡。而我们有机酸一族，则大多是利用有机酸或有机酸盐水解产生的酸分子，改变微生物细胞膜的通透性，破坏微生物的呼吸酶系统，从而杀伤微生物^[2]，所以我们的目标一般是霉菌、酵母、好氧菌。说来惭愧，像老夫本身，其实并无抑菌效果，只有在酸性环境中施展水解之术，形成苯甲酸，才有杀菌之力(如图1)。

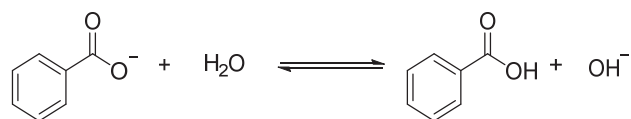


图1 苯甲酸盐水解化学方程式

苯甲酸通过干扰霉菌和细菌等微生物细胞膜的通透性，阻碍细胞膜对氨基酸的吸收；进入细胞内的苯甲酸分子可酸化细胞内的储备碱，进而抑制微生物细胞内呼吸酶系的活性，阻止乙酰辅酶A缩合反应，从而起到防腐作用。可是，如果使用过多也会走火入魔，产生头晕、困倦、便秘和鼻塞等副作用，恶心、头痛和胃部不适也很常见呐。”

亚硝酸钠听了，若有所思地点了点头。苯甲酸钠族长则继续介绍道：“这位是我族的山梨酸钾，我们本领相似，但是他却没有这些副作用，防腐本领也比我强得多。类似的‘后浪’还有丙酸钠、脱氧乙酸钠等，后生可畏啊(如图2)！”

听了苯甲酸钠族长的介绍，硝硝问爷爷：“爷爷，我可以学习有机酸盐家族的本领吗？我也会水解的呀。”

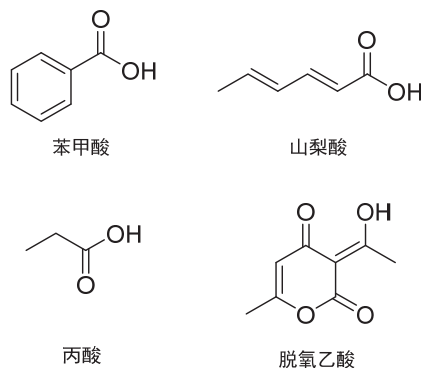


图2 常见有机酸防腐剂的结构

老爷子听了，笑笑说：“硝硝，虽然你也可以水解，但是你产生的亚硝酸以及亚硝酸歧化产生的硝酸等物质本就会以离子形态存在于生物体中，像苯甲酸和山梨酸这样攻击呼吸酶系统的本领不是你的特长呀。”

硝硝听了，有些失望地点了点头，“我明白了，爷爷。那我们去下一个家族看看吧。”

3 惰性气体防腐剂

离开有机酸家族封地，爷孙俩来到了惰性气体庄园。

走进门，首先映入眼帘的是不远处一座高高的圆塔。

“爷爷，这是什么呀？”硝硝充满好奇地问道。

“这个是气体分馏塔，利用不同气体的沸点不同将他们从空气中分离纯化……”氯化钠爷爷缓缓地回答道。

正说着，氮气和二氧化碳二位使者前来迎接他们了。氮气接着盐老的话头介绍道：“盐老说的没错。硝硝，你知道很多微生物都是需要氧气才能生存的对吧？我们惰性气体一族，就是利用自身相对的化学惰性，将食品中的空气赶出去，这样微生物就无法呼吸了，从而保护食品。”

“噫~看来和有机酸盐家族是不一样的本领嘛。”亚硝酸盐听了佩服地点了点头。

氮气和二氧化碳听了，称赞地笑了：“硝硝真聪明。那我们再考考你，有机酸盐一族是固体，可以直接加入到食品中。我们气体没有固定的形状，要怎么保护食品呢？”

硝硝想了想说道：“可以用包装将食物密封起来，然后用保护气体将空气赶出去嘛！”

“哈哈，硝硝真是太棒啦。”

说话间，他们已经来到了气体家族的工作地点。只见无数的机器正按照硝硝说的方法将食品包装、充入保护气、密封，防止微生物大军伺机而入。

二氧化碳继续介绍道：“在这里工作的大多是氮气兄弟，氮气在空气中的含量高达78%，原料廉价易得，并且氮气不活泼、无毒无害，是十分好用的食品保护气。而我嘛，其实更多地用于制造汽水，同时由于我在水中可以形成碳酸，降低pH，还能顺便赶走氧气^[3]，所以也是具有一定防腐作用的。”说完，二氧化碳嘴角泛起了自信的笑容。

二氧化碳说完，氮气继续补充道：“虽然我用作保护气十分有利，但是我们气体对食品包装的要求太高了，所以除了薯片、饼干、面包这些易碎易变形的食物，我们的使用不是特别广泛。而且，我们还需要其他防腐剂兄弟的配合才能保证食物的万无一失。”

听到这里，硝硝更感到防腐事业的艰辛。不过这次，不用爷爷说她也知道，自己不适合学习惰性气体家族的本领——她是固体嘛。

4 天然防腐剂

最后，硝硝来到了天然防腐剂的采邑。天然防腐剂家族人丁兴旺，主要分为动物、植物和微生物代谢物三大直系^[4]，无毒无害，是很好用的食品防腐剂。

跟随着天然防腐剂家族的管家，硝硝和爷爷参观了他们家族的荣誉墙(常见天然防腐剂见表1，部分天然防腐剂结构见图3)^[5]。

第一位是乳酸链球菌素，他是来自于一种乳酸链球菌代谢物的多肽物质，又称为乳酸链球菌肽，通过吸附于敏感细胞、与细胞膜结合成管状结构引起细胞膜的渗漏、细胞内物质迅速流出，改变渗透压，同时抑制核酸、蛋白质、多糖等物质的生物合成，对革兰氏阳性菌具有较强的抑制作用。更重要的是，他被食用后能被 α -胰凝乳蛋白酶降解为多种氨基酸，不会对人体产生任何伤害。他已经广泛地参与到乳制品、酒类、罐头制品等食品的防腐保护工作中。

第二位是纳他霉素，他是乳酸链球菌素的好搭档，来自链霉菌产生的代谢物，是一种多烯烃大环内酯类抗真菌剂，他常常与乳酸链球菌素一起工作，在抗菌事业上相互补充。

第三位是ε-聚赖氨酸，它是一种由小白链霉菌经发酵作用产生的多肽类物质，通过破坏微生物细胞膜，中断细胞物质和能量信息，从而使细胞逐渐死亡，能够灭杀或抑制革兰氏阳性菌、革兰氏阴性菌。ε-聚赖氨酸在人体内分解成L-赖氨酸，安全性极高，是具有优良防腐性能的生物防腐剂^[6]。

.....

表1 常见天然防腐剂	
防腐剂名称	类别
乳链球菌素	微生物代谢物
那他霉素	微生物代谢物
ε-聚赖氨酸	微生物代谢物
枯草杆菌素	微生物代谢物
茶多酚	植物源
山苍子油	植物源
壳聚糖	动物源
鱼精蛋白	动物源
甲壳素	动物源

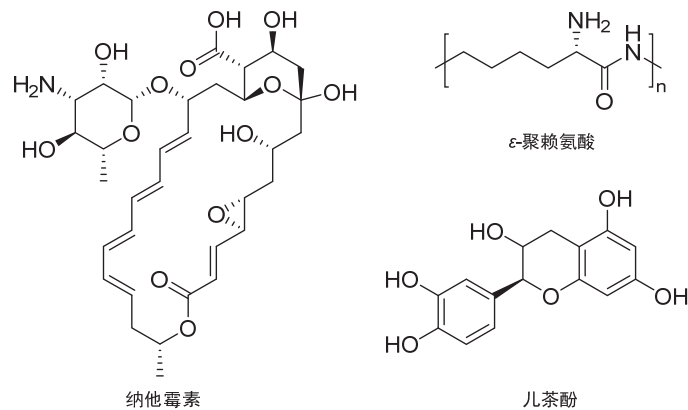


图3 部分天然防腐剂的化学结构

参观完天然防腐剂家族的荣誉墙，亚硝酸钠被他们家族强大的本领和极高的安全性所折服，发出了由衷的赞叹。天然产物防腐剂家族的管家谦虚道：“本族作为新兴家族，在食品防腐的适用范围上还有很多不足需要改进，路漫漫其修远兮，吾将上下而求索。”

硝硝和爷爷会心地笑了，却又不免有些失落：看来，作为无机家族的亚硝酸钠，也难以学习天然防腐剂的本领。

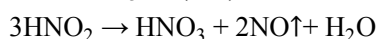
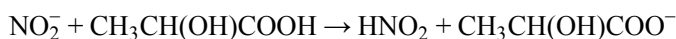
5 硝硝岂是蓬蒿人

拜访完几大家族，硝硝才发现，原来食品防腐事业有这么多的讲究，看来自己的雄心壮志是无法实现了，想到这里她不禁有一些失落。爷爷似乎看出了她的心思，笑着摸了摸她的头安慰道：“硝硝，不要灰心，每一个防腐剂都有自己的作用，没有谁是全能的。即使是爷爷当年，在没有这么多防腐剂家族的情况下，依靠提高渗透压的绝技几乎可以消灭所有微生物，但是也会有导致食品口感不佳、营养流失的问题，甚至会产生有害物质^[7]。食品大陆的版图如此广袤，不是依靠哪一个防腐剂或者家族就能守卫的。不同的防腐剂都有着自己独特的本领和不足，只有恰当应用在正确

的地方,才能发挥自己的能力,保卫食品不受腐败困扰。用多了、用错了,都可能危害食品安全呐。”

硝硝听了,若有所悟地点了点头:“爷爷,那我的本领是什么呢?”

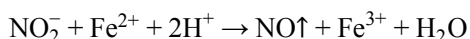
“哈哈,你的本领大着呢。你产生的亚硝酸根离子对肉毒梭菌等有害微生物有极强的抑制作用,是肉制品必不可少的防腐剂。另外,由于亚硝酸根离子可以和肌肉中的乳酸作用生成亚硝酸,而亚硝酸热力学上又不稳定,进一步分解为NO,生成的NO会与肉制品中的肌红蛋白和血红蛋白结合,产生稳定的亚硝基肌红蛋白和亚硝基血红蛋白,从而使肉品呈现鲜红色,提高肉品的感官品质^[8],几乎所有肉制品都需要你的帮助呢!”



“哇,原来我的本领这么大呀。”听了爷爷的介绍,硝硝又露出了笑容。

爷爷停顿了一下,换了一种严肃的口气:

“硝硝,你要记住,能力越大,责任越大。虽然你有着极佳的防腐保鲜能力,但是你也会将人体的血红蛋白氧化,一旦过量使用自己的能力,就会造成不良后果。正常人的血红蛋白中,铁元素以二价亚铁离子的形式存在,具有携带氧气的功能,而过量的亚硝酸钠进入血液当中,会将二价亚铁离子氧化为三价的铁离子,使得血红蛋白失去携氧的功能,从而造成机体组织缺氧,临床表现为呼吸困难、皮肤发青、血管扩张、血压下降等症状,严重时可导致机体因呼吸衰竭而休克^[9]!”



“另外,在人体胃酸环境中亚硝酸盐可与蛋白质代谢产生的胺类化合物作用(如图4),生成亚硝胺类化合物,具有强致癌性!”爷爷继续补充道。”



图4 生成亚硝胺的原理

“啊……”听到这里,硝硝脸上的笑容又凝固了,像做错了事一样不知所措。

爷爷轻轻地笑了笑:“硝硝,你不用担心,只要按照安全标准使用自己的能力,是会出现问题的。任何防腐剂都要按照标准来嘛,不然,就算是爷爷——食盐,用多了也会诱发心血管疾病嘛,哈哈哈……”

“那人们怎么检查食物中亚硝酸钠含量有多少呢?”硝硝问道。

“还是因为你能和胺类反应呀,只要把亚硝酸盐和芳香胺在酸性环境下混在一起,就可以生成一种叫做重氮盐的化合物,重氮盐进一步可以和富电子的芳香族化合物(如苯乙二胺)反应,生成颜色鲜艳的偶氮类化合物(如图5),就可以用分光光度法测定含量啦。我们身上穿的各种颜色的衣服,就是来源于各种偶氮类化合物呢。”

“这些染料之所以能显色,就是因为它们吸收了一部分波长范围的可见光,没有吸收的那部分光,一些透过去了,一部分反射回来,因而我们才看到颜色。而分光光度法,顾名思义,就是通过测定有色物质的稀溶液吸收光的能力与浓度之间的线性关系,来测定许多物质含量的一种重要的分析化学方法,这个分析方法是著名的朗伯-比尔定律:

$$A = \lg \frac{I_a}{I_0} = -\lg \frac{I_t}{I_0} = kbc$$

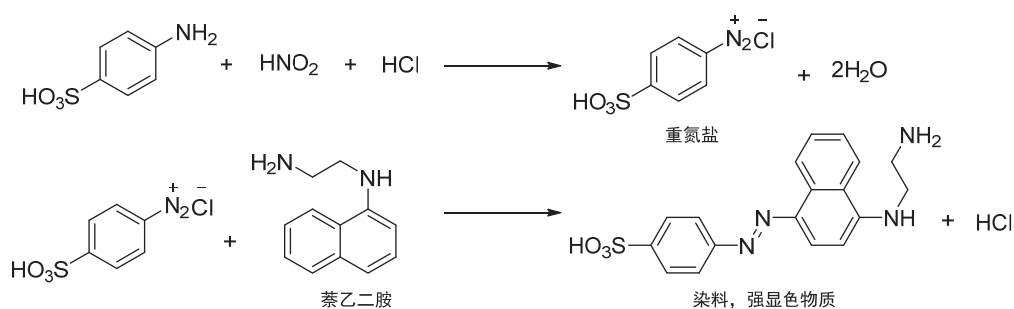


图5 亚硝酸盐转化成有色物质的原理

其中 A 叫做吸光度,是被溶液吸收掉的那部分光强 I_a 除以总光强 I_0 的对数值,也等于透过去的光 I_t 除以总光强的负对数。更重要的是,科学家发现,吸光度 A 正比于有色物质的浓度 c 和光在溶液中经过的距离(光程) b , k 是个比例系数,每种物质都有属于自己的独特的 k ,就和我们的身份证号码一样。”爷爷不紧不慢地说道。

稍稍若有所思地点了点头。

终于,经过一天的见识,稍稍明白了防腐剂各家族的优势与不足,也意识到了自身的责任,最重要的,是她明白了防腐事业的第一准则——恰当、适量。她下定决心,要在自己的岗位上努力奋斗,为食品防腐保鲜做出自己的贡献。

参 考 文 献

- [1] 刘钟栋. 食品添加剂. 南京: 东南大学出版社, 2006.
- [2] 王思文, 巩江, 高昂. 安徽农业科学, **2010**, No. 30, 16846.
- [3] 董欣旖, 赵英侠. 中国食品添加剂, **2020**, No. 11, 139.
- [4] 王丽, 张毓, 陈翠岚. 食品安全质量检测学报, **2011**, No. 2, 83.
- [5] 罗傲霜, 罗傲雪, 葛绍荣. 中国食品添加剂, **2005**, No. 4, 55.
- [6] 杨秀花, 杨光, 杨波. 工业微生物, **2022**, No. 52, 23.
- [7] 周亚军, 李宗豪, 陈艳. 农产品加工, **2019**, No. 11, 79.
- [8] 张素燕, 高爱武. 肉类研究, **2016**, No. 30, 45.
- [9] 吴玉水. 医学综述, **1997**, No. 2, 355.