

• 科普 •

doi: 10.3866/PKU.DXHX201903003

www.dxhx.pku.edu.cn

硝酸盐的大平反

张家敏, 陈建成*

香港中文大学理学院化学系, 中国 香港

摘要: 通过三个硝酸盐的小故事, 以一连串故事性的手法讲述硝酸盐在现今社会的主要用途, 包括农业肥料、工业用炸药及食品防腐剂。社会将致癌的矛头指向硝酸盐, 但硝酸盐不论在生态环境中还是人体内都扮演着重要的角色。本文讲述一对农村夫妻偶然地发现硝酸盐分别对种植、防腐、免疫及血液循环系统有益, 发掘出硝酸盐更多的用途。

关键词: 硝酸盐; 农业肥料; 防腐; 免疫系统; 血液循环系统

中图分类号: G64; O6

Reversal of Nitrate

CHEUNG Kaman, CHAN Kin Shing *

Department of Chemistry, Faculty of Science, The Chinese University of Hong Kong, Hong Kong, P. R. China.

Abstract: Through three stories about nitrates, a storytelling technique is used to describe the main uses of nitrates today, including agricultural fertilizers, industrial explosives, and food preservatives. Nowadays, nitrate is suspected to be the main cause of carcinogenesis, but one coin has two sides; in fact, nitrates play an important role both in the ecological environment and in the human body. Therefore, the public can understand more about the applications of nitrates from this article. Through the accidental discovery of a rural couple in a wartime setting, this article describes the uses of nitrate in agriculture, antiseptic, immune systems and blood circulation system.

Key Words: Nitrate; Agricultural fertilizer; Antiseptic; Immune system; Blood circulation system

1 前言

自从世界卫生组织把加工肉类列为一级致癌物, 人们便把“致癌”的矛头指向硝酸盐及亚硝酸盐, 因为硝酸盐(NO_3^-)及亚硝酸盐(NO_2^-)都是作为加工肉的主要防腐剂。人们认为当食物含有硝酸盐并进食后, 会增加患癌的风险。

事实上, 两者有很大的分别, 亚硝酸盐是致癌物, 但硝酸盐却没有致癌毒性, 反而对身体各方面的平衡有很大的帮助。亚硝酸盐和硝酸盐都属于亚硝酸胺类化学物质, 通常亚硝酸盐都是由硝酸盐与细菌的反应所产生。亚硝酸盐能够转化成一氧化氮(无毒性)及亚硝酸胺(致癌物质)。亚硝酸盐的致癌毒性是来自于酸碱度和微生物的作用下所产生的亚硝酸胺类物质, 当中近 90%亚硝酸胺类物质都被证实属于肿瘤致癌物, 引致正铁血红蛋白血症和癌症^[1]。因此, 希望以下的三个故事能令大众更全面地了解硝酸盐的作用, 为其平反。

收稿: 2019-03-03; 录用: 2019-04-04; 网络发表: 2019-04-17

*通讯作者, Email: ksc@cuhk.edu.hk

2 故事背景

18 世纪，战争乱起，土地贫瘠，民不聊生，人们生活苦不堪言。百姓们渴望着有一位伟大的教师能够出现，带领他们走出困境。当人们怨声载道、生活苦不堪言之时，那位教师，却从现代城镇来到农村，居住在深山的一户穷苦小村庄里。

2.1 如何令土地变得肥沃？

村庄里有一对夫妇，彼得和玛丽亚，以耕作为生，是村子里菠菜的供货商。可是，家里的农地早已日久失收、产率低下。他们每天都在思考着如何令土地变得肥沃，让稼秧的生长速度变得更快，让他们能够挣口饭吃。

一个晚上，彼得指着屋外仅余的几棵菠菜，担忧地对玛丽亚说：“这些已经是我们最后的粮食了，再不找出解决方法，我们便要挨饿了。不仅如此，整个村庄将没有菠菜供应了。”

彼得心灰意冷，玛丽亚轻轻地拍了拍他的肩膀，给了他一个拥抱，便回到草屋里打算休息。此时，玛丽亚听到屋里传来几声声响，她疑惑地驻足门外，悄悄探头往屋里张望。

“原来这里便是农村。”一位化学教师从现代城镇来到落后的农村，他缓缓地走到了草屋里，走路蹑手蹑脚，却不小心碰到了木制的桌子，桌上的碗滴溜溜地转了一圈。

“连张像样的椅子都没有，真是的。”他在屋子里扫视了一圈，“不过……”化学教师刚才听到了他们的对话，打算帮助他们一把。于是，他看到一旁的马铃薯及小麦，考虑用基因改造培植碳水化合物含量高的粮食。

化学教师拿出纸笔，纸上写下“把这些东西放到田里，将会出现意想不到的惊喜！”，并把纸条轻轻地放在那包基因改造的马铃薯上。待教师走后，天空冷不防刮起一阵怪风，那张纸条被吹到一包在工业上用以生产爆炸品、烟花以及核子工业的硝酸盐身上！

第二天早上，玛丽亚一如既往地走到草屋，看到了硝酸盐上的纸条，半信半疑地把那包硝酸盐带到田里。一不小心，手一松，手上的硝酸盐便倒了一半在地上。玛丽亚把心一横，干脆把硝酸盐平均洒在泥土里，希望能够被植物吸收。

“现代常用的化肥实际是铵盐，这一包硝酸盐正是硝酸铵，能够作为肥料使用。”看到这一幕的化学教师叹了一口气，幸好没有铸成大错。

营养由硝酸盐输送给了植物，一株株菠菜幼苗从土地下钻出，再长出枝叶，蓬勃地生长。转眼间，金黄色的泥土已变成绿油油一片。

彼得和玛丽亚都被眼前看到的农田所震惊：好一番绿意盎然、生机勃勃的景象。

原来，氮素是植物生长的主要元素，但植物无法直接吸收空气中的氮气，再转化成植物体内的成分。通过氮素循环，氮气借着泥土里的细菌成为了固定态的氮，即硝酸盐。植物便能够吸收，并把硝酸盐制造成体内细胞中的氨基酸和蛋白质^[2]。

两夫妇得知这个天大的消息后，开心地教导村里的百姓使用硝酸盐作为肥料，使植物可以有营养地生长。利用硝酸盐作为主要肥料，不仅令土地增加了硝酸盐的含量，更有助于植物增长及农业发展。从此以后，硝酸盐就被广泛作为泥土中的肥料。

2.2 如何令肉类保持新鲜？

彼得和玛丽亚成为了村民们心中的英雄，但善良的他们都安守本分，默默地努力耕耘，并以畜牧为副业，养猪养羊。他们的日子过得虽然平淡，但却幸福，得以温饱。

不过，好景不长，战争需要大量男丁，驰骋沙场，保家卫国。彼得要离乡背井，以示效忠国家。在出发前的一个月，玛丽亚希望能够为行军打仗的丈夫做好准备。玛丽亚除了为他准备大量谷物，她更加希望为丈夫带去一些含丰富蛋白质的肉类，以多提供些能量。

“到底怎样才能令肉类保持新鲜？海盐实在太贵了，我们根本没有多余的钱去买海盐来保存猪肉。”玛丽亚十分苦恼。

“请问到底我要怎样做？”想到上次硝酸盐肥料的成功，玛丽亚不禁衷心地等待着，希望那位

化学教师能够再次给她一个答案。

她久等无果，无可奈何回到田里工作，却悄然不知化学教师正思考着对策——到底什么物质有防腐的功能？

“啊，有办法了！”化学教师灵机一动，“现代的肉类防腐剂大多数是人为添加的亚硝酸盐及硝酸盐，能够保鲜，只要不超过国家的标准便是允许的，看来能够试一试。”

化学教师在旁边看着一天下来都是闷闷不乐的玛丽亚。她双手抱着硝酸盐肥料，在田间走着。晃眼之间，化学教师使出“弹指神通”，指尖弹出的小石子顺利地将玛丽亚绊倒，她手上的硝酸盐肥料呈抛物线般，稳稳地跌落在田间的一只死猪身上。

“哎呀！我怎么会这样不小心！”玛丽亚说。

她马上小心翼翼地把硝酸盐肥料安放好，继续到田里进行一天繁忙的工作，却忘了要处理掉那只已死的猪。

日月如梭，当玛丽亚走到猪栏前，想准备一顿丰盛的饭为丈夫饯行，却不期然看到那个已空的猪栏，惊叫：“我突然想起我们还有一只死猪未处理呢！”

玛丽亚和彼得到处寻找，发现了田间的死猪，却发现小猪的颜色仍然保持红润，身上没有一丝恶臭，跟平常腐烂的猪肉很不一样。

“为什么会这样？”玛丽亚问彼得。

“我也不太清楚呀？”彼得回答。

玛丽亚回想起那天突然洒下的硝酸盐肥料，不禁怀疑这个奇怪的现象是因为肥料导致。不过，玛丽亚却一心认为硝酸盐很可能会令猪肉发生变异或味道变差。

玛丽亚不敢把它当作新鲜猪肉卖出去，她把死猪搬到厨房。彼得把死猪切块丢进镬中煮了。

彼得没有勇气尝试这奇怪的猪肉，但却不忍就此扔了珍贵的一整只猪。他颤颤巍巍地切下一小块猪肉放入口中。

“这……这……是我吃过的最好吃的猪肉！那肥料不但令它保持了红润的颜色，更加丰富了猪肉的口感，完全增添了猪肉的色香味！”彼得说。

原来，硝酸盐可以抑制肉毒杆菌孢子的生长。在盐析中存活的大多数细菌具有硝酸还原能力，因此产生亚硝酸盐。由于肉本身存有细菌，能够令亚硝酸变成一氧化氮。在亚硝酸盐转化的过程中，会释放热力，能对孢子带来破坏。因此，硝酸盐能在热处理过程中增加孢子萌发的速率，随后通过热反应杀死发芽的孢子。此外，一氧化氮与肌红蛋白结合产生亚硝基肌红蛋白，亚硝基肌红蛋白加热亚硝基肌红蛋白，产生典型腌制肉的淡粉红色^[3]。

在日常生活中，目前含有毒性的亚硝酸盐的来源主要有两种。第一类是加工肉类中的人为添加，作用是保鲜及着色；第二类是源自剩饭菜，当肉类剩饭菜存放时间长，肉类及蔬菜中的硝酸盐会自然转化成亚硝酸盐，因此不建议人们经常食用剩饭菜。专家委员会曾评估硝酸盐的安全性，并把安全参考值(即每日可摄入量)定为每公斤体重 0 至 5 毫克(以硝酸钠计算)，或每公斤体重 0 至 3.7 毫克(以硝酸盐离子计算)^[1]。

几天过后，在他们俩的身上，都没有发现什么异常。因此，他们更加确信硝酸盐有防腐的功效。后来，在彼得行军打仗时，他带上了妻子给他准备的猪肉，再也不必担心中途腐坏。由于这次偶然的尝试，硝酸盐被广泛用于加工肉类，如今已成为制作火腿、培根、香肠的食品添加剂。

2.3 人体中的免疫能力

战争结束了，人们最担心的是四处肆虐的疾病，但玛丽亚居住的这个小村庄的疾病却比其他地方的少，到底原因是什么？

故事发生在一个特别的地方：玛丽亚的胃部。

玛丽亚的胃里是一个和平的小村落，细胞们都过着幸福平和的生活。这天，玛丽亚的午餐是菠菜炒猪肉，但玛丽亚却没有把猪肉彻底煮熟，猪肉连同大肠杆菌及沙门氏菌经过她的口腔、食道，

进入了她的胃部。

“看来这是一个健康的身体啊！这里可以成为我们的新据点。这样我们便能繁荣，大量繁殖下一代，步向美好将来。”大肠杆菌士兵看着胃壁说道。

“我们向前冲呀！我们要占据这个地方！”沙门氏菌将军大声地向着细胞说道。

细胞们打算用浓烈的胃酸攻击它们。然而，浓烈的胃酸对它们没有一点杀伤力，细菌大军依然向它们袭来，没有丝毫的退缩。

“你难道认为这些胃酸能够伤害到我吗？看我穿上这黄金盔甲^[4]，刀枪不入，更何况这‘弱酸’！我能够在胃酸里存活一个小时！”沙门氏菌大将军大声说。细菌在一个小时足以入侵胃壁，继而进入血管，攻打人体的防御系统。

“加上我们有相似的抗原结构外观^[4]，我们可以伪装成一个胃细胞分子，这样白血球士兵们便不能分辨是敌是友。看他们如何攻打我们！”大肠杆菌士兵分析得头头是道。看来它们这次入侵是做足准备的，要杀细胞们一个措手不及。

当它们快要攻破胃壁的防守，进入玛丽亚的血管之际，一群警察突然凭空出现，把所有的细菌们都杀光了。

“你们是谁？”沙门氏菌将军惊恐地问道。

警察从容不迫地把细菌清光，从它们背上看到了“NO”的字样。

警察们，到底是谁？它们是氮氧化物。

它们从何以来？它们从菠菜中来。

在“NO”们未成为这群警察之前只是一些普通的化合物。菠菜中含有丰富的硝酸盐，通过口腔内与微生物的反应，硝酸盐氧化成为氮氧化物，而这些氮氧化物能够在一小时内杀死致命的大肠杆菌及沙门氏菌^[3]，成为了我们细胞的英雄。

经过一场营救之后，“NO”们重新回归到血液里工作。食物在胃部消化，硝酸盐在小肠吸收，继而进入血液循环。其实“NO”们本职是交通警察，每天的工作就是在血管里扩阔交通道路，确保交通畅通。

“冠状动脉发生交通意外！油脂堵塞部分马路，运载氧气的货车无法到达心脏。”广播缓缓地响起，“NO”们立即冲到案发现场。

可是，油脂堵塞了它们前进的方向，它们必须赶在心脏缺氧之前，把问题解决。

“这有条小径！我们穿过去吧！”“NO”们从肌浆膜走进细胞质，它们要在细胞质里寻找一种三磷酸鸟苷的化学物质，再与NO结合换成环磷酸鸟苷，便能够降低细胞内钙离子的浓度^[5]，继而扩张血管。

时间尚余两分钟，血压开始上升，警报缓缓地亮起了红灯，很快，心脏便会因缺氧而停止跳动。

“终于找到了！”“NO”们及时找到了三磷酸鸟苷。看着眼前的冠状动脉慢慢扩张，交通保持畅顺，原来堵塞的货车继续把氧气运到心脏。

原来，硝酸盐具有扩张血管及保护血管的作用，其中包括冠状动脉，可增加心脏血液供应，又同时扩张体内其他动静脉血管，令血压下降，又减少血液经静脉回流心脏，缓解心脏工作负担。因此，在配搭含有适量硝酸盐的饮食同时，人体可以增加硝酸盐的摄取量，从而减少患高血压及心血管系统疾病的风险，更加有助增强人体抵抗力^[5]。

“我们不再认为硝酸盐具有毒性和致癌性，我们意识到它们在维持体内平衡方面发挥着重要作用。”美国华盛顿大学的微生物学家 Ferric Fang 说道^[6]。这意味着如果我们能够每天摄入适量硝酸盐，是对我们的身体利大于弊的，更有益于我们的免疫系统及心血管健康。

3 结语

硝酸盐通常可以在饮用水源中找到，特别是在使用氮肥的农业区域。各种肉类加工中使用硝酸

盐用作颜色保持剂、食品防腐剂。其中，食品中的硝酸盐能够杀害一些在胃酸里存活多于一小时的细菌，有助于人类免疫系统，更有调整血压、控制心脏收缩等功能。因此，希望读者保持均衡饮食，不必太惊恐进食硝酸盐后会带来癌症。

参 考 文 献

- [1] Yau, J. Nitrate in Food. (2008-08-25) [2019-04-07]. https://www.cfs.gov.hk/english/multimedia/multimedia_pub/multimedia_pub_fsf_25_01.html.
- [2] Cheng, W. L.; Yu, S.; Chen, B. C.; Lai, H. Y. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2014**, *11* (4), 4427.
- [3] Christiansen, L. N.; Johnston, R. W.; Kautter, D. A.; Howard, J. W.; Aunan, W. J. *Appl. Microbiol.* **1973**, *25* (3), 357.
- [4] 郭朝祯, 邱姜砚. 科学发展, **2017**, No. 536, 57.
- [5] Pharmacological Actions of Nitrates. (2015-09-21) [2019-03-25]. <http://jerryljw.blogspot.com/2016/10/pharmacological-actions-of-nitrates.html>.
- [6] 明克尔, 涂可欣, 译. 科学人, **2004**, 32 (10), 2.