

对静电场下果蔬保鲜机理的初步分析

李里特^① 方 胜
(食品工程系)

摘 要 虽然对利用静电场实现果蔬保鲜的机理尚不完全清楚,但是目前出现了3种值得重视的观点:外加电场能改变生物细胞膜的跨膜电位,影响生理代谢;果蔬内部生物电场对其呼吸系统的电子传递体产生影响,减缓了生物体内的氧化还原反应;外加能量场使水发生共鸣现象,引起水结构及水与酶的结合状态发生变化,最终导致酶失活。从水结构的角来研究解决果蔬保鲜问题存在一定的可能性,进一步的研究将着重围绕水结构展开。

关键词 果蔬保鲜;机理;静电场;微能技术

中图分类号 S609.3

Preliminary Analysis on Mechanism of Fruit and Vegetable Preservation Using Electrostatic Field

Li Lite Fang Sheng
(College of Food Engineering, CAU)

Abstract Although the mechanism of fruit and vegetable preservation affected by electrostatic field has not been very clear yet, it has been found that there are three valuable viewpoints: 1) transmembrane potential could be changed by the extra electric field and thus the metabolism will be affected by this change; 2) the electric field around fruits and vegetables has influence on the electronic transmitter of respiratory system, therefore, the oxidation and reduction in the organism will be slowed down; 3) external energy field can cause a resonant response in water molecules, by which the molecule cluster and the combination status of water and enzymes will be changed, and can result also in the inactivation of enzymes. It is possible to adjust the water cluster to realize the fruit and vegetable preservation. The further study will be developed by focusing on the change of water cluster.

Key words fruit and vegetable preservation; mechanism; electrostatic field; mini-energy technology

农业生产的迅速发展和人民生活水平的不断提高,对农产品在销售前后品质的保持提出

收稿日期:1995-06-19

①李里特,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)113信箱,100083

了越来越高的要求。国内外过去在农产品保鲜研究方面取得了不少成果,但某些难储果蔬如蜜桃、草莓等的长期保鲜却仍然是一大难题。最近微能技术的应用研究受到极大的关注。所谓微能技术是指在农产品储藏加工、动植物培育、食品工程和水处理等领域,利用诸如电磁波、电磁场、声波、压力场等微弱能源对加工对象进行节能、高效、高品质处理的一种技术。其中利用静电场来实现保鲜的试验性报道很多,但其保鲜机理尚不完全清楚,存在着不同的见解,有 3 种值得重视的设想和研究途径。

首先是从细胞膜电势的角度来分析。据报道^[1~3],静电场对果蔬有保鲜作用,主要是由于电场改变了果蔬细胞膜的跨膜电位。这方面的结论主要是源于美、英等国学者对在电场下植物根细胞和动物细胞生长受到抑制的研究。

一般^[4,5]认为,在水溶液中一个离子要穿过细胞膜,除了需要一定的载体来传递外,更重要的是它受到 2 种驱动力的作用:一种来自膜内外两侧的(浓度)化学梯度,另一种则是由于透过膜的电荷运动所造成的电势梯度(膜电位)。这两者总起来叫做电化学梯度。也就是说,电化学梯度将决定离子的运动方向以及对膜的透过情况。膜电位 V_m 在正常情况下又分为 2 个部分:一部分是扩散平衡电势 E_{eq} ,另一部分是外电场的附加电势 E_a ,用公式可表示为 $V_m = E_{eq} + E_a$ 。在外加电场作用下,膜电位差的变化可以认为是一个电致过程。若外加电场方向与膜电位正方向一致,则膜电位差增大,反之则减小。膜电位差的改变必然伴随着膜两边的带电离子的定向移动,从而产生生物电流,带动了生化反应。国外的一些试验已经初步证实了这种影响方式存在的可能性。其中最明显的例子就是线粒体内的 ATP 合成本来就是由跨膜电势差 ΔE_m 所控制的。由于 ATP 的生成率决定于激活的 ATPase(三磷酸腺苷酶)的数量 n ,而 n 又是膜电位差的函数,即 $n = f\Delta E_m$,这样,在适宜的外部电场激励下,氧化磷酸化水平的提高将促进 ATP 的合成,加快其生理代谢过程;但是在另一适宜的电场(场强大小、方向不同)激励下,也有可能通过降低氧化磷酸化水平来延缓细胞的新陈代谢,从而达到保鲜的目的。

其次是从果蔬内部生物电场的角度来分析。果蔬作为一个生物体,本身存在着它固有的电场,因此当这种固有电场遭到外部干扰时就可能表现为某种生理上的变化。根据测试^[6],采摘后的果实正常情况下一般表现为果皮带正电,果芯带负电,如图 1(a)所示,但是当果实的周围加上高压电场后,果皮与果芯的带电情况却由于发生电场感应而得到加强(图 1(b))。那么 ΔV 对果蔬保鲜有何直接作用呢?一些研究者^[4~6]报道,生物体内的氧化还原反应主要是以 Fe 来充当电子传递体的,如图 2 所示,利用 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 之间的往复转变,从某反应物获得电子,再传递给另一反应物,实现细胞内的生化反应。更进一步讲,反映果蔬储藏中呼吸强弱的氧化酶的辅基是含 Fe 的有机物,当处于负电场中时, Fe^{3+} 容易得到 1 个电子而变成还原态的 Fe^{2+} 。例如:

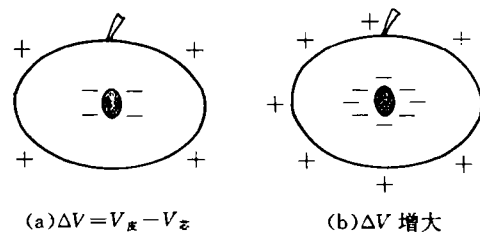
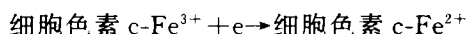
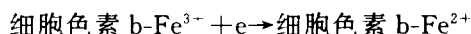
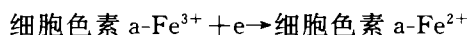


图 1 果实带电示意图

再如,正铁血红蛋白作为过氧化物酶的辅基也是以 Fe^{3+} 为中心的络合形式存在的,当处于负电场中时, $Fe^{3+} + e \rightarrow Fe^{2+}$,这就意味着在外加电场作用下, ΔV 的增大使控制果蔬呼吸作用的酶以 Fe^{3+} 为中心的构象发生了变化,即 Fe^{3+} 变成了还原态的 Fe^{2+} 。这样,可以认为酶的活性中心的改变使酶失去了活性,果蔬的呼吸作用将逐渐减缓,这正是保鲜储藏所希望的结果。

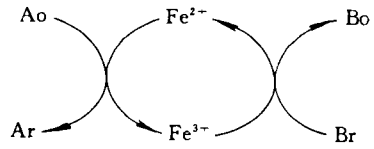


图 2 铁离子充当电子传递体

这种电场保鲜的理论模型虽然很吸引人,但也存在着问题,即当外加激励促使 $Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$ 的同时却抑制了 $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$,这就使靠 $Fe^{3+} + e \rightleftharpoons Fe^{2+} - e$ 之间的转变来实现电子传递的平衡被打破,果蔬体内的反应也被扰乱,可能使果蔬出现一些不期望出现的病态,达不到减缓果蔬生理活动的目的。为了解决这些问题,可以考虑适当控制电场的强度。

三是从水结构的角度来分析。本世纪初,在胶体化学研究的基础上,生物学者们就开始注意到生物体内水的状态对生物生理有着很大影响,曾提出过生物细胞就是由半透膜包裹着的稀薄溶液的想法,认为水的主要作用是作为生化反应的溶剂。直到 50 年代,虽然人们也提出了种种关于生物膜理论学说来说明各种生物现象,但对生物体内的水的认识还是停留在稀薄溶液的水平上。随着物理学和物理化学的进步,人们发现水本身并非单纯的液体,而是具有一定构造的物质,于是从水的构造的角度开拓了对生物膜研究的新领域。对这一领域的研究主要可以分为两大类:一类是关于水本身的结构及其热学和电磁学性质对生物的影响;另一类是研究生物体内水的结合状态及其热学和电磁学对生物的影响。从 60 年代到 80 年代,对水的研究取得了重大进展,特别是 1972 年前苏联学者秋尼科夫以实验证实了用电磁场处理水可使酶的活性降低,1976 年日本上平恒提出了细胞内水的相层结构模型、1980 年隆阪和桃田用示差热分析法观察到了细胞内结合水和自由水的构造,80 年代中期人们又通过中子散乱实验证实了水结构的存在等成果使得有关水和生物体内生化反应的研究备受注目,并奠定了一个新兴的理论基础。

这一理论^[7,8]认为,水是一种由氢键结合而成的具有一定结构(称作水分子团(cluster))的液体。由于水分子是极性分子(图 3),所以这种结构并非固定不变的,而是一种动态结构,一般自由水分子团的存在时间仅有 1~10 ps,随着氢键的形成与断裂,水分子之间存在着小分子缔合为大分子团,大分子团解聚为小分子的不停的变化过程。最近以日本学者为代表的许多国家的学者,对水的研究又有了新的发现,即水与其他物质一样存在固有频率,当外加引起共鸣的能量场(例如静电场)时,水也能发生共鸣,而水的这种共鸣现象极有可能引起水的结构改变,使它成为活化水或活性化水。

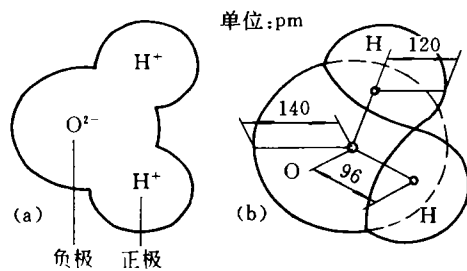


图 3 水分子的极性(a)及形状(b)

影响果蔬生理反应的主要是果蔬内酶的活性,而酶蛋白周围的水分不仅是果蔬生存的条件

件,更是果蔬细胞的重要组成部分。水结构上的任何变化理所当然要引起果蔬生理上的改变。当外加静电场作用于酶周围的水分使其结构发生变化时,在一定条件下极可能改变水与酶的结合状态,使酶的活性不能发挥出来,从而失去活性。酶的失活必将延缓果蔬的生理代谢过程,达到保鲜的目的。

从以上分析不难发现,利用静电场从水结构调整的角度出发解决草莓、蜜桃等难储藏果蔬的长期保鲜问题不仅有可能,而且还具有节能和简便易行的优点;但是目前这方面的研究尚处于开拓性阶段,需要对静电场下的水结构以及它与酶的结合状态作更深入的微观分析。这也是笔者即将开展的研究之一。有关深入的分析将另文发表。

参 考 文 献

- 1 Gross D. Electromobile surface charge alters membrane changes induced by applied electric fields. *Biophysical J*, 1988, 54(11): 879~884
- 2 Brayman A A, Miller M W. Proportionality of 6 Hz electric field bioeffect severity to average induced transmembrane potential magnitude in a root model system. *Radiation Research*, 1989, 11(7): 207~213
- 3 Brulfert A, Miller M W. A cytohistological analysis of roots whose growth is affected by a 60 Hz electric field. *Bioelectromagnetics*, 1985(6): 283~291
- 4 霍尔 J L, 贝克 D A. 细胞膜与离子传递. 焦新立译. 北京: 科学出版社, 1985. 33~42
- 5 韩贻仁. 分子细胞生物学. 北京: 高等教育出版社, 1988. 132~153
- 6 尚念科. 果蔬静电贮藏保鲜机理的探讨. *静电*, 1994(4): 17~18
- 7 Chapman D. The role of water in biomembrane structure. *J of Food Engi*, 1994(22): 367~380
- 8 上平 恒. 生体系の水. 东京: 讲谈社, 1989. 13~58