

# 贮藏库温度对臭氧化空气衰减速率影响的研究

王文生<sup>1</sup>, 罗云波<sup>1</sup>, 石志平<sup>2</sup>, 乔润林<sup>2</sup>

(1. 中国农业大学 食品与营养工程学院, 北京 100083; 2. 国家农产品保鲜工程技术研究中心, 天津 300384)

**摘要:** 设定 0.5, 5, 10, 15 和 20 °C 5 种温度, 在气调库内测定臭氧化空气的衰减变化。结果表明, 随温度降低, 臭氧化空气的衰减速率明显减慢; 在 0.5 °C 的温度下, 经过 40 min, 臭氧化空气的浓度由 25.5 mg/m<sup>3</sup> 降为 19.5 mg/m<sup>3</sup>, 衰减率为 23.5%; 而在相同的时间内, 5, 10, 15 和 20 °C 下的衰减率分别为 35%, 39.7%, 62.9% 和 75.8%。同时发现, 无论在何种试验温度下, 都表现出臭氧化空气在高浓度时衰减的量多, 低浓度时衰减的量少。由回归方程计算出的 0.5, 5, 10, 15 和 20 °C 5 种温度下的半衰期, 分别为 66, 64, 47, 28, 20 min。

**关键词:** 臭氧; 衰减; 温度; 半衰期

中图分类号: S379.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2004)01-0021-03

## Effect of Temperature on Attenuation Rate of Ozone Atmosphere

WANG Wen-sheng<sup>1</sup>, LUO Yun-bo<sup>1</sup>, SHI Zhi-ping<sup>2</sup>, QIAO Run-lin<sup>2</sup>

(1. College of Food Nutrition and Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. National Engineering and Technology Research Center for Preservation of Agricultural Products, Tianjin 300384, China)

**Abstract:** Attenuation rate of ozone atmosphere in storage store at 0.5, 5, 10, 15, 20 °C was determined. The result showed that attenuation rate of ozone apparently became lower as the temperature decreased. Ozone concentration reduced from 25.5 mg/m<sup>3</sup> to 19.5 mg/m<sup>3</sup> after 40 min at 0.5 °C, namely attenuation rate was 23.5%. While attenuation rate of ozone was 35%, 39.7%, 62.9%, 75.8% after 40 minutes at 5, 10, 15, 20 °C, respectively. Whatever temperature is, high concentration ozone atmosphere had higher attenuation quality than that of low concentration ozone atmosphere. Half-life of ozone acquired by regression equation was 66, 64, 47, 28, 20 min at 0.5, 5, 10, 15, 20 °C respectively.

**Key words:** Ozone; Attenuation rate; Temperature; Storage; Half-life

近年来臭氧在果蔬贮藏保鲜和食品加工上的研究与应用日见广泛<sup>[1,2]</sup>, 并成为国内外应用研究与技术开发的热门课题<sup>[3]</sup>。臭氧属于既活泼又不稳定的气体, 因而它和其他物质的氧化反应和自身的分解受到温度高低的影响。对绝大多数果蔬而言, 贮藏保鲜的适宜温度范围在 0~15 °C 之间, 20 °C 常作为观察果蔬货架寿命的温度, 因而, 研究臭氧化空气在该温度区间的衰减变化规律, 有助于揭示臭氧衰减与贮藏环境温度之间的关系, 为臭氧在果蔬保鲜上的科学应用奠定理论基础。

## 1 仪器装置和试验方法

### 1.1 仪器装置

试验研究在国家农产品保鲜工程技术研究中心(天津)进行。不同温度的调控在实验性气调库(由意大利 ISOLCELL 公司设计安装)内完成。库房采用预制彩钢保温板建造, 气密性优良。库内净尺寸: 长×宽×高为 5.4 m×4.8 m×3.85 m, 容积 100 m<sup>3</sup>。制冷系统为采用乙二醇循环的间接冷却系统, 控温精度 ±0.5 °C, 库内专门放置永生牌家用风扇(风扇直径 40 cm), 连续运转以均匀臭氧化空气。

臭氧发生器采用沈阳东宇臭氧设备有限公司制造的 GMPO-5 风冷式臭氧发生器,标称臭氧产量 5 g/h,发生器与库内用聚四氟乙烯管连接,通入库房中部距地面 1.2 m 处。

1.2 试验方法

设定试验温度分别为 0.5, 5, 10, 15 和 20 ℃。用 GMPO-5 风冷式臭氧发生器向库内通气,使库内臭氧起始浓度达到 21~26.5 mg/m<sup>3</sup>。在 0.5, 5, 10 ℃三种温度条件下,用北京市检测仪器厂生产的 CD-1 型大气采样器,每隔 40 min 采样、测定一次臭氧浓度;15, 20 ℃两种温度下,每隔 20 min 采样、测定一次臭氧浓度,每个温度下的测定结果重复 3 次,取平均值。取样处为库房中部,臭氧浓度采用酸性碘化钾法测定。

1.3 数据分析

采用回归分析法确定臭氧浓度与时间间隔之间的关系。

2 结果与分析

在 0.5, 5, 10, 15, 20 ℃ 5 种温度条件下,对起始质量浓度为 21~26.5 mg/m<sup>3</sup> 的臭氧化空气的浓度变化和衰减速率进行了测定计算,结果见图 1, 2。

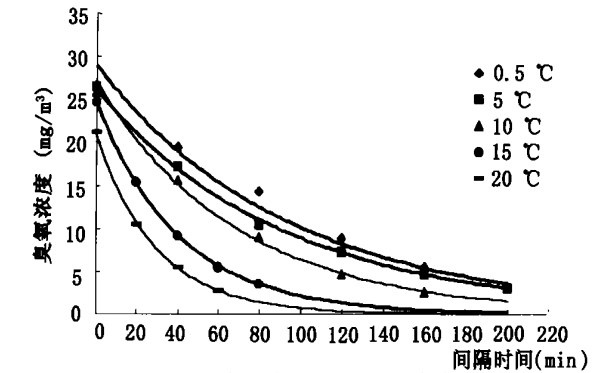


图 1 不同温度下臭氧化空气浓度变化趋势

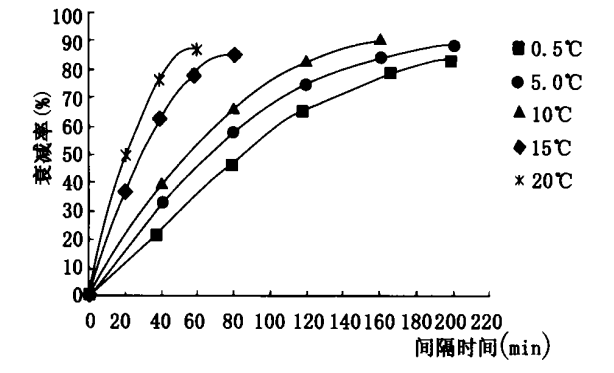


图 2 不同温度下臭氧化空气衰减速率变化

由图 1 和图 2 可见,在供试的 5 种温度下,起始

臭氧化空气浓度基本近似的情况下,随温度的升高,臭氧分解速率明显加快。在 0.5 ℃的温度下,经过 40 min,臭氧化空气的浓度由 25.5 mg/m<sup>3</sup> 降为 19.5 mg/m<sup>3</sup>,衰减率为 23.5%;而在同样长的时间内,5 ℃下的衰减率为 35%,10 ℃下衰减率为 39.7%,15 ℃下衰减率为 62.9%,20 ℃下衰减率为 75.8%;在相同的时间内,无论供试为何种温度,都是臭氧化空气在高浓度时,衰减的绝对量多,低浓度时衰减的绝对量少。

由图 1 的近似拟合曲线可得出不同温度下臭氧浓度衰减与时间之间的回归方程式,并以此计算出不同温度下臭氧浓度衰减一半时所用的时间(半衰期),见表 1。

表 1 不同温度下臭氧浓度衰减与间隔时间之间的回归方程及半衰期

试验温度(℃)	回归方程	相关系数(R <sup>2</sup> )	半衰期(min)
0	$Y = 28.983e^{-0.0105X}$	0.984	66
5	$Y = 26.164e^{-0.0108X}$	0.999	64
10	$Y = 27.107e^{-0.0145X}$	0.998	47
15	$Y = 24.727e^{-0.0244X}$	0.999	28
20	$Y = 20.928e^{-0.0337X}$	0.999	20

注: Y 臭氧质量浓度(mg/m<sup>3</sup>); X: 时间间隔(min)

3 讨论

臭氧的化学性质极不稳定,在空气和水中都会逐渐分解成氧气。尽管随温度升高分解速率加快这种定性关系已十分明确,但温度高低和臭氧分解速率之间的数量关系资料报道很不一致。储金字等指出<sup>[4]</sup>,含量为 1% 以下的臭氧,在常温常压的空气中分解半衰期为 16 h 左右,当臭氧溶于水时,分解速度要比空气中快得多。

Khadre 等<sup>[5]</sup>在其综述文章中提到,20 ℃下在蒸馏水中,臭氧的半衰期一般被认为是 20~30 min。但 Wynn<sup>[6]</sup>指出 20 ℃下在蒸馏水中,臭氧的半衰期为 165 min。Ewell<sup>[7]</sup>在早期的研究中发现,在苹果冷藏室,0.5 h 的时间内,臭氧体积分数从 1.0 μL/L 分解到 0.2 μL/L。方敏等指出<sup>[8]</sup>,臭氧在空气中的半衰期一般为 20~50 min,温度越高、湿度越大,分解越快。本试验测定的臭氧化气体的质量浓度变幅在 26.5 mg/m<sup>3</sup> (1 ppm = 2.14 mg/m<sup>3</sup>) 到 2.6 mg/m<sup>3</sup> 之间。在 0 ℃下,臭氧质量浓度由 25.5 mg/m<sup>3</sup> 降至 3.2 mg/m<sup>3</sup>,衰减率为 87.4%,持续时间约为 200 min,而在 20 ℃下,由 21.2 mg/m<sup>3</sup> 降至 2.8 mg/m<sup>3</sup>,衰减率为 86.9%,持续时间约为 60

min, 可见在 0~20 ℃的范围内, 温度升高, 臭氧衰减速度显著加快。由于试验选择的气调库系实际贮藏场所, 考虑到水泥地面对臭氧的吸收、库板对臭氧可能的吸附、库门缝隙微小的气体交换以及不同温度条件下库内调控的相对湿度差异等因素, 与完全控制条件的模拟系统不同, 因而推导出的不同温度下的半衰期, 只能在相似的使用环境下作为参考, 而不宜将其作为臭氧分解特性的绝对数值看待。

0 ℃是许多果蔬适宜的贮藏温度, 在该温度下臭氧分解速率相对比较慢, 所以可采用较低的臭氧浓度配合较长的处理时间; 而在室温下, 臭氧的分解速率相对要快得多, 如为延长果蔬的货架期等, 可考虑采用较高的臭氧浓度与短时间处理相结合。

参考文献:

[ 1 ] 夏 静, 姚自鸣, 宋学芬, 等. 果蔬保鲜延贮中臭氧及负氧离子应用效果[ J ] . 北方园艺, 1998 (1): 38—39.

[ 2 ] Smilanick J L, Margosan D M, Mlikota Gabler F. Impact of ozonated water on the quality and shelf-life of fresh citrus fruit, stone fruit, and table grapes[ J ] . Ozone Science and Engineering, 2002, 24: 343—356.

[ 3 ] Rip G Rice. Century 21—pregnant with ozone[ J ] . Ozone Science and Engineering, 2002, 24: 1—15.

[ 4 ] 储金字, 吴 春, 陈万金. 臭氧技术及应用[ M ] . 北京: 化学工业出版社, 2002. 23.

[ 5 ] Khadre M A, Yousef A E, Kim J G. Microbiological aspects of ozone application in food: a review[ J ] . Food Sci, 2001, 66(9): 1242—1252.

[ 6 ] Wynn C S, Kirk B S, McNabney R. Pilot plant for tertiary treatment of wastewater with ozone[ A ] . EPA Report R2—73—146 C ] . Cincinnati: US EPA Municipal Environ Res Lab, 1973.

[ 7 ] Ewell A W. The use of ozone in cold storage plants[ J ] . Ice and refrigeration, 1936, 91: 295—296.

[ 8 ] 方 敏, 沈月新. 臭氧及其在水产品保鲜中的应用[ J ] . 水产科学, 2003, 22(4): 35—37.

● 新书介绍

《作物抗旱节水的生理遗传育种基础》

由著名旱农学家, 中国工程院院士山仑先生, 小麦遗传育种学家、中国科学院院士李振声先生作序, 张正斌研究员编著的《作物抗旱节水的生理遗传育种基础》, 2003 年由科学出版社出版发行。该书 40 余万字, 定价 42 元。欢迎单位和个人从科学出版社购买。

该书系统地介绍了作物抗旱节水生理遗传育种研究的理论和技术体系及最新研究进展, 共 15 章。分别是: 水危机与蓝色革命、节水农业的发展、生物节水、作物水分利用效率和蒸发蒸腾估算模型、碳同位素在作物水分利用效率研究中的应用及问题、作物抗旱节水形态发育适应与自我调控、作物抗旱节水的生理调控机制、气孔调节与抗旱节水、激素和信号传导与抗旱抗逆、干旱等逆境诱导蛋白和糖及其功能、干旱等逆境诱导基因的表达、调控及克隆、抗旱节水相关基因的定位和分子标记、转耐旱耐逆基因作物、作物整体抗逆性及共同机制和作物抗旱节水育种等。读者对象为农业大专院校和科研单位抗旱生理专业研究生和科研工作者。

联系地址: 北京东黄城根 16 号科学出版社学士书店      邮编: 100717

联系电话: 010—64000246

作者联系单位: 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 张正斌

作者联系地址: 石家庄市槐中路 286 号      邮编: 050021

联系电话: 0311—5886648      Email: zzb@ms.sjziam.ac.cn