

利用在室温下的测定数据计算冷藏果实呼吸速率的方法探讨

苑克俊, 刘庆忠, 李 勃

(山东省果树研究所, 山东 泰安 271000)

摘 要: 利用红外线 CO₂ 分析仪测定冷藏苹果和油桃在室温 (17℃或25℃) 条件下的 CO₂ 变化, 然后计算其在室温条件下的呼吸速率。结果表明: 其呼吸速率随时间变化, 在前 30 min 内可用直线回归方程模拟。冷藏苹果和油桃在室温条件下测出的呼吸速率不能代表其在 0℃下的实际呼吸速率, 但冷藏苹果和油桃的实际呼吸速率可利用在室温下的测定数据通过回归方程计算求得。

关键词: 苹果; 油桃; 呼吸速率; 温度; 方法; 回归方程

中图分类号: S 129 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2009)09-0199-03

呼吸速率作为果实生命活动的重要指标, 与果品的贮藏寿命有着极为密切的关系。正确测定出果实的呼吸速率, 对于搞好气调包装设计和果品贮藏是十分重要的。常用的呼吸速率测定方法有红外线 CO₂ 分析仪测定法和酸碱反应法, 后者又分为气流法和静置法^[1-9]。以往由于技术或操作条件的限制, 或由于主观上忽视, 呼吸速率的测定常在室温下进行^[6], 而贮藏环境的温度往往与之不同, 因此测出的结果很难代表果实在贮藏环境中的呼吸速率, 如何测定才能真实反映果实在贮藏条件下的呼吸速率是一个值得探讨的问题, 近年来已日益引起人们的重视。尹明安等^[9]探讨了采用静置法直接在贮藏环境中测定呼吸速率的方法。徐步前等^[7]对薄膜包装果蔬的呼吸强度提出了新的测定方法。作者也曾专门探讨过果实在气调状态下呼吸速率的测定方法^[4], 并采用该方法测定了不同气调处理苹果的呼吸速率^[8]。现对在室温条件下测算冷藏苹果呼吸速率的问题进行了探讨。

1 材料与方法

1.1 红星苹果试验

红星苹果在 0℃条件下进行冷藏处理。呼吸测定采用文献^[3-4]的红外线 CO₂ 气体分析仪密闭气路系统方法, 取 1 000 g 左右的苹果, 先记下取出的时间, 然后将苹果放入呼吸室, 在 17℃室温下利用国产 QGD-07 红外线 CO₂ 分析仪进行测定, 每间隔一段时间测定一个呼吸

速率, 每一个测定都记下开始和结束测定的时间以及呼吸室的温度 (T), 80 min 内共测定 8 个呼吸速率。测定全部结束后, 取出苹果称重 (W, g)、用排水法测量其体积 (V₁, mL) 和测定系统总体积 (V₂, mL), 通过查表或计算出每一个测定开始时的 CO₂ 浓度 (C₁, μL · L⁻¹) 和结束时的 CO₂ 浓度 (C₂, μL · L⁻¹) 以及测定时间 (t, min), 然后按下列公式计算其呼吸速率 (mg CO₂ · kg⁻¹ · h⁻¹)。呼吸速率 = $(C_2 - C_1) \times 10^{-9} \times (V_2 - V_1) \times 60 \times 4\,400 \times 273 / (W \times 10^{-3} \times t \times 22.4 \times (273 + T))$ 。

1.2 藤牧一号苹果和瑞光油桃试验

果实在 0℃条件下进行冷藏处理。呼吸测定采用红外线 CO₂ 气体分析仪开放气路系统方法, 以英国 PP System 公司 CIRAS-1 便携式光合仪测定, 光合仪设置中的叶面积参数设为 10, 根据果实呼吸强弱气体流速设为 300 cm³ · min⁻¹ (苹果) 或 400 cm³ · min⁻¹ (油桃), 试验果实 300 g 左右, 以两端连接通气管的薄膜袋作为果实呼吸袋, 为缩短系统平衡时间要尽可能减小呼吸袋, 缩短连接管路。先在 0℃条件下测定呼吸袋内冷藏处理果实的呼吸, 然后取出呼吸袋及袋内果实, 记下取出的时间。为缩短室温下的系统平衡时间, 将呼吸袋打开并重新接通气路, 要求取出后 2 min 内接好气路, 然后在 25℃室温下利用红外线 CO₂ 分析仪开始测定, 在取出后 10 ~ 60 min 内每间隔 5 min 记录 A 值。测定结束后, 取出果实称重 (W, g), 按下列公式计算其呼吸速率 (CO₂ mg · kg⁻¹ · h⁻¹)。呼吸速率 = $A \times 60 \times 60 \times 44 / (W \times 1\,000)$ 。

2 结果分析

2.1 红星苹果试验

从表 1 可看出, 在 0℃条件下冷藏处理的红星苹果取出在 17℃条件下进行测定时呼吸速率表现出不断增

第一作者简介: 苑克俊 (1963-), 男, 博士, 研究员, 现研究方向为果实生理和基因与分子标记。E-mail: yuankj@vip.sina.com。

基金项目: 山东省自然科学基金资助项目 (Q98D02134)。

收稿日期: 2009-04-20

高的趋势,其中前 30 min 内的呼吸速率测定值呈线性增加(图 1)。以前 30 min 内果实取出到每一次呼吸测定时的时间为自变量 X 、呼吸速率为因变量 Y 进行直线回归模拟得模型: $Y=3.613657+0.034368X$, 相关系数为 0.9944, 这说明直线回归模拟值能很好地代表测定值。果实在 0°C 条件下的呼吸速率可通过直线回归模型求得。将 $X=0$ 代入模型可求得冷藏红星苹果取出时的呼吸速率模拟值为 $3.61\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。尽管当时未直接测定红星苹果在 0°C 条件下的呼吸速率,但在另一个试验中,采用直接从冷库中的密封呼吸瓶和空白对照瓶内抽气,然后用红外线 CO_2 分析仪进行分析的方法^[4],测定过冷藏红星类苹果的呼吸速率^[9]为 $3.03\sim4.04\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,模拟值 $3.61\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 在此范围内。

表 1 冷藏红星苹果在 17°C 温度下的呼吸速率

		$\text{CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$								
取出时间/min	0	10	17	30	40	53	60	71	77	
呼吸速率		3.93	4.24	4.63	5.65	5.96	6.19	6.05	6.08	

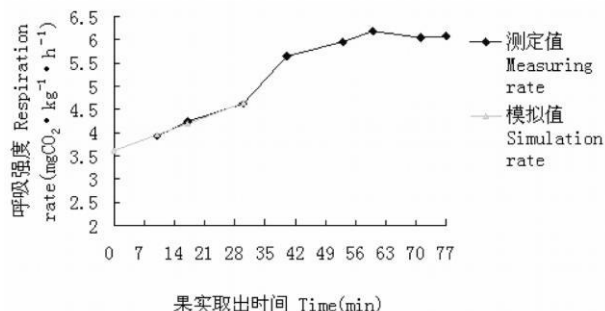


图 1 冷藏红星苹果取出后在 17°C 温度下的呼吸速率

2.2 藤牧一号苹果和瑞光油桃试验

为能直接比较在 0°C 条件下的呼吸速率测定值和模拟值,确立方法的可行性,以藤牧一号苹果和瑞光油桃为试材进一步进行了研究。从图 2 可看出,在 0°C 条件下冷藏处理的藤牧一号苹果和瑞光油桃,取出在 25°C 条件下进行测定时呼吸速率表现出不断增高的趋势,其中藤牧一号苹果在前 30 min 内呼吸速率明显呈线性增加,瑞光油桃在前 45 min 内呼吸速率明显呈线性增加,这表明藤牧一号苹果和瑞光油桃皆可采用前 30 min 内的呼吸测定值来建立直线回归模型。

以苹果取出到每一次呼吸测定时的时间为自变量 X 、呼吸速率为因变量 Y ,采用 10~30 min 内的 5 个呼吸测定值进行建模,则藤牧一号苹果的直线回归模型为: $Y=10.68764+0.231997X$, 相关系数为 0.9943。将 $X=0$ 代入模型可求得冷藏藤牧一号苹果取出时的呼吸速率为 $10.69\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。直接在 0°C 条件下测得的呼吸速率为 $11.08\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,与取出后在

室温下 10、20、30 min 时呼吸测定值的误差分别为 15.21%、32.96%和 54.67%,而与模拟值 $10.69\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 的误差仅为 -3.52%。

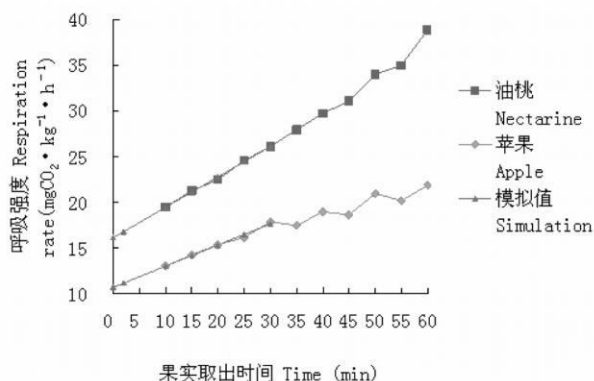


图 2 冷藏藤牧一号苹果和瑞光油桃取出后在 25°C 温度下的呼吸速率

以油桃取出到每一次呼吸测定时的时间为自变量 X 、呼吸速率为因变量 Y ,采用 10~30 min 内的 5 个呼吸测定值进行建模,则瑞光油桃的直线回归模型为: $Y=16.12979+0.332438X$, 相关系数为 0.9976。将 $X=0$ 代入模型可求得冷藏瑞光油桃取出时的呼吸速率为 $16.13\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 。直接在 0°C 条件下测得的呼吸速率为 $16.9\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$,与取出后在室温下 10、20、30 min 时呼吸测定值的误差分别为 17.42%、38.72%、61.1%,而与模拟值 $16.13\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 的误差仅为 -4.56%。

2.3 冷藏果实呼吸速率的模拟方法

上述苹果和油桃的呼吸模拟值误差仍较大,推测可能是果实取出的最初 2 min 内果实呼吸速率变化很小。以藤牧一号苹果取出 2 min (即 $X=2$) 时的模拟值 11.15 代表其冷藏条件下的呼吸速率,其误差仅为 0.63%;以瑞光油桃取出 2 min (即 $X=2$) 时的模拟值 16.79 代表其冷藏条件下的呼吸速率,其误差仅为 -0.65%。以红星苹果取出 2 min (即 $X=2$) 时的模拟值 3.68 代表其冷藏条件下的呼吸速率,模拟值 3.68 在呼吸速率测定值 ($3.03\sim4.04\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) 范围内,与文献^[10]中提到的苹果在 0°C 下的呼吸速率 $3.91\text{ CO}_2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ 也是接近的。这些结果证实了推测是正确的,果实取出 2 min (即 $X=2$) 时的呼吸速率模拟值可代表冷藏果实的呼吸速率。

3 讨论

以往由于技术或操作条件的限制,或由于主观上忽视,人们常以室温条件下测定的结果代表低温处理或低温贮藏果实的呼吸速率^[4]。虽然该试验数据间接证明在 25°C 室温下最初 2 min 内的呼吸速率变化很小,果

实取出 2 min 时的呼吸速率模拟值可代表冷藏果实的呼吸速率,但由于测定系统气路连接以及接好后系统平衡需要一段时间,是不可能直接测定最初 2 min 内的呼吸速率的,一般在果实取出 10 min 后可开始呼吸速率测定。如果用的是双气室红外线 CO₂ 气体分析仪(如 CIRAS-1 或 TPS-1 光合作用测定仪),采用开放气路系统呼吸测定方法,10 min 后可以随时测定果实的瞬时呼吸速率;如果用的是单气室红外线 CO₂ 气体分析仪(如 QGD-07 型),采用密闭气路系统呼吸测定方法,果实取出 10 min 后,则每间隔一段时间通过测定 2 min 内呼吸室中的 CO₂ 变化量计算呼吸速率。该试验结果表明,当外界室温与冷藏环境温度相差较大时,苹果和油桃在室温(25℃)下第 10~30 min 测得的呼吸速率明显高于在冷藏条件下的实际呼吸速率,这说明确实不能以室温条件下测出的果实呼吸速率代表其在冷藏条件下的呼吸速率。

同时发现冷藏苹果和油桃在取出后的一段时间内,在室温条件下的呼吸速率变化有规律性,可通过模拟求出它在冷藏条件下的呼吸速率。利用该试验提出的方法测定冷藏果实的呼吸速率,需要注意的是果实取出和测定时要记下时间,取出后要尽快进行测定,在 10~30 min 之内要完成 3~5 个测定,进而建立直线回归方程模拟出冷藏果实的呼吸速率。理论上,当外界室温与冷藏温度相差较小时,该试验提出的方法也是适用的,只不过呼吸速率的测定值受外界室温的影响变小。

该研究的意义不仅在于提供了一种冷藏果实呼吸速率的测定方法,更重要的是以直观的数据提醒人们,不能以室温条件下测出的果实呼吸速率代表其在冷藏条件下的呼吸速率。尹明安等^[3]采用静置法,通过在取出后立即测定 30 min 内呼吸室中的 CO₂ 变化量计算呼吸速率,也曾发现某些冷藏蔬菜取出后在室温下的呼吸速率测定值与冷藏条件下的测定值有显著差异。

除了采用该研究建立的方法进行冷藏果实呼吸速率的测定与计算,当然也可以采用直接从冷库中的密封呼吸瓶和空白对照瓶内抽气、然后用红外线 CO₂ 分析仪进行分析的方法^[4-5]来测定冷藏果实的呼吸速率。另外,还可以直接将测定仪器移到冷藏环境中进行冷藏果实的呼吸速率测定,但采用该试验建立的方法在室温下测定更方便、更有利于保护测定仪器。另外,人们提到苹果呼吸速率时一般指的是中、晚熟品种,对早熟苹果品种的呼吸速率研究较少。该试验结果表明,在 0℃ 温度条件下,7 月份成熟的藤牧一号苹果的呼吸速率明显较高。

参考文献

[1] 蒙盛华,胡小松,赵华,等. 水果蔬菜贮藏保鲜实用技术手册[M]. 北京:科学普及出版社,1991:201-206.
[2] 中国科学院上海植物生理研究所,上海植物生理学会. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999:83-85,117.
[3] 郁生福. 果蔬呼吸强度的红外线 CO₂ 分析仪测定法[J]. 山东农业科学,1986(2):48-50.
[4] 苑克俊,张道辉,李震三. 气调果实呼吸速率的测定方法[J]. 中国果树,1995(3):44-45,40.
[5] 赵世杰,彭涛,许长城,等. 应用 CO₂ 分析仪测定植物组织呼吸速率方法的改进[J]. 植物生理学通讯,1996,32(1):38-40.
[6] 尹明安,郭立,欧燕,等. 测定冷藏蔬菜呼吸速率时的温度探讨[J]. 植物生理学通讯,2003,39(1):43-45.
[7] 徐步前,余小林. 薄膜包装中果蔬呼吸强度的测定[J]. 农业工程学报,2000,16(5):110-113.
[8] Yuan K, Zhang D, Hu X S, et al. Simulation analysis of respiration and weight loss of stored apples in relation to temperature, O₂ and CO₂ levels[J]. 山东农业大学学报,2002,增刊:314-318.
[9] 苑克俊,李震三,张道辉,等. 延迟和缩短苹果气调处理时间对贮藏效果的影响[J]. 园艺学报,2002,29(6):524-528.
[10] 侯东明,江亿. 水果蔬菜薄膜气调贮藏[M]. 北京:清华大学出版社,1992:201.

(致谢:非常感谢山东农业大学高辉远、彭涛和赵世杰三位老师在 CIRAS-1 便携式光合仪使用和开放气路系统测定呼吸方法方面的帮助。)

A Method for Calculating Respiration Rate of Cold-stored Fruit Using Data Measured under Room Temperature Condition

YUAN Ke-jun, LIU Qing-zhong, LI Bo
(Shandong Institute of Pomology, Taian, Shandong 271000, China)

Abstract: Infrared CO₂ analyzer was used to measure CO₂ output of cold-stored apple and nectarine fruit under 17℃ or 25℃ room temperature condition, then their respiration rate under room temperature condition were calculated. The results showed that their respiration rate changed with time and could be described very well by linear equation during the first 30 minutes; the respiration rate measured under room temperature condition could not be used to represent the actual respiration rate of cold-stored apple and nectarine fruit at 0℃, but their actual respiration rate at 0℃ could be calculated from the equation using data measured under room temperature condition.

Key words: Apple; Nectarine; Respiration rate; Temperature; Method; Regression equation