

# 环境因素对自然气调下双孢蘑菇呼吸速率影响的初步研究

雷 桥, 周颖越, 徐文达

(上海水产大学食品学院, 上海 200090)

**摘 要:** 研究了温度、容器内顶隙气体体积与双孢蘑菇体积比、O<sub>2</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度及处理时间 *t* 对双孢蘑菇呼吸速率的影响, 并采用多因素方差分析、重回归分析法, 确定了双孢蘑菇呼吸速率的显著性影响因素, 结果表明: 温度对双孢蘑菇呼吸耗氧率 *R*<sub>O<sub>2</sub></sub>、二氧化碳生成率 *R*<sub>CO<sub>2</sub></sub>、呼吸商 *R**Q* 的影响比体积比的影响更显著; 25、18 和 4 ℃ 时, O<sub>2</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度及时间 *t* 3 因素中, 时间 *t* 对 *R*<sub>CO<sub>2</sub></sub> 的影响最大, 而 12 ℃ 时, CO<sub>2</sub> 浓度对 *R*<sub>CO<sub>2</sub></sub> 的影响最大; 12 ℃ 时, 随着体积比的增大, CO<sub>2</sub> 浓度、时间 *t* 的影响作用减弱, O<sub>2</sub> 浓度作用增强。

**关键词:** 双孢蘑菇; 呼吸速率; 呼吸商; O<sub>2</sub> 浓度; CO<sub>2</sub> 浓度; 处理时间; 温度; 体积比

中图分类号: S379

文献标识码: B

文章编号: 1002-6819(2005)07-0153-05

雷 桥, 周颖越, 徐文达 环境因素对自然气调下双孢蘑菇呼吸速率影响的初步研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 153-157.

Lei Qiao, Zhou Yingyue, Xu Wenda Preliminary study on effects of environmental factors on respiratory rates of *Agaricus bisporus* in modified atmosphere packaging[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(7): 153-157. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

双孢蘑菇 (*Agaricus bisporus*, 以下简称蘑菇) 呼吸速率较高, 采后极易出现开伞和菇色褐变等问题<sup>[1]</sup>, 从而降低品质, 因此需要采取一定的保鲜措施, 气调包装结合低温贮藏的方法效果较好, 它是通过降低蘑菇呼吸速率和新陈代谢活动, 延缓成熟而达到保鲜的目的<sup>[2-5]</sup>。然而, 在气调环境中, 由于蘑菇呼吸作用和包装材料的渗透作用, 包装内 O<sub>2</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度是动态变化的, 目前, 对于在 O<sub>2</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度动态变化条件下蘑菇的呼吸速率、呼吸商变化的研究较少, 其主要影响因素分析方面也较欠缺。为此, 本文着重研究了温度、容器内顶隙气体体积与蘑菇体积比、O<sub>2</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度及处理时间 *t* 对蘑菇呼吸速率的影响, 并采用方差分析和重回归分析法, 确定了蘑菇呼吸速率的显著性影响因素。

## 1 材料与方 法

### 1.1 呼吸速率、呼吸商的测定

呼吸速率、呼吸商的测定采用密闭实验法<sup>[4,6]</sup>。新鲜的双孢蘑菇(来源于青浦横江村食用菌基地)采摘后, 选菌盖直径为 2.0~3.0 cm、表面洁白无损伤者分成 A、B、C、D、E 5 组, 各组蘑菇的质量和体积分别为: A 组: 171.2 g(体积为 400 mL); B 组: 214.7 g(体积为 450 mL); C 组: 271.8 g(体积为 620 mL); D 组: 248.9 g(体积为 520 mL); E 组: 303.2 g(体积为 688.5 mL)。按下述方法进行实验: 将各组蘑菇置于容量为 1000 mL 的广口棕色矮瓶中, 用橡皮塞和真空封泥密封(橡皮瓶塞

上开一直径 φ8 mm 的小孔, 用 φ15 mm × 5 mm 的硅橡胶垫密封), 采用水浴法或冷藏箱, 分别使其保持 25、18、12、12.4 ℃ 的恒温。每隔 0.5~1.0 h, 用最大注射量为 1 mL 的注射器通过硅橡胶垫从容器内抽取 0.5 mL 的气体样品, 采用 103 层析仪(上海分析仪器厂生产)来分析气体中 O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 的浓度 [O<sub>2</sub>]<sub>k</sub>、[CO<sub>2</sub>]<sub>i</sub>, 重复取样两次, 取其平均值。分析所用的色谱柱为: Porapak-Q 柱(80~100 目)+13X 柱(60~80 目); 载气: 99.995% He; 流量: 15 mL/min; 柱温: 40 ℃; 检测器: 热导池电源-温度控制器 TCD, 温度: 80 ℃; 进样温度: 40 ℃; 定量方法: 外标法。同时, 采用 PTM-4 微压测试仪(复旦大学传感器研究室生产)和 DR210 型温度巡回检测仪(铜—康铜热电偶, 上海大华仪表厂生产)监测容器内气体的总压 *P* 及温度 *T*。

因蘑菇质量、容器内顶隙气体体积及温度不同, 监测气体中 O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub> 浓度、温度 *T* 及总压 *P* 的变化过程可持续 14~50 h, 直至瓶内 O<sub>2</sub> 浓度几乎不变为止。以上每组实验重复 3 次, 对获取的数据采用 STATISTICA 软件处理<sup>[7]</sup>并拟合气体浓度随时间变化的曲线方程 [O<sub>2</sub>]<sub>i</sub> = *f*<sub>1</sub>(*t*), [CO<sub>2</sub>]<sub>i</sub> = *f*<sub>2</sub>(*t*), 再由此方程按下式进一步计算呼吸速率 *R*<sub>O<sub>2</sub></sub> 或 *R*<sub>CO<sub>2</sub></sub>、呼吸商 *R**Q*<sup>[6]</sup>:

$$R_{O_2} = \frac{d[O_2]_i}{dt} \cdot \frac{M_{O_2}PV}{100WRT}; R_{CO_2} = \frac{d[CO_2]_i}{dt} \cdot \frac{M_{CO_2}PV}{WRT} \quad (1)$$

$$RQ = R_{CO_2}/R_{O_2} \quad (2)$$

式中 [O<sub>2</sub>]<sub>k</sub>、[CO<sub>2</sub>]<sub>i</sub>——容器内 O<sub>2</sub> 浓度、CO<sub>2</sub> 浓度, % (体积百分比); *t*——处理时间, h; *R*<sub>O<sub>2</sub></sub>、*R*<sub>CO<sub>2</sub></sub>——呼吸作用的耗氧率及 CO<sub>2</sub> 的生成率, mg · (kg · h)<sup>-1</sup>; *M*<sub>O<sub>2</sub></sub>——氧气分子量, 0.032 kg/mol; *M*<sub>CO<sub>2</sub></sub>——二氧化碳分子量, 0.044 kg/mol; *P*——容器内气体的总压,

收稿日期: 2004-07-21 修订日期: 2004-12-30

作者简介: 雷 桥(1970-), 女, 重庆人, 讲师, 主要从事食品工程和食品包装的研究。上海 上海水产大学食品学院, 200090

Pa;  $R$  —— 气体常数,  $8\ 314\ \text{J} \cdot (\text{mol} \cdot \text{K})^{-1}$ ;  $T$  —— 顶隙气体温度, K;  $V$  —— 容器内顶隙气体体积, mL;  $W$  —— 蘑菇质量, kg;  $RQ$  —— 呼吸商。

## 1.2 各影响因素的统计分析

各影响因素采用方差分析法或重回归法<sup>[7-10]</sup>进行分析。

1) 将 A、B、C、E 4 组实验 (温度不同: 25、18、12、4) 获得的数据  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 、 $RQ$  采用方差分析法 (MANOVA), 来分析温度对呼吸速率  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  及呼吸商  $RQ$  的影响效果。

2) 将 C、D 两组实验 (顶隙气体体积与蘑菇体积之比不同, 分别为: 0.61、0.92) 获得的数据  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 、 $RQ$  采用方差分析法, 来分析体积比对呼吸速率  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  及呼吸商  $RQ$  的影响效果。

3) 将 A、B、C、D、E 各组组内的数据  $t$ 、 $[O_2]_i$ 、 $[CO_2]_i$  和  $R_{CO_2}$ , 采用多重回归分析 (Multiple Regression) 中的固定非线性回归 (Fixed Non-linear Regression) 分析法, 寻找呼吸速率  $R_{CO_2}$  的非线性回归模型 (见式 (3)), 研究在温度、体积比一定的条件下,  $O_2$  浓度、 $CO_2$  浓度及处理时间  $t$  3 因素对蘑菇呼吸速率  $R_{CO_2}$  影响的显著性, 并在三者中确定主要影响因素。在重回归分析中, 设呼吸速率  $R_{CO_2}$  与  $O_2$ 、 $CO_2$  的浓度及处理时间  $t$  的二次关系式为<sup>[8]</sup>:

$$R_{CO_2} = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 [O_2]_i + a_4 [O_2]_i^2 + a_5 [CO_2]_i + a_6 [CO_2]_i^2 \quad (3)$$

式中  $a_0$  —— 常数;  $a_1 \sim a_6$  —— 偏回归系数。

## 2 结果与分析

### 2.1 呼吸速率 $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 及呼吸商 $RQ$ 随时间 $t$ 的动态变化

A、B、C、D、E 各组实验中, 由于呼吸作用和容器的密闭性, 容器内  $CO_2$  浓度逐渐上升,  $O_2$  浓度逐渐下降, 经过一定的时间后 (称为平衡时间, 如: 25 : 7 h; 18 : 8~9 h; 12 : 6~8 h; 4 : 30 h),  $O_2$ 、 $CO_2$  的浓度趋于稳定, 变化极小, 说明呼吸作用得到了抑制, 可将此时的  $O_2$  浓度视为该温度下蘑菇有氧呼吸所需的最低  $O_2$  浓度, 因此, 要通过降低蘑菇的呼吸速率而保鲜, 并非环境中  $O_2$  浓度越低越好, 而是要在保证呼吸的前提下, 尽可能地降低  $O_2$  浓度; 若  $O_2$  浓度低于该温度下的稳定浓度, 可能会导致厌氧呼吸 (发酵)。实验结果还显示, 随着温度的下降, 容器内  $O_2$ 、 $CO_2$  达到的稳定浓度值相应降低, 如: 25 时,  $O_2$ 、 $CO_2$  的稳定浓度分别为 4.5%、21.4%; 18 时, 为 4.0%、14.0%; 4 时, 为 2.1%、12.2%, 说明蘑菇有氧呼吸所需的最低  $O_2$  浓度随温度而降低, 由此可知, 对于蘑菇的气调包装,  $O_2$  浓度的选择要随温度而变, 若环境温度较低 (4), 则气调包装中  $O_2$  浓度可设置得低些 (如 2.2%~3.0% > 2.1%), 当温度提高时 (25),  $O_2$  浓度的设置应随之提高 (5.0%~7.0% > 4.5%), 否则易产生厌氧呼吸。

由式 (1)、(2) 求得的蘑菇呼吸参数  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 、 $RQ$  随  $t$  的动态变化曲线见图 1, 进一步可得出  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  与  $O_2$  浓度、 $CO_2$  浓度的关系曲线 (见图 2), 这些参数的确定为下一步的因素分析提供了数据。

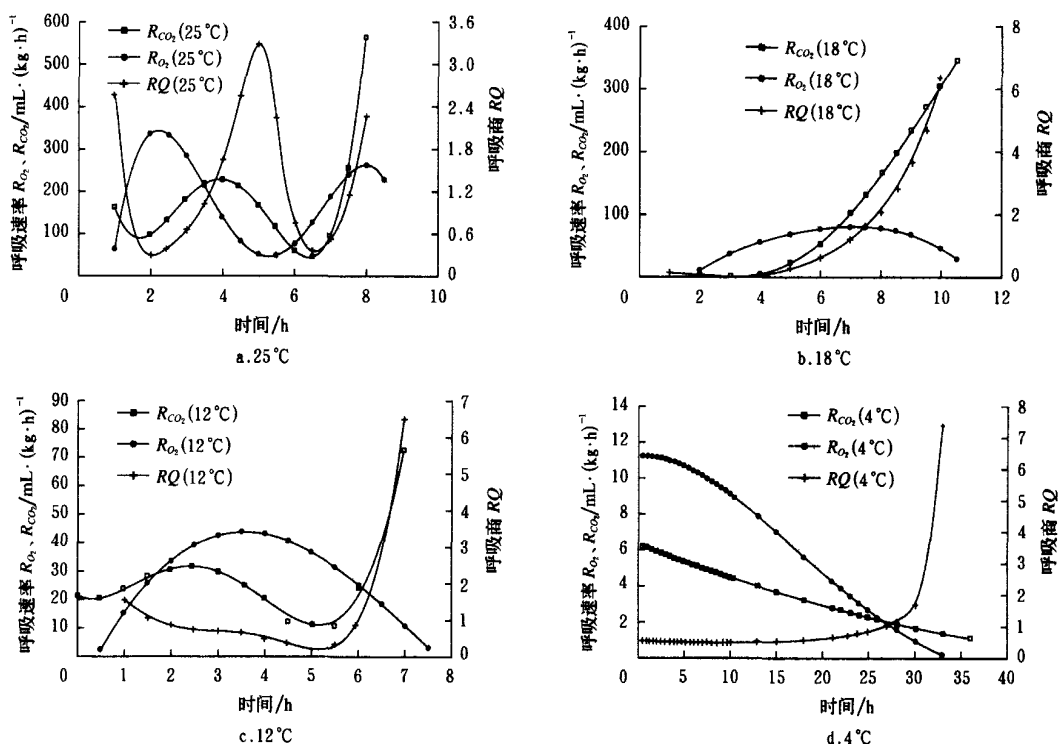


图 1 不同温度下, 蘑菇呼吸速率、呼吸商随时间  $t$  的变化曲线

Fig 1 Changes of respiration rate and respiratory quotient of *A garicus bisporus* with time at different temperatures

由图 1 可知, 随着温度的升高, 蘑菇呼吸速率  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  值总体呈上升趋势, 并且蘑菇是呼吸跃变型真菌, 呼吸耗氧率  $R_{O_2}$  在 25、18、12 时, 有呼吸峰出现,  $CO_2$  生成率  $R_{CO_2}$  在 25、12 时, 出现呼吸峰, 25 时,  $R_{O_2}$  的呼吸峰出现最早 ( $t$  最小), 呼吸跃变的频率最快; 但在 4 低温下, 在观测期内未见  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  呼吸峰, 可能延迟出现。实验中, 在有氧呼吸范围内, 达到平衡时间之前, 蘑菇呼吸商  $RQ$  随呼吸速率的变化 (或  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度的变化) 而波动: 4 时, 0.49~1.75 ( $t=30$  h); 12 时, 0.30~1.58 ( $t=6$  h); 18 时, 0.10~2.64 ( $t=8.5$  h); 25 时, 0.30~3.28 ( $t=7$  h)。实验末期, 随着时间  $t$  的延长, 呼吸商  $RQ$  急剧上升 (见图 1), 这是由于  $O_2$  浓度降低到一定程度后 (稳定浓度或临界值, 如前所述), 导致了厌氧呼吸。

图 2 为 25、18、12、4 时,  $O_2$  浓度、 $CO_2$  浓度动态变化条件下, 呼吸速率  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  的变化曲线。该图反映了在实验条件下,  $O_2$  浓度、 $CO_2$  浓度与蘑菇呼吸速率间的对应关系, 如: 当气调包装内  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度分别为 5%、10% 时, 则在该气体条件下, 由图 2 知: 蘑菇的呼吸速率  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  分别为  $139.21$ 、 $228.29$   $mL \cdot (kg \cdot h)^{-1}$  (25);  $5.64$ 、 $3.23$   $mL \cdot (kg \cdot h)^{-1}$  (4); 反之, 也可根据图中蘑菇呼吸速率的最小值, 确定对应的  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度, 以此降低蘑菇呼吸速率以保鲜, 例: 12 时,  $R_{CO_2}$  的最小值约为  $11.05$   $mL \cdot (kg \cdot h)^{-1}$ , 对应的  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度为 7.76%、9.96%, 若气调包装中采用该气体配比, 则能最大程度降低蘑菇的呼吸速率, 延长货架期。

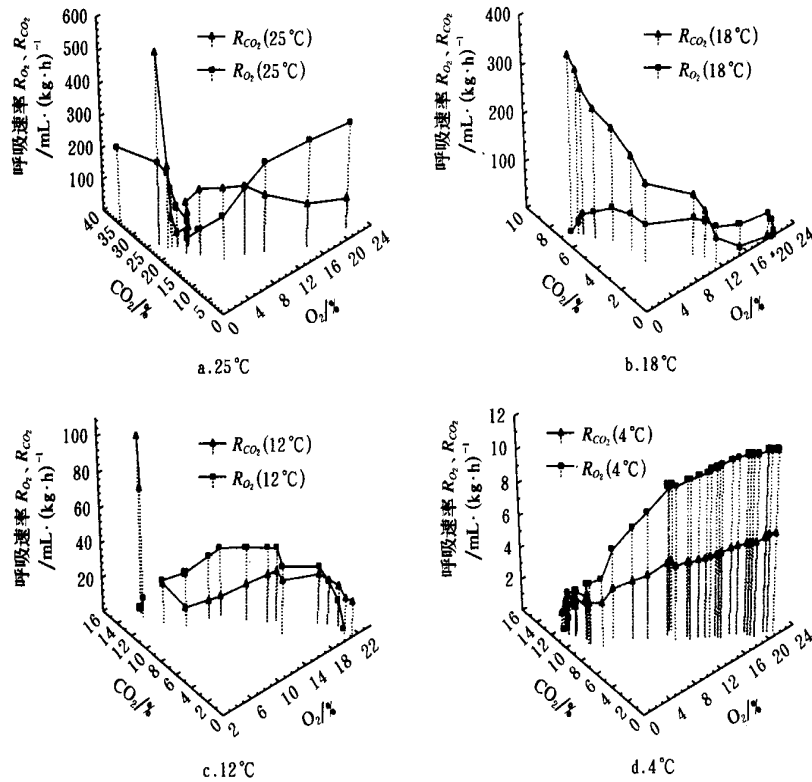


图 2 不同温度下, 蘑菇呼吸速率与气体浓度的关系

Fig 2 Relationships between respiration rate of *A. garicus bisporus* and gas concentration at different temperatures

### 2.2 温度对蘑菇呼吸速率的影响

将 A、B、C、E 4 组 (25、18、12、4) 的  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 、 $RQ$  数据 (如图 1 所示) 进行 MANOVA 分析, 综合  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 、 $RQ$  3 指标来看, 各组之间的统计量  $F$  值 = 13.68756,  $p = 0.000000 < 0.01$  (见表 1), 说明: 不同温度下, 蘑菇的  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 、 $RQ$  值差异很大, 即: 温度对蘑菇呼吸特性有十分显著的影响。温度越高, 呼吸速率越大 (见图 1), 其中  $R_{O_2}$  的变化最为显著 (统计量  $F$  值 = 43.30861,  $p = 0.000000 < 0.01$  (见表 2)), 而  $RQ$  的变化较小但也显著 ( $p = 0.023096 < 0.05$ ), 这是由于  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  反映的是呼吸中量的变化,  $RQ$  反映了呼吸中

质的变化<sup>[11]</sup>,  $RQ$  受到的影响小, 表明温度对蘑菇的呼吸状态 (有氧呼吸、厌氧呼吸) 及呼吸跃变的产生影响较小, 尽管该影响作用稍弱, 但实验中仍显示出了温度对蘑菇呼吸跃变的作用: 温度降低到一定程度, 呼吸峰延迟出现 (如 4)。

表 1 方差分析全部效应

Table 1 All effect in multivariate analysis of variance					
组别	威尔克斯 $\lambda$ 值	劳氏 $F$ 值	分子自由度	分母自由度	$p$ -水平
C、D 两组 (体积比不同)	0.631212	4.284536	3	22	0.015890
A、B、C、E 组 (温度不同)	0.254465	13.68756	4	163	0.000000

表 2 方差分析主效应

Table 2 Principal effect in multivariate analysis of variance

组别	因变量	均方效应	均方误差	F 值	p-水平
C、D 两组	$R_{CO_2}$	1822.527	288.9921	6.306494	0.019167
	$R_{O_2}$	469.440	183.6647	2.555961	0.122963
	RQ	0.057	1.9911	0.028863	0.866520
A、B、C、E 组	$R_{CO_2}$	138260.3	6017.696	22.97562	0.000000
	$R_{O_2}$	93960.3	2169.552	43.30861	0.000000
	RQ	11.6	3.427	3.37779	0.023096

2.3 顶隙气体体积与蘑菇体积之比对呼吸速率的影响

将 C、D 两组(顶隙气体体积与蘑菇体积之比各为: 0.61、0.92)获得的  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 、RQ 数据(见图 3)进行 MANOVA 分析, 综合该 3 指标来看, 统计量  $F$  值 = 4.28,  $p = 0.015890 < 0.05$ (见表 1), 表明 C、D 两组间, 有显著性差异, 即: 包装容器内顶隙气体体积与蘑菇体积之比对蘑菇的呼吸特性有显著影响, 但其影响作用比温度小。根据主效应分析结果, 体积比增大,  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$ 、RQ 值均有不同程度的增长, 但对  $R_{CO_2}$  的影响较显著( $R_{CO_2}$  的统计量  $F$  值 = 6.31,  $p = 0.019167 < 0.05$ (见表 2)), 而对  $R_{O_2}$ 、RQ 值的影响均不显著( $p$  分别为 0.122963 和 0.866520, 大于 0.05)。由图 3 可知, 体积比值较大的 D 组, 其中  $R_{O_2}$ 、 $R_{CO_2}$  首峰出现的时间均为 4.5 h 左右, 呼吸跃变的启动迟于体积比值较小的 C 组, 后者出现峰值的时间分别约为 3.5、2.5 h。

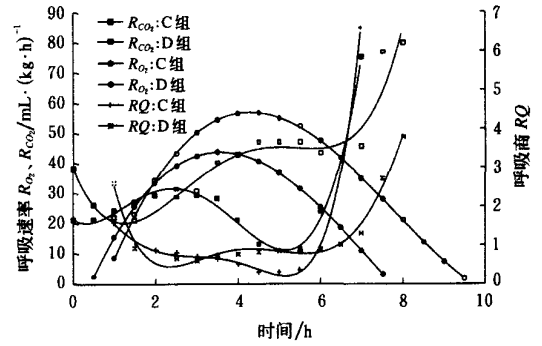


图 3 体积比不同时, 蘑菇呼吸速率、呼吸商随时间  $t$  的变化曲线(12)

Fig. 3 Changes of respiration rate and respiratory quotient of *A. garicus bisporus* with time under the condition of different volume ratios at 12

2.4  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度及处理时间  $t$  对蘑菇呼吸速率  $R_{CO_2}$  的影响

将 A、B、C、D、E 5 组的实验数据  $t$ 、 $[O_2]_i$ 、 $[CO_2]_i$  和  $R_{CO_2}$  应用公式(3)进行重回归分析(多因素、二次方), 可得出式中各系数, 见表 3。各组的复相关系数  $R$  均高于 0.81, 说明呼吸速率的预测精度较高。

在重回归分析中, 标准化偏回归系数 BETA 的绝对值及其所占百分比越大的因素, 为主要影响因素<sup>[8,9]</sup>。由表 4 知: 2.5 时(A 组),  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度及时间  $t$  3 因

表 3 重回归方程式(3)中的常数  $a_0$ 、偏回归系数  $a_1 \sim a_6$  及复相关系数

Table 3 Constants, partial regression coefficients of multiple regression equation (3) and multiple correlation coefficients

组别	$a_0$	$t$		$[O_2]_i$		$[CO_2]_i$		$R$
		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	
A	3013.60	-1068.52	83.90	-33.06	-1.25	23.26	0.28	0.89253755
B	-12.0080	-15.8068	3.9481	0.5208	0.0330	19.1051	-1.0578	0.99972537
C	-172.836	90.891	-4.172	17.901	-0.410	-57.414	2.784	0.81651841
D	-37.6177	42.1965	-3.0879	15.9139	-0.5904	-42.0594	2.7190	0.92974280
E	6.398065	-0.208164	0.001648	-0.006914	0.000175	0.015736	-0.000887	0.99999697

表 4 回归分析中标准化偏回归系数 BETA、p-水平及百分比

Table 4 Standard partial regression coefficients, p-level and proportions of each factor in multiple regression

影响因素	标准化偏回归系数 BETA, p-水平					各因素的标准化偏回归系数 BETA 值(绝对值)所占的百分比/%									
	A	B	C	D	E	A	合计	B	合计	C	合计	D	合计	E	合计
处理时间 $t$	BETA	-17.1757	0.375157	12.5584	6.4821	-1.37248	48.12	17.39	23.96	16.00	74.34				
	p	0.013616*	0.001982*	0.154574	0.116447	0.000000*									
氧气 $[O_2]_i$	BETA	-1.9518	0.028621	6.4807	5.4283	-0.02961	5.47	1.33	12.36	13.40	1.60				
	p	0.774703	0.875391	0.183478	0.169531	0.001888*									
二氧化碳 $[CO_2]_i$	BETA	-2.0324	0.041681	-4.0811	-5.7407	0.01611	5.69	11.16	1.93	3.26	20.15	27.57	0.87	2.47	
	p	0.011406*	0.769224	0.319728	0.089582	0.020126*									
处理时间 $t^2$	BETA	1.3878	0.395384	-15.4244	-10.2639	0.03758	3.89	18.32	29.42	25.34	2.04				
	p	0.313932	0.001894*	0.133159	0.060973	0.005390									
处理时间 $t^2$	BETA	0.4166	-0.143542	9.8143	8.6682	-0.02685	1.17	5.06	6.65	24.97	48.14	46.74	3.49		
	p	0.907501	0.049958*	0.264202	0.041991*	0.003912*									

注: \* 表示显著( $p < 0.05$ )。

素中,时间  $t$  和  $O_2$  浓度对呼吸速率  $R_{CO_2}$  的影响显著 ( $p < 0.05$ ), 其中  $t$  的影响作用最大 (83.78%),  $CO_2$  浓度对  $R_{CO_2}$  的影响不显著 ( $p > 0.05$ ); 18 时 (B 组), 时间  $t$  和  $CO_2$  浓度的影响显著,  $t$  的影响作用最大 (71.77%),  $CO_2$  浓度次之 (24.97%); 12 时 (C、D 组),  $CO_2$  浓度对  $R_{CO_2}$  的影响最大, 时间  $t$  和  $O_2$  浓度的作用相当; 4 时 (C 组),  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度及时间  $t$  对  $R_{CO_2}$  的影响均十分显著, 但时间  $t$  起主导作用 (94.03%)。12 时, 随着顶隙气体体积与蘑菇体积比的增大 (C、D 组),  $CO_2$  浓度、时间  $t$  的作用减弱,  $O_2$  浓度作用增强; 低温时 (4 时), 相比之下, 蘑菇对  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度的敏感性大大削弱, 仅 2.4%、3.49%, 处理时间  $t$  的作用十分突出, 这可能是由于蘑菇本身易于生长在原木及朽木环境中, 其  $CO_2$  浓度为 10%~20%, 对  $CO_2$  有较高的耐受性, 并且随着时间的变化, 蘑菇自身呼吸基质被消耗分解为  $CO_2$  和  $H_2O$ ,  $O_2$  活性下降, 此外, 环境气体浓度随时间变化了的缘故<sup>[8]</sup>。

### 3 结论与讨论

1) 温度对双孢蘑菇呼吸耗氧率  $R_{O_2}$ 、二氧化碳生成率  $R_{CO_2}$ 、呼吸商  $RQ$  的影响均十分显著, 而容器内顶隙气体体积与蘑菇体积比对  $R_{CO_2}$  的影响很显著, 相比之下, 温度对双孢蘑菇呼吸的影响比体积比的影响更为显著 (统计量  $F$  值更高,  $p$  值更低)。

2) 25、18 和 4 时,  $O_2$ 、 $CO_2$  浓度及时间  $t$  3 因素中, 时间  $t$  对  $R_{CO_2}$  的影响最大 (标准化偏回归系数 BETA 绝对值所占的百分比最大), 而 12 时,  $CO_2$  浓度对  $R_{CO_2}$  的影响最大; 12 时, 随着体积比的增大,  $CO_2$  浓度、时间  $t$  的影响作用减弱,  $O_2$  浓度作用增强。

对于温度、容器内顶隙气体体积与蘑菇体积比、 $O_2$  浓度、 $CO_2$  浓度、时间  $t$  等因素间的交互影响以及其它

参数的影响作用等问题, 有待于今后作进一步深入的研究。

#### [参 考 文 献]

- [1] 郑永华, 席屿芳. 蘑菇护色与气调贮藏的初步研究[J]. 浙江农业大学学报, 1994, 20(2): 165-168
- [2] Barron C, Varoquaux P, Guilbert S, et al. Modified atmosphere packaging of cultivated mushroom (*A garicus bisporus* L.) with hydrophilic films[J]. Food Science, 2002, 67(1): 251-255
- [3] Roy S, Anantheswaran R C, Beelman R B. Modified atmosphere and modified humidity packaging of fresh mushrooms[J]. Food Science, 1996, 61(2): 391-397
- [4] Rooney M L. Active food packaging[M]. London: Aspen Publishers, 1995: 55-73
- [5] 徐文达. 新鲜果蔬气调保鲜包装[J]. 食品工业, 1999, (3): 35-38
- [6] Cameron C, Boylan-Pett Walter, Lee Julian. Design of modified atmosphere packaging systems: modeling oxygen concentrations within sealed packages of tomato fruits[J]. Food Science, 1989, 54(6): 1413-1415
- [7] 洪楠, 侯军, 李志辉. STATISTICA for Windows 统计与图表分析教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 北方交通大学出版社, 2002: 210-216
- [8] 胡文忠, 秋元浩一, 内野敏刚, 等. シイタケの呼吸速度におよぼす酸素濃度, 二酸化炭素濃度および経過時間の影響[J]. 农业机械学会志, 2001, 63(6): 79-84
- [9] 安永丹理子, 滨中大介, 黑木信一郎, 等. キュウリ果実の呼吸に及ぼすガス濃度変化の影響[J]. 农业机械学会志, 2001, 63(5): 39-44
- [10] 范福仁. 生物统计学[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1980: 333-343
- [11] 李志澄, 刘斌. 蔬菜现代贮藏技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985: 127-131

## Preliminary study on effects of environmental factors on respiratory rates of *A garicus bisporus* in modified atmosphere packaging

Lei Qiao, Zhou Yingyue, Xu Wenda

(College of Food Science, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

**Abstract** The effects of temperature, the ratio of free volume in package to the volume of *A garicus bisporus*,  $O_2$ ,  $CO_2$  concentration and the treatment time on the respiration rates of *A garicus bisporus* were studied. The significant factors that affect the respiration rates of *A garicus bisporus* were also investigated by multivariate analysis of variance and multiple regression analysis. The results demonstrate that the effects of temperature on the respiration rate  $R_{O_2}$ ,  $R_{CO_2}$  and respiratory quotient of *A garicus bisporus* are much more significant than those of volume ratio; the respiration rate  $R_{CO_2}$  of *A garicus bisporus* is markedly affected by the treatment time among three factors of  $O_2$ ,  $CO_2$  concentration and the treatment time at 25, 18, 4, but  $CO_2$  concentration becomes the main factor that affected  $R_{CO_2}$  at 12. The effect of  $O_2$  concentration on the respiration rate became greater while that of the  $CO_2$  concentration and treatment time became less with the increase of volume ratio at 12.

**Key words** *A garicus bisporus*; respiration rate; respiratory quotient;  $O_2$  concentration;  $CO_2$  concentration; treatment time; temperature; volume ratio