

## 실내버섯재배장에서 탄산가스의 시간적변화동태모형의 보조변수결정방법

최성일, 강건호

버섯재배를 과학적으로 진행하는것은 버섯생산을 늘이기 위한 중요한 요구이다.

선행연구[1-4]에서는 버섯재배장의 온도, 습도, 통풍조건들을 버섯품종들의 특성에 맞게 합리적으로 결정하기 위한 연구가 진행되었다.

론문에서는 실내버섯재배장에서 탄산가스의 시간적변화동태모형을 고찰할 때 제기되는 보조변수결정방법에 대하여 서술하였다.

### 1. 문제 설정

버섯은 일반적으로 호기성균실체로서 산소를 흡수하고 탄산가스를 내보내는 과정을 통하여 물질대사를 진행하면서 성장발육한다. 그러므로 버섯을 실내에서 재배할 때에는 버섯의 물질대사과정에 많은 량의 탄산가스가 발생하며 일정한 한계를 넘으면 버섯의 생육에 지장을 줄뿐아니라 지어 죽기까지 한다. 이로부터 실내버섯재배장에서 버섯생육에 필요한 산소요구량을 보장하려면 내부에서의 탄산가스농도변화동태를 잘 알아야 한다.

특히 버섯의 특성에 맞게 균실체를 배양하고 자실체단계에서 재배관리를 잘하여 그 생산성을 높이려면 실내버섯재배장의 온도, 습도를 잘 조절하는것과 함께 산소와 탄산가스의 농도를 생육시기의 특성에 맞게 과학적으로 보장하여야 한다.

보통 실내버섯재배장에서 버섯생육에 필요한 산소는 환기를 합리적으로 조종하는 방법으로 해결하여야 한다.

환기를 합리적으로 조종하여 산소를 보장하는 문제 즉 실내버섯재배장에 필요한 공기류입량을 계산하는 문제를 해결하려면 이 재배장내부의 체적이 주어진 조건에서 버섯기질개수에 따르는 탄산가스농도의 시간적인 변화동태를 잘 알아야 한다.

이러한 실천적요구로부터 출발하여 버섯을 실내에서 재배할 때 생산성을 제고하는데서 중요한 인자의 하나로 되는 탄산가스의 변화동태를 고찰하기 위한 수학적모형화방법들이 연구되었다.[1]

그런데 실내버섯재배장에서 탄산가스농도의 시간적변화동태를 고찰하기 위한 수학적모형을 리용할 때 제기되는 중요한 문제는 모형에 들어있는 보조변수를 정확하게 결정하는것이다.

일반적으로 실내버섯재배장의 체적이 주어진 조건에서 버섯기질개수에 따르는 탄산가스농도의 시간적변화과정을 고찰할 때 제기되는 보조변수결정문제는 해석적인 방법과 경험적인 방법, 감시측정값에 의한 결정방법 등으로 해결할수 있다.

론문에서는 실내버섯재배장에서 감시측정한 탄산가스농도변화특성자료에 기초하여 보조변수를 결정하는 방법론적문제에 대하여 서술하였다.

## 2. 모형화방법

일반적으로 실내버섯재배장의 체적이 주어졌을 때 재배장안에 있는 버섯기질개수에 따르는 탄산가스농도의 시간적인 변화과정은 다음과 같이 수학적으로 모형화할수 있다.

$$\begin{aligned}\frac{dC}{dt} &= \alpha - \beta C(t) \\ C(0) &= C_0\end{aligned}\quad (1)$$

여기서  $\alpha = \frac{nm+br}{V}$ ,  $\beta = \frac{\lambda b}{V}$  이다. 그리고  $V$ 는 버섯재배장내부의 체적( $m^3$ )이고  $n$ 은 버섯기질개수,  $m$ 은 버섯기질이 내보내는 탄산가스량( $m^3/min$ ),  $r$ 는 류입공기속의 탄산가스포함량(%),  $b$ 는 류입공기량( $m^3/min$ ),  $C_0$ 은 버섯재배장안의 초기탄산가스농도(%),  $\lambda$ 는 보조변수로서 버섯재배장내부의 특성에 관계된다.

만일 보조변수  $\lambda$ 가 상수라고 가정할 때 식 (1)의 해석적인 풀이를 구하면

$$C(t) = \lambda \exp(-\beta t) + \frac{\alpha}{\beta} [\exp(-\beta t) - 1] \quad (2)$$

로 표시된다. 이로부터 식 (2)를 리용하여 시간에 따르는 실내버섯재배장안의 탄산가스의 변화동태를 고찰하려면 먼저 식 (2)에 포함되어있는 보조변수  $\lambda$ 를 결정하여야 한다.

론문에서는 실내버섯재배장에서 탄산가스의 농도감시측정값자료에 기초하여 식 (2)에 들어있는 보조변수를 결정하는 방법을 연구하였다.

실내버섯재배장에서 탄산가스의 농도감시측정값에 기초하여 식 (2)에 들어있는 보조변수를 결정하는 방법의 기본원리는 다음과 같다.

먼저 시간에 따르는 측정값  $Y_i$ 를 얻는다.

다음 측정값과 모의값의 2제곱편차  $\varepsilon_i^2 = [Y_i - C_i(t)]^2$ 의 합  $\sum \varepsilon_i^2$ 이 최소로 되도록 보조변수를 결정한다.

이제

$$\alpha = \frac{br+nm}{V}, \quad \beta = \lambda \frac{b}{V}$$

라고 하고

$$H = \frac{2\alpha Y_0}{\beta} - \frac{2\alpha^2}{\beta^2}, \quad R = Y_0^2 + \frac{\alpha^2}{\beta^2} - \frac{2\alpha Y_0}{\beta} \quad (3)$$

로 놓으면

$$\varepsilon_i^2 = Y_i^2 + \frac{\alpha^2}{\beta^2} - \frac{2\alpha Y_i}{\beta} + \exp(-2\beta t_i)(Y_0^2 - H) + \exp(-\beta t_i)(H - 2Y_0 Y_n) \quad (4)$$

이고 2제곱편차의 합의 전개식은 식 (5)와 같다.

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n Y_i^2 + \frac{\alpha^2}{\beta^2} - \frac{2\alpha \sum_{i=1}^n Y_i}{\beta} + R \sum_{i=1}^n \exp(-2\beta t_i) + (H - 2Y_0 Y_n) \sum_{i=1}^n \exp(-\beta t_i) \quad (5)$$

식 (5)에서  $U = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2$ 으로 놓으면

$$\frac{\partial U}{\partial \lambda} = A + 2Y_0\beta'B - \frac{2\alpha}{\lambda^2\beta'}C + \frac{2\alpha^2}{\lambda^3\beta'^2}D - 2Y_0^2\beta'E - \frac{2\alpha^2}{\lambda^3\beta'^2}F + \frac{2\alpha Y_0}{\lambda^2\beta'}G \quad (6)$$

이다. 여기서

$$\begin{aligned} A &= \frac{2\alpha}{\lambda^2\beta'} \sum_{i=1}^n Y_i - \frac{2n\alpha^2}{\lambda^3\beta'^2}, \quad B = \sum_{i=1}^n Y_i t_i \exp(-\beta' \lambda t_i) \\ C &= \sum_{i=1}^n Y_i \exp(-\beta' \lambda t_i) (\beta' \lambda t_i + 1) + Y_0 \sum_{i=1}^n \exp(-\beta' \lambda t_i) (\beta' \lambda t_i + 1) \\ D &= \sum_{i=1}^n Y_i \exp(-\beta' \lambda t_i) (\beta' \lambda t_i + 2), \quad E = \sum_{i=1}^n t_i \exp(-2\beta' \lambda t_i) \\ F &= \sum_{i=1}^n Y_i \exp(-2\beta' \lambda t_i) (\beta' \lambda t_i + 1), \quad G = \sum_{i=1}^n Y_i \exp(-2\beta' \lambda t_i) (2\beta' \lambda t_i + 1) \end{aligned}$$

이다.

그런데

$$\frac{\partial U}{\partial \lambda} = 0 \quad (7)$$

이어야 하므로

$$A + 2Y_0\beta'B - \frac{2\alpha}{\lambda^2\beta'}C + \frac{2\alpha^2}{\lambda^3\beta'^2}D - 2Y_0^2\beta'E - \frac{2\alpha^2}{\lambda^3\beta'^2}F + \frac{2\alpha Y_0}{\lambda^2\beta'}G = 0$$

이고 이 식을 리용하여  $\lambda$ 를 결정하기 위한 반복도식을 만들면

$$\lambda_{k+1} = \sqrt[3]{\frac{-\lambda^3 A_k + \frac{2\alpha_k \lambda_k}{\beta'_k} C_k - \frac{2\alpha_k^2}{\beta_k'^2} D_k + \frac{2\alpha_k^2}{\beta_k'^2} F_k - \frac{2\alpha_k Y_0 \lambda_k}{\beta'_k} G_k}{2Y_0 \beta'_k B_k - 2Y_0^2 \beta'_k E_k}} \quad (8)$$

로 된다.

이때 식 (8)에 대한 계산은 다음의 조건을 만족할 때까지 진행한다.

$$|\lambda_{k+1} - \lambda_k| \leq \varepsilon_1 \quad (9)$$

따라서 실내버섯재배장에서 시간에 따르는 탄산가스농도측정값들이 주어졌을 때 식 (8)을 리용하면 식 (2)에 들어있는 보조변수  $\lambda$ 를 결정할수 있다.

식 (2)와 (8)을 리용하면 실내버섯재배장의 체적이 주어졌을 때 주어진 버섯기질개수에 따르는 탄산가스농도의 시간적변화과정을 정량적으로 모의할수 있다.

### 3. 모 형 검 토

론문에서 제기한 보조변수결정방법의 실천적리용가능성을 검증하기 위하여 실내버섯재배장에서 시간에 따르는 탄산가스농도측정값들이 주어지는 경우 보조변수  $\lambda$ 를 결정하는 문제를 실패를 들어 고찰하였다.

우선 보조변수  $\lambda$ 를 미지량으로 포함하는 비선형방정식 (7)의 풀이를 구하기 위한 반복도식 (8)을 리용하여 실내버섯재배장의 몇가지 특성량들을 구체적인 현실조건에 맞게 선정하고 내부에서 탄산가스농도를 일정한 시간간격으로 측정하였다.

복잡성을 피하기 위하여 시험균그루로 우리 나라에서 많이 재배하고있는 느타리버섯을 연구대상으로 선정하였고 ㄷ버섯공장의 실내버섯재배장(체적  $V=25\text{m}^3$ , 버섯기질개수  $n=100$ , 탄산가스배출량  $m=0.000\ 002\ 3\text{m}^3/(\text{min}\cdot\text{개})$ , 초기탄산가스농도  $C_0=0.04\%$ )에서 10min 간격으로 1h동안 측정한 탄산가스농도자료를 리용하였다. 그리고 이때 통풍량은  $b=2.5\text{m}^3/\text{min}$ 으로 하였다.

이와 같은 초기자료들에 기초하여 식 (8)을 리용하여 반복법으로  $\lambda$  값을 계산한 결과  $\lambda = 0.578$  을 얻게 되었으며 결정된  $\lambda$  값을 식 (2)에 대입하여 시간에 따르는 버섯재배장 내부에서 탄산가스농도의 변화과정을 모의하였다.

시간에 따라 관측한 탄산가스농도측정값들과 식 (2)를 리용하여 탄산가스농도의 변화과정을 계산하여 비교하였다.(표)

표. 1h동안 진행한 탄산가스농도의 감시측정자료와 계산값, 상대오차

시간/min	10	20	30	40	50	60
측정농도/ppm	432	475	561	627	673	722
계산값/ppm	467	519	627	696	742	771
상대오차/%	8.1	9.02	11.7	11.0	10.2	6.8

표를 통하여 실내버섯재배장에서 탄산가스농도의 시간적변화동태에 대한 모의값과 감시측정값들은 매우 유사한 경향성을 가진다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

실내버섯재배장에서 탄산가스농도의 시간적변화동태모형에 들어있는 보조변수를 결정하고 그에 기초하여 탄산가스의 시간적변화동태를 모의하면 버섯생육과정을 합리적으로 조종할수 있다.

## 참 고 문 헌

- [1] 신정령; 버섯다수확재배기술문답집, 외국문도서출판사, 12~48, 주체102(2013).
- [2] 리선희; 버섯재배, 공업출판사, 3~80, 주체98(2009).
- [3] A. Randall; A Journal of the Human Environment, 32, 264, 2003.
- [4] 王福林 等; 农业经济与管理, 1, 64, 2015.

주체109(2020)년 4월 5일 원고접수

## A Determination Method of Parameters on a Time Model for Change Movement of CO<sub>2</sub> in Indoor Mushroom Cultivation Ground

Choe Song Il, Kang Kon Ho

In this paper, we described the determination method of parameters, when considering the time model for change movement of CO<sub>2</sub> in indoor mushroom cultivation ground.

Keywords: indoor mushroom cultivation ground, change movement of CO<sub>2</sub>, parameter