

簡便な方法を用いた非等温プロセスに おける速度パラメータの設定

久保田 清・張 戈・羽倉 義雄

広島大学生物生産学部, 東広島市 724

1993年10月15日 受付

要旨 各種食品のクッキング, 殺菌など食品を各種変換, 処理する装置を設計し, 制御化を行っていくためには, 食品のクッキングなど変換, 処理する非等温実験を行って, 得られる実験データからアレニウス式における速度パラメータを設定していくことが必要になることがある。これまでにジャガイモのクッキング速度式の設定を例として, 非線形最小二乗法を用いる方法(久保田ほか, 1981, 1988)と, 簡便な手法を用いる方法(岡崎ほか, 1991, 1992, 張ほか, 1993-B)とを用いる研究を行ってきた。

本研究では, これまでに示してきた簡便な手法について比較検討を行った。本研究で提案した改良したクッキング値を用いる方法は, 簡便な手法の一方法としてクッキング値を用いるこれまでに利用されてきている方法よりも有用であった。岡崎により提案された修正クッキング時間を用いる方法(岡崎ほか, 1992)も有用な方法であった。

キーワード: クッキング, ジャガイモ, 食品, 速度式, 速度パラメータ

緒 言

各種食品のクッキング, 殺菌など食品を各種変換, 処理する装置, プロセスを設計し, 制御化を進めていくためには, 食品のクッキング速度式などを設定していくことが必要となる。食品のクッキングなど変換, 処理を等温実験(KUBOTA *et al.*, 1978)で行っていくことができると, 速度パラメータの設定法が容易であるとか精度の良い速度式の設定が可能になるなどの長所があるが, 実験回数が多くなるなどの欠点がある。速度パラメータを概括的に求めたい場合には, 非等温実験を行って実験回数を少なくしたいことになる。試料が大きくて小さくできない場合には, 非等温実験(久保田ほか, 1981)を行うことになる。また, 食品のマイクロ波加熱によるクッキング(久保田ほか, 1988)では, 変換, 処理が短時間に進行し, デンプンの糊化(KUBOTA *et al.*, 1979)では, 変換, 処理が狭い温度域で進行する。このような場合には, 等温実験が不可能になったり困難になったりする。このような場合に対して, 非等温実験を行って, 速度パラメータを設定する簡便な方法があると有用である。

これまでにジャガイモのクッキング速度式の設定を例として, 非線形最小二乗法を用いる方法(久保田ほか, 1981, 1988)と簡便な手法を用いる方法(岡崎ほか, 1991, 1992, 張ほか, 1993-B)とを用いる研究を行ってきた。非線形最小二乗法を用いる方法(久保田ほか, 1981, 1988)は, プログラムが複雑となり, 簡単な BASIC プログラムの作成を始めたばかりの者には不向きである。また, 速度式を Runge-Kutta 法で解いて標準偏差を求め, 標準偏差の値が最小となる速度パラメータを試行錯誤法で求める方法(張ほか, 1993-B)は, プログラムの作成が簡単で, 精度が良い速度パラメータの値が得られるなどの長所があるが, 計算回数が多いなどの欠点がある。

本研究では, 簡便な方法として, これまでによく利用されてきている Z 値を与えてクッキング値(C 値)を求める方法(LEONARD *et al.*, 1964, OHLSSON *et al.*, 1980, HARADA *et al.*, 1985, PRAVISANI *et al.*, 1986, OKAZAKI *et al.*, 1991)と岡崎により提案された非等温期間の加熱時間を等温加熱時間に修正するいわゆる修正クッキング時間を用いる方法(岡崎ほか, 1992)について比較検討を行った。前者の方法は, Z 値の与え方によって結果が異なる欠点がある。本研究では, Z 値に代わり E 値(活性化エネルギーの値)を与えて

反復計算する改良した C 値を用いる方法を提案した。

変換，処理速度式の設定

食品の変換，処理速度式と伝熱速度式を次式のように表わす。

$$x = (F_0 - F) / (F_0 - F_e) \quad (1)$$

$$dx/d\theta = k \cdot (1-x)^n \quad (2)$$

$$k = A \cdot \exp[-E/(Rg \cdot T)] \quad (3)$$

$$\partial Y/\partial \theta = \alpha(\partial^2 Y/\partial y^2) \quad (4)$$

ただし， $T = t + 273.2$

$$Y = (t - t_e) / (t_0 - t_e)$$

ここで， F は変換，処理時間 θ [min] における測定する質量，含水率，レオロジー特性，菌数などのような物性値などを表わす。 T [°K]， t [°C] は温度である。添字 o, e は，初期および平衡時を示す。 y [cm] は試料内部の位置を示す。 x [-] は，変換，処理率， Y [-] は無次元温度， Rg は気体定数 1.987 cal/(g·mol·°K) である。 k, n, A, E および α は，速度定数，次数，頻度因子，活性化エネルギー，熱拡散率といわれる実験データから求めることになるパラメータである。式(2)は， x と θ との関係が単調なベシ乗型曲線の場合を例として示しているが，S字型曲線となる場合は，式(2)を替えて同様に扱うことができる。また，式(4)は，無限平板を例として示しているが，無限円柱，球となる場合は，式(4)を替えて同様に扱うことができる。試料の形状が複雑になる場合には，式(4)を設定しないで，温度の経時変化を測定することになる。

実験データの設定

速度パラメータの設定方法が妥当であるかなどを検討をするためには，速度パラメータを与えて計算により得られる実験データを設定していくのが良いと考えられる。ジャガイモのクッキング実験で得られた速度パラメータ $n=1$ ， $\log A=8.6914$ (A の単位 [min⁻¹])， $E \times 10^{-4}=1.5$ cal/g·mol (張ほか，1993-A) を用

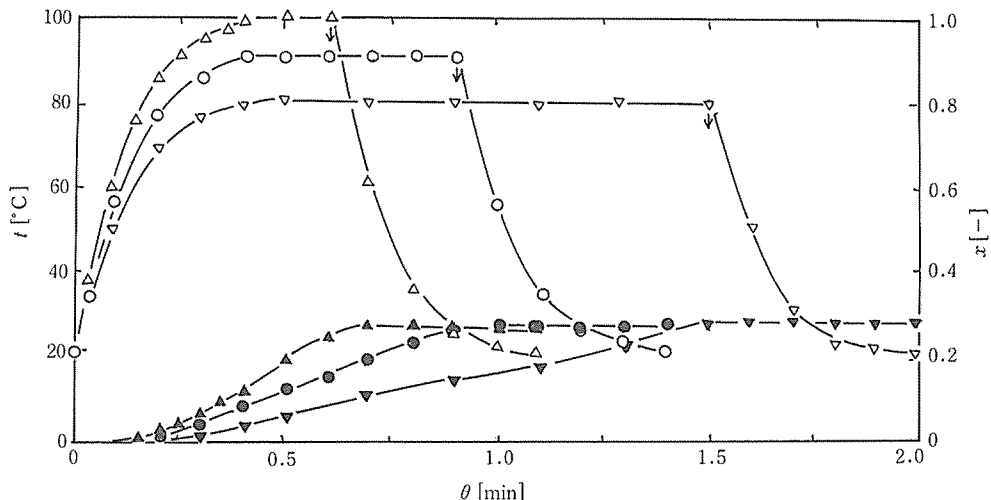


Fig. 1 Relations among the cooking ratio x [-], temperature t [°C] and the cooking time θ [min]: Data-A

Calculated data: Sample length 0.3 cm; used $\log A=8.6914$, $E \times 10^{-4}=1.5000$ cal/g·mol (ZHANG *et al.*, 1993-A), $n=1$, $\alpha=0.085$ cm²/min (ZHANG *et al.*, 1993-B); Hot water temperatures: 100, 90, 80°C (x vs. θ : $\blacktriangle \blacktriangledown$, t vs. θ : $\triangle \circ \nabla$), heating time: 0.6, 0.9, 1.5 min, Cooling water temperature: 20°C, cooling time: 0.5 min

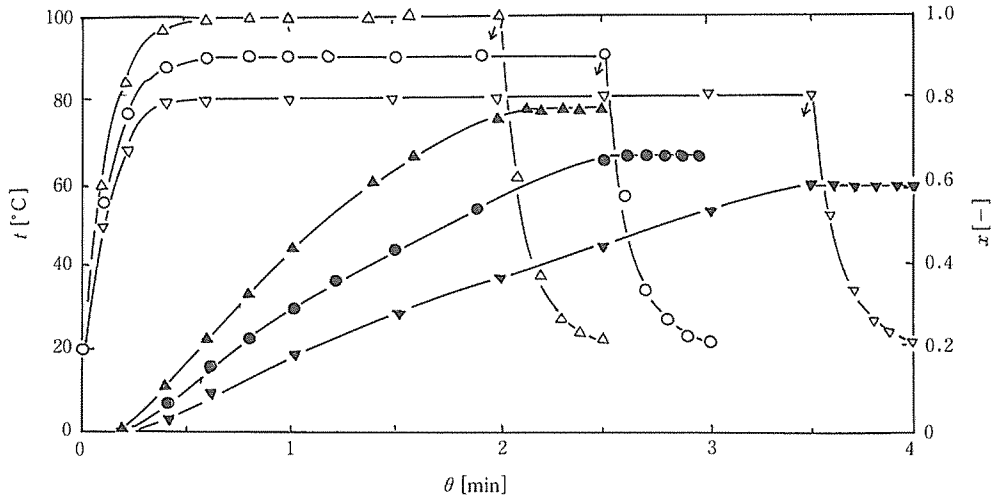


Fig. 2 Relations among the cooking ratio $x[-]$, temperature $t[^\circ\text{C}]$ and the cooking time $\theta[\text{min}]$:
 Data-B
 Calculated data: Sample length 0.3 cm; used $\log A$, $E \times 10^{-4}$, n , α =same to Fig. 1; Hot water temperature: 100, 90, 80°C (Key: same to Fig. 1), heating time: 2.0, 2.5, 3.5 min, Cooling water temperature and cooling time: same to Fig. 1

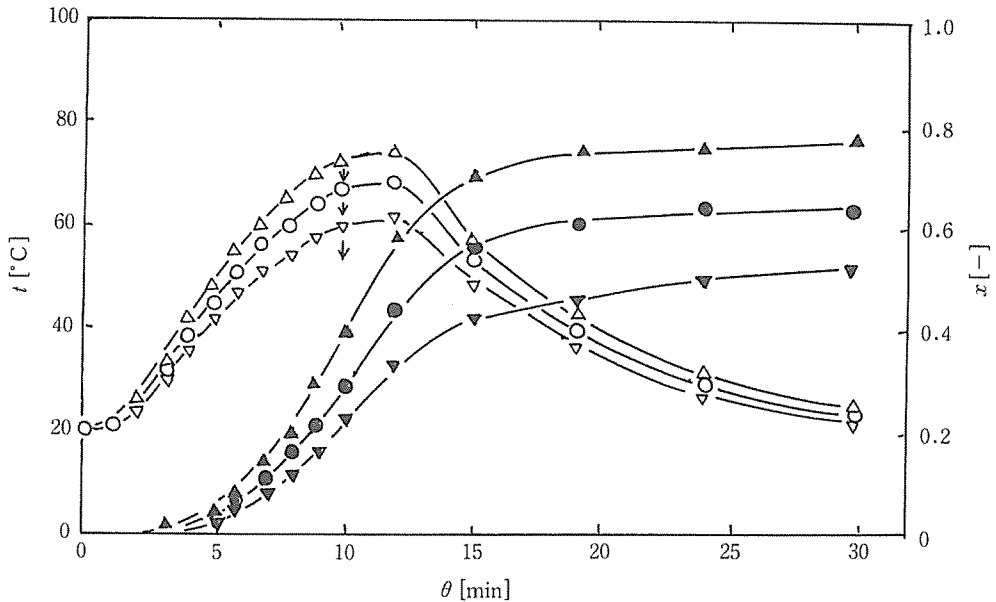


Fig. 3 Relations among the cooking ratio $x[-]$, temperature $t[^\circ\text{C}]$ and cooking time $\theta[\text{min}]$:
 Data-C
 Calculated data: Sample length 2.5 cm; used $\log A$, $E \times 10^{-4}$, n , α =same to Fig. 1; Hot water temperature: 100, 90, 80°C (Key: same to Fig. 1), heating time: 10, 10, 10 min, Cooling water temperature: 20°C, cooling time 20 min

いて実験データの例を設定した。厚さ 0.3 cm, 2.5 cm の無限平板が仮定できる試料を, 100°C, 90°C, 80°C の加熱湯中に所定時間入れ加熱し, 20°C の冷却水中に所定時間入れ冷却するクッキング実験を行ったとして設定した。試料の中心部における温度変化を, 熱拡散率 $\alpha=0.085 \text{ cm}^2/\text{min}$ (張ほか, 1993-B) を用いて求め, 中心部におけるクッキング率変化を計算により求めた。実験データを設定した結果を Figs. 1~3 (DATA-A, B, C とする) に示す。Fig. 2 は好ましい条件下の例, Fig. 1 はクッキング率が小さく, 3種のデータに差が少ない場合の例, Fig. 3 は最高温度になり一定する区間が生じない場合の例として示している。

Figs. 1~3 において, 実験データとして後述する速度パラメータの計算に使用するものは, 加熱区間と冷却区間とを合わせた16点の温度 $t[^\circ\text{C}]$ とクッキング時間 $\theta[\text{min}]$ の関係と, 最終のクッキング終了時間における1点のクッキング率 $x[-]$ となる。

参考として, Figs. 4 および5に, 厚さ 0.3 cm と 2.5 cm の場合の最終のクッキング終了時間におけるクッキング率 $x[-]$ と加熱区間の時間 $\theta[\text{min}]$ との関係を示す。冷却区間を加味した場合のクッキング率も合わせて示す。

Fig. 4 から, 試料の厚さが 0.3 cm の場合には, 熱が中心にこもらなく, 0.5分の冷却の有無の影響が僅少であることがわかる。実線は, 0.5分冷却後に得られた実験点から求めた速度パラメータ ($k=0.6675, 0.4107, 0.2381 \text{ min}^{-1}$) に対する計算値, 破線は, 実験データを与えるのに使った $n=1, \log A=8.6914, E \times 10^{-4}=1.5 \text{ cal/g-mol}$ から得られた速度パラメータ ($k=0.8093, 0.4638, 0.2575 \text{ min}^{-1}$) に対する計算値である。厚さ 0.3 cm の試料を加熱湯中に入れて等温扱いができると仮定して速度パラメータを求めた結果 (KUBOTA *et al.*, 1978) は, 破線と実線の差だけ小さくなっていたことがわかる。

Fig. 5 から, 試料の厚さが 2.5 cm になると, 熱が冷却しても中心部にこもって, 5分冷却, 20分冷却と冷却を進行させている間にクッキング率が大きく上昇していくことがわかる。昇温区間と合わせて冷却区間における非等温解析を進めることが必要になることがわかる。

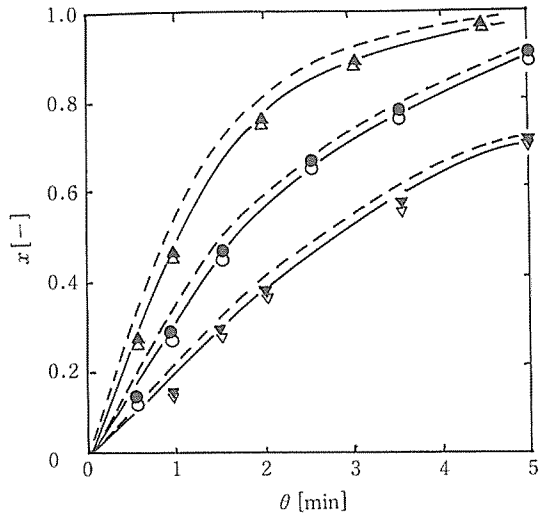


Fig. 4 Relations among the cooking ratio $x[-]$ and the heating time $\theta[\text{min}]$

Calculated data: Sample length 0.3 cm; used $\log A, E \times 10^{-4}, n, \alpha$ = same to Fig. 1; Hot water temperature: 100, 90, 80°C ($\Delta \circ \nabla$), Plus cooling time (20°C): 0.5 min ($\Delta \bullet \nabla$); Calculated values: $k=0.8093, 0.4638, 0.2575 \text{ min}^{-1}$ obtained from the values used to data (---), $k=0.6675, 0.4107, 0.2381 \text{ min}^{-1}$ obtained from this data (—)

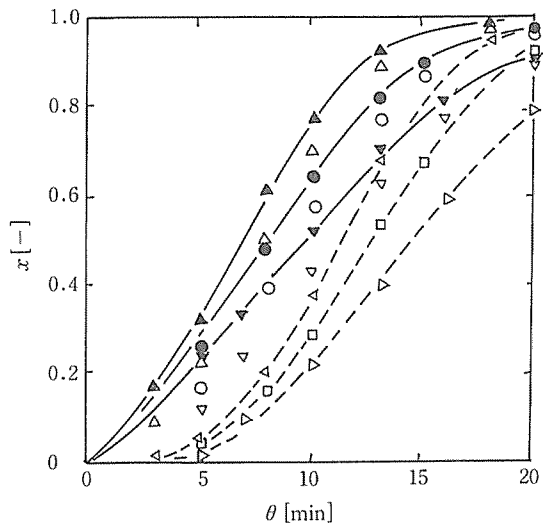


Fig. 5 Relations among the cooking ratio $x[-]$ and the heating time $\theta[\text{min}]$

Calculated data: Sample length 2.5 cm; used $\log A, E \times 10^{-4}, n, \alpha$ = same to Fig. 1; Hot water temperature: 100, 90, 80°C ($\square \triangleright$), Plus cooling time (20°C): 5 min ($\Delta \circ \nabla$), 20 min ($\Delta \bullet \nabla$)

速度パラメータの設定法

CZ 法 簡便な速度パラメータを求める手法の一つとしてよく利用されてきている Z 値 (クッキング時間を1桁変化させるに必要な温度変化の値 [°C]) を与えてクッキング値 (C 値: 設定温度 t_m [°C] におけるクッキング時間 [min]) を求める方法 (CZ 法とする) がある。この方法を用いて Figs. 1~3 に対する速度パラメータの計算を行う。 $n=1$ では次式を用いる計算となる。

$$C = \int_0^1 10^{(t-t_m)/Z} d\theta \quad (5)$$

$$k = -\ln(1-x)/C \quad (6)$$

Z 値と t_m とを設定して式(5)から C 値を求め、式(6)から t_m に対する k の値を求める。 t_m と k の関係が得られると、式(3)において A と E の値を求めることができる。以上の計算を行う BASIC プログラムを作成した。

CE 法 前述の CZ 法は、 Z 値の値を変えて計算を行うと結果が異なってくる欠点がある。殺菌において、この手法がよく使われてきている。殺菌では狭い温度域での検討となり、 Z 値を一定

として与えても問題ないが、クッキングのような変換、処理では温度域が広くなり、温度で変わる Z 値を使うのは好ましくないと考えられる。活性化エネルギーの値 (E 値とする) は、より広い温度域で一定として扱うことが可能な値であることから、 Z 値の代わりに E 値を使う方法 (CE 法とする) を提案して速度パラメータの計算を行う。 Z 値と E 値の定義式から得られる次の関係式を使用する。

$$Z = 2.303Rg \cdot T^2 / (E - 2.303Rg \cdot T) \quad (7)$$

E 値の初期値を設定して、式(7)から Z 値を求め、前述した式(5)、(6)を用いる CZ 法の計算を行い、 t_m に対する k の値を求める。式(3)の A と E の値を求め、得られる E の値を新たな E 値として式(7)の計算を行う。 A と E 値が変化しなくなるまで反復する。以上の計算を行う BASIC プログラムを作成した。

OK 法 簡便な手法の一つとして、岡崎が提案 (岡崎ほか, 1992) した非等温期間の加熱時間を等温加熱時間に修正するいわゆる修正クッキング時間 θ_c [min] を用いる方法 (OK 法とする) がある。 t_m を設定して、それに対する θ_c の値を温度の経時変化を考慮して求め、 k を求める計算法である。 A と E の値が変化しなくなるまで反復する。この方法についても簡単な BASIC プログラムを作成し、速度パラメータの計算を行う。手法の詳細は、岡崎ほかの論文 (1992) を参照されたい。

計算結果と考察

CZ 法を用いて Figs. 1~3 に設定した実験データ DATA-A, B, C から速度パラメータを求めた結果を Table 1 に示す。 Z 値は、実験データの設定に用いた $E \times 10^{-4} = 1.500$ cal/g-mol の値を式(7)に入れ、 $t = 100^\circ\text{C}$, 80°C , 20°C と変えて求めた値 $Z = 47.95$, 42.65 , 28.80°C を仮定した。式(5)における t_m は、加熱湯の温度 100°C , 90°C , 80°C を使用した。速度パラメータの得られた結果を、実験データの設定に使った値と比較して Fig. 6 に示す。Fig. 6 からわかるように、実験データが好ましい条件下で得られている場合 (DATA-B) には良い結果が得られているが、好ましくない条件下の場合 (DATA-A, C) には結果が良くない。また、仮定した Z 値の違いによって大きく異なる結果になっている。

CE 法を用いて Figs. 1~3 に設定した実験データ DATA-A, B, C から速度パラメータを求めた結果を Table 2 に示す。反復回数 8 回位でほぼ一定する結果になっている。式(7)における E 値の初期値は $E_0 \times$

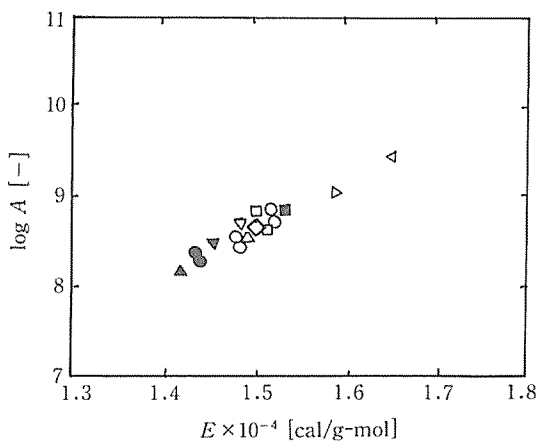


Fig. 6 Relations among the rate parameters $\log A$ [-] and $E \times 10^{-4}$ [cal/g-mol] obtained from CZ, CE and OK methods
Value used to calculated data (\diamond); CZ method: Data-A, B, C, $Z=47.95^\circ\text{C}$ ($\blacktriangle\blacktriangle\blacktriangle$), 42.65°C ($\blacktriangledown\blacktriangledown\blacktriangledown$); CE method: Data-A, B, C, $E_0 \times 10^{-4} = 1.5000$ ($\bullet\circ\circ$), 0.5000 ($\bullet\circ\circ$); OK method: Data-A, B, C ($\blacksquare\circ\circ$)

Table 1 Calculated values of the rate parameters $\log A$ and $E \times 10^{-4}$ by the CZ method
Assumed $Z=47.95^\circ\text{C}$

Data	Assumed $t_m [^\circ\text{C}]$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
A	100, 90, 80	8.1749	1.4200
B	100, 90, 80	8.6162	1.4891
C	100, 90, 80	8.9918	1.5917

Assumed $Z=42.65^\circ\text{C}$

Data	Assumed $t_m [^\circ\text{C}]$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
A	100, 90, 80	8.4076	1.4565
A	150, 120, 110	9.9180	1.7186
B	100, 90, 80	8.6505	1.4940
B	150, 120, 100	10.0318	1.7363
C	100, 90, 80	9.4371	1.6500
C	150, 120, 100	10.2942	1.8110

Assumed $Z=28.80^\circ\text{C}$

Data	Assumed $t_m [^\circ\text{C}]$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
A	100, 90, 80	9.1566	1.5743
B	100, 90, 80	8.7492	1.5090
C	100, 90, 80	11.1460	1.8720

where, $A[\text{min}^{-1}]$, $E[\text{cal/g-mol}]$, $n=1$

used Calculated data (Data-A, B, C: Figs. 1~3) which

obtained by $\log A=8.6914$, $E \times 10^{-4}=1.5000 \text{ cal/g-mol}$, $n=1$

$10^{-4}=2.5000$, 0.5000 cal/g-mol と変えて設定した。式(5)における t_m は、加熱湯の温度 100°C , 90°C , 80°C を使用した。Fig. 6 からわかるように、CZ 法よりも良い結果が得られている。実験データが好ましくない条件下の場合 (DATA-A) には、大きく異なる結果になっている。式(5)における t_m の値を大きく 150 , 120 , 100°C と変えた場合の結果を DATA-A については Table に示していないが、逆の方向に異なる結果になった。CE 法では、実験データを好ましい条件下で与えること、好ましい t_m の値を設定することが必要と考えられる。

OK 法を用いて Fig. 1~3 に設定した実験データ DATA-A, B, C から速度パラメータを求めた結果を Table 3 に示す。この場合も反復回数 8 回位でほぼ一定する結果になっている。 t_m は、加熱湯の温度 100°C , 90°C , 80°C を使用した。実験データが好ましくない条件下の場合 (DATA-A) には、CE 法と逆の方向に大きく異なる結果になっている。この場合も t_m の値を大きく 150 , 120 , 100°C と変えた場合には逆方向に異なる結果が得られた。OK 法においても実験データを好ましい条件下で与えること、好ましい t_m の値を設定することが必要と考えられる。

結 言

前報において、ジャガイモのクッキング速度式の設定を例として、非等温実験データから速度パラメータを設定する方法として、非線形最小二乗法を用いる方法 (久保田ほか, 1981, 1988) と、簡便な手法を用いる方法 (岡崎ほか, 1991, 1992, 張ほか, 1993-B) とを用いる研究を行ってきた。

本研究では、これまでに示してきた簡便な手法についての比較検討を行った。また、クッキング値 (C 値) を用いる従来の方法 (LEONARD *et al.*, 1964, OHLSSON *et al.*, 1980, HARADA *et al.*, 1985, PRAVISANI *et al.*, 1986, 岡崎ほか, 1991) に対する改良法の提案をした。改良したクッキング値を求める方法は、 Z 値の仮定する値の違いにより異なる結果が得られてきた従来の方法よりも有用である。パソコンが普及をしてき

Table 2 Calculated values of the rate parameters $\log A$ and $E \times 10^{-4}$ by the CE method
Data-A, Assumed $t_m=100, 90, 80^\circ\text{C}$

Iteration time	$E_o \times 10^{-4}=2.5000$		$E_o \times 10^{-4}=0.5000$	
	$\log A$	$E \times 10^{-4}$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
1	9.3703	1.5968	6.0417	1.0851
2	8.4923	1.4681	7.7744	1.3555
3	8.3406	1.4442	8.1950	1.4214
7	8.3037	1.4384	8.3034	1.4384
8	8.3035	1.4384	8.3035	1.4384

Data-B, Assumed $t_m=100, 90, 80^\circ\text{C}$

Iteration time	$E_o \times 10^{-4}=2.5000$		$E_o \times 10^{-4}=0.5000$	
	$\log A$	$E \times 10^{-4}$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
1	8.7436	1.5070	8.1714	1.4218
2	8.6176	1.4882	8.6018	1.4858
3	8.6142	1.4877	8.6138	1.4876
7	8.6142	1.4877	8.6142	1.4877
8	8.6142	1.4877	8.6142	1.4877

Data-B, Assumed $t_m=150, 120, 100^\circ\text{C}$

Iteration time	$E_o \times 10^{-4}=2.5000$		$E_o \times 10^{-4}=0.5000$	
	$\log A$	$E \times 10^{-4}$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
1	13.0624	2.1929	4.7378	0.8936
2	11.8067	1.9964	6.4454	1.1591
3	11.0023	1.8706	7.5549	1.3319
7	9.8065	1.6836	9.2182	1.5917
8	9.7188	1.6699	9.3408	1.6108

Data-C, Assumed $t_m=100, 90, 80^\circ\text{C}$

Iteration time	$E_o \times 10^{-4}=2.5000$		$E_o \times 10^{-4}=0.5000$	
	$\log A$	$E \times 10^{-4}$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
1	10.5999	1.7243	5.9625	1.1744
2	9.1901	1.5615	8.0716	1.4345
3	8.8810	1.5266	8.6302	1.4983
7	8.7941	1.5168	8.7935	1.5168
8	8.7939	1.5168	8.7937	1.5168

ており、BASIC プログラムを作成しておくとも便利である。この方法は、殺菌においてよく利用されてきている Z 値を与えて F 値（設定温度における加熱致死時間で C 値と同じ扱いをする値）を用いる方法にも適用できる。 E 値を与えて F 値を用いる方法（FE 法とする）を、従来の方法（FZ 法）の改良法として提案する。岡崎により提案された修正クッキング時間を用いる方法（岡崎ほか，1992）も有用な方法であった。

謝辞 前報（岡崎ほか，1992）の Table 1 の A の値が60倍大きく誤っており、前報（張ほか，1993-A）の Table 1 に引用の値と、Fig. 4 の(5)の直線、前報（張ほか，1993-B）の Fig. 2 の曲線Bに誤りがあり、訂正を賜りたい。また、前報（張ほか，1993-A）の Fig. 4の(9)の直線を文献値で訂正を賜りたい。

Table 3 Calculated values of the rate parameters $\log A$ and $E \times 10^{-4}$ by the OK method

Data-A				
Iteration time	$t_m=100, 90, 80^\circ\text{C}$		$t_m=150, 120, 100^\circ\text{C}$	
	$\log A$	$E \times 10^{-4}$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
1	3.5758	0.7010	1.1824	0.3306
2	7.1149	1.2520	3.2807	0.6570
3	8.4104	1.4550	5.0220	0.9284
7	8.8589	1.5259	8.1624	1.4175
8	8.8600	1.5261	8.4128	1.4565

Data-B				
Iteration time	$t_m=100, 90, 80^\circ\text{C}$		$t_m=150, 120, 100^\circ\text{C}$	
	$\log A$	$E \times 10^{-4}$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
1	7.3760	1.3000	2.9648	0.6184
2	8.6817	1.4984	5.5430	1.0150
3	8.7336	1.5061	6.9932	1.2380
7	8.7354	1.5064	8.5829	1.4829
8	8.7354	1.5064	8.6519	1.4935

Data-C				
Iteration time	$t_m=100, 90, 80^\circ\text{C}$		$t_m=150, 120, 100^\circ\text{C}$	
	$\log A$	$E \times 10^{-4}$	$\log A$	$E \times 10^{-4}$
1	4.1624	0.9349	0.9923	0.4454
2	7.4353	1.3522	3.5026	0.7893
3	8.4254	1.4700	5.2946	1.0344
7	8.7517	1.5079	8.1623	1.4270
8	8.7524	1.5080	8.3764	1.4564

使用記号

A : 式(3)のパラメータ	C : クッキング値 [min]	E : 式(3)のパラメータ
F : 測定する物性値など	k : 式(2)のパラメータ	n : 式(2)のパラメータ
Rg : 気体定数 [cal/(g-mol \cdot °K)]	T : 変換, 処理温度 [°K]	t : 変換, 処理温度 [°C]
x : 変換, 処理率 [-]	Y : 無次元温度 [-]	y : 試料内の位置 [cm]
Z : Z 値 [°C]	α : 熱拡散率 [cm ² /min]	θ : 変換, 処理時間 [min]

添字

o, e, c, m : 初期値, 平衡値, 修正値, 設定値

引用文献

- 張 戈・久保田清・羽倉義雄, 1993-A, ジャガイモのクッキングにおける温度変化とクッキング速度に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, 32 : 23-31.
- 張 戈・久保田清・羽倉義雄, 1993-B, ジャガイモのクッキング進行中におけるクッキング速度に関する研究. 広島大学生物生産学部紀要, 32 : 127-133.
- HARADA, T., TIRTOHUSODO, H. and PAULUS, K., 1985, Influence of Temperature and Time on Cooking Kinetics of Potatoes. *J. Food Sci.*, 50:459-462, 472.

- KUBOTA, K., OSHITA, K., HOSOKAWA, Y., SUZUKI, K. and HOSAKA, H., 1978, Studies of Cooking-rate Equation of Potato and Sweet Potato Slices., *J. Fac. Fish. Anim. Husb., Hiroshima Univ.*, 17: 97-106.
- KUBOTA, K., HOSOKAWA, Y., SUZUKI, K. and HOSAKA, H., 1979, Studies on the Gelatinization Rate of Rice and Potato Starches. *J. Food Sci.*, 44:1394-1397.
- 久保田清・保坂秀明, 1981, 球状ジャガイモの伝熱特性を考慮したクッキング速度式の設定に関する研究. 日食工誌, 28: 181-185.
- 久保田清・黒川眞行・鈴木寛一・江坂宗春, 1988, 円柱状ジャガイモのマイクロ波加熱におけるクッキング速度式の設定に関する研究. 日食工誌, 35: 78-82.
- LEONARD, S., LUH, B. S. and SIMONE, M., 1964, Aseptic Canning of Foods, 1. Preparation and Processing Procedures. *Food Technol.*, 18(1):81.
- OHLSSON, T., 1980, Temperature Dependence of Sensory Quality Changes during Thermal Processing. *J. Food Sci.*, 45:836-839, 847.
- 岡崎 尚・鈴木寛一・前重静彦・久保田清, 1991, 蒸煮によるジャガイモの軟化現象に関する速度論的解析. 日食工誌, 38: 784-788.
- 岡崎 尚・鈴木寛一・前重静彦・久保田清, 1992, 非等温および等温処理期間に進行するジャガイモの軟化現象のシミュレーション. 日食工誌, 39: 295-301.
- PRAVISANI, C. I. and CALVELO, A., 1986, Minimum Cooking Time for Potato Strip Frying. *J. Food Sci.*, 51:614-617.

Determination of the Rate Parameters in Non-isothermal Processes used Simple Methods

Kiyoshi KUBOTA, Ge ZHANG and Yoshio HAGURA

*Faculty of Applied Biological Science, Hiroshima University
Higashi-Hiroshima 724 Japan*

In order to design and to control various food transforming apparatuses such as for the chemical reactions, cooking, sterilization and so on of food materials, it is necessary to determine the Arrhenius' rate parameters from the non-isothermal experimental data of cooking and so on of food.

In previous papers, we have studied the cooking rate equations of potato by various methods such as non-linear least square method (KUBOTA *et al.*, 1981, 1988) and simple methods (OKAZAKI *et al.*, 1991, 1992, ZHANG *et al.*, 1993-B).

In this paper, we investigated the determination of the rate parameters in non-isothermal processes by using simple methods proposed in previous papers. The modified cook value method in this paper was useful for finding the rate parameters in cooking rate equations. The corrected cooking time method (OKAZAKI *et al.*, 1992) was useful too as simple method.

Key words: cooking, food, potato, rate equation, rate parameter