

Tomasz PUKSZTA

e-mail: phazi@am.gdynia.pl

Katedra Organizacji Usług Turystyczno-Hotelarskich, Wydział Przedsiębiorczości i Towaroznawstwa, Akademia Morska, Gdynia

## Stabilność składników antyoksydacyjnych w truskawkach przechowywanych w warunkach zamrażalniczych

### Wstęp

Antyoksydacyjne składniki żywności pełnią istotną rolę w funkcjonowaniu organizmu człowieka. Do składników tych należą między innymi antocyjany i witamina C.

Antyoksydacyjne składniki antocyjanów wynikają z ich budowy chemicznej, szczególnie z obecności grup hydroksylowych w położeniu 3 pierścienia C oraz w położeniu 3' i 4' pierścienia B. Natomiast ich antyoksydacyjne działanie powiązane jest ze zdolnością do usuwania wolnych rodników, co kończy łańcuch reakcji rodnikowych.

Konsumowanie żywności zawierającej antocyjany i duże ilości witaminy C znacząco wpływa na antyoksydacyjną ochronę organizmu człowieka. Wynika to z faktu, iż kwas askorbinowy chroni reszty aglikonowe barwników antocyjanowych przed utlenianiem [Saluk-Juszczak, 2010].

Dla organizmu człowieka podstawowym źródłem tych związków są owoce, w tym truskawki. Niestety sezonowa podaż świeżych truskawek powoduje, że muszą one być poddawane procesom utrwalania i przechowywania, między innymi poprzez zamrażanie. Jednak proces zamrażania nie chroni całkowicie produktu przed niekorzystnymi przemianami zachodzącymi w nim podczas przechowywania, w tym powodującymi obniżanie właściwości antyoksydacyjnych tego produktu [Pukszta, 2012].

Celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie parametrów kinetycznych określających stabilność wybranych składników antyoksydacyjnych w truskawkach przechowywanych w warunkach zamrażalniczych.

### Materiał i metody badań

Materiał badawczy stanowiły truskawki odmiany *Senga Sengana*, zamrożone metodą fluidyzacyjną w temperaturze  $-38^{\circ}\text{C}$  w zamrażalni w Gronowie Górnym koło Elbląga.

Materiał doświadczalny przewieziono w opakowaniach transportowych, w trójwarstwowych workach papierowych wyłożonych folią polietylenową, do laboratorium Akademii Morskiej w Gdyni. Po dostarczeniu zamrożonych warzyw z zamrażalni do laboratorium, umieszczono je w zamrażarkach w temperaturze  $-25^{\circ}\text{C}$ . Następnie materiał badawczy został przeniesiony do stosowanych powszechnie w dystrybucji detalicznej woreczków polietylenowych. W każdym opakowaniu detalicznym umieszczono około 500 g produktu. Odważanie, pakowanie i zgrzewanie opakowań detalicznych odbywało się w temperaturze pokojowej i trwało około trzech minut.

Całość materiału badawczego podzielono na trzy części i każdą z nich składowano w innych warunkach zamrażalniczych, tj. w temperaturze stałej  $-18^{\circ}\text{C}$  i  $-25^{\circ}\text{C}$  oraz w temperaturze zmiennej od  $-18^{\circ}\text{C}$  do  $-25^{\circ}\text{C}$  z 48-godzinnym cyklem zmiany. Owoce poddano ocenie fizykochemicznej przed przechowywaniem oraz w cyklu czterotygodniowym przez 24 tygodnie przechowywania. Przed wykonaniem oznaczeń truskawki rozmrażano w temperaturze pokojowej.

W materiale badawczym oznaczano zawartość witaminy C metodą spektrofotometryczną [PN-A-04019:1998] oraz zawartość antocyjanów metodą Fuleki'ego i Francisca [Michałowski, 1995].

#### Wyznaczanie parametrów kinetycznych

Proces wyznaczania parametrów kinetycznych składał się z dwóch etapów.

##### Etap I – ustalenie rzędowości zmian

W technologii żywności wg Kesslera i in. [Pukszta, 2012] wyróżnia się reakcje zerowego, pierwszego i drugiego rzędu.

Reakcja zerowego rzędu ma postać:

$$V = -\frac{dC}{dt} = k \quad (1)$$

W reakcji rzędu zerowego zmiana stężenia nie ma wpływu na szybkość reakcji (procesy elektrolizy, fotochemiczne, biochemiczne)

Reakcje rzędu pierwszego mają postać:

$$V = -\frac{dC}{dt} = kC \quad (2)$$

i są to reakcje, których szybkość doświadczalnie wyznaczona, zmienia się tak, jak gdyby były one reakcjami jednocząsteczkowymi czyli szybkość reakcji jest proporcjonalna do stężenia substratu (procesy połowicznego rozpadu pierwiastków promieniotwórczych, enzymatyczne i mikrobiologiczne).

Natomiast reakcja rzędu drugiego ma postać:

$$V = -\frac{dC}{dt} = kC_A C_B \quad (3)$$

Szybkość reakcji jest proporcjonalna do iloczynu stężeń reagentów (reakcje syntezy).

Rzędowość reakcji ustalono porównując równanie dopasowanej krzywej z równaniami kinetycznymi kolejnego rzędu. Jest to rozwinięcie metody graficznej, najczęściej stosowanej przy określaniu rzędowości reakcji. Metoda ta polega na przedstawieniu zależności zmian stężenia substratów od czasu w postaci linii prostej na wykresie zależności stężenie – czas [Kramer i in., 1982; Labuza, 1975; Labuza, 1985; Stoklosa i in., 1985].

Z wcześniej przedstawionych równań, dla odpowiednich rzędowości stwierdzono następujące zależności:

– reakcje rzędu zerowego

$$C = C_0 - kt \quad (4)$$

Zmiany stężenia przedstawiają linię prostą w układzie współrzędnych ze skalą liniową na obu osiach.

– reakcja pierwszego rzędu

$$\ln C = \ln C_0 - kt \quad (5)$$

Wykres zmian stężenia w zależności od czasu będzie linią prostą po wykreśleniu go w skali półlogarytmicznej.

– reakcja drugiego rzędu

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + kt \quad (6)$$

Zależność liniową otrzymuje się po wykreśleniu jej w układzie współrzędnych  $1/C$  (oś Y) oraz  $t$  (oś X).

**Etap II – wyznaczenie parametrów** służących:

- określeniu dynamiki zmian – na podstawie stałej szybkości zmian cechy ( $k$ ),
- określeniu czasu połowicznej przemiany ( $t_{50}$ ), tzn. czasu, po którym zmiana cechy wyniesie 50% (z uwagi na założenie mówiące o tym, że zmiany na poziomie 50% są krytyczne),
- określeniu warunków, w jakich proces zmian danej cechy ulega zapoczątkowaniu – na podstawie energii aktywacji ( $E$ ),
- określeniu wpływu temperatury na szybkość zmian – za pomocą współczynnika temperaturowego przemiany ( $Q_{10}$ ).

Wg poniższych równań obliczone zostały:

– stała szybkości zmian rzędu pierwszego:

$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{C_0}{C} \quad (7)$$

gdzie:

$t$  – czas

- $C_0$  – początkowy poziom cechy  
 $C$  – poziom cechy po czasie  $t$ .  
 – **czas połowicznej przemiany** dla zmian rzędu pierwszego

$$g = \frac{0,693}{k} \quad (8)$$

gdzie:

$k$  – obliczona stała szybkości przemiany.

- **energia aktywacji**, [kJ/mol]

$$E_a = \frac{2,303RT_N T_w \log\left(\frac{k_N}{k_W}\right)}{T_N - T_W} \quad (9)$$

gdzie:

$R$  – stała gazowa [8,3143 kJ/mol·K]

$T_N$  – temperatura niższa [K]

$T_W$  – temperatura wyższa [K]

$k_N$  – stała szybkości przemiany w temperaturze  $T_N$

$k_W$  – stała szybkości przemiany w temperaturze  $T_W$ .

- **współczynnik temperaturowy przemiany**

$$Q_{10} = \frac{k_W}{k_N} \quad (10)$$

gdzie:

$k_w$  – stała szybkości w temperaturze wyższej

$k_N$  – stała szybkości w temperaturze niższej.

Ponieważ różnica temperatur była inna niż 10°C współczynnik temperaturowy  $Q_{10}$  wyznaczono w oparciu o wzór:

$$Q_{10}^{\Delta T} = \frac{k_W}{k_N} \quad (11)$$

który po przekształceniu uzyskał postać:

$$Q_{10} = \sqrt[10]{\left(\frac{k_W}{k_N}\right)^{\Delta T}} \quad (12)$$

gdzie:

$\Delta$  – różnica temperatur [Danek, 1982; Kondratowicz, 1988].

### Wyniki badań i ich opracowanie

Podczas zamrażalniczego przechowywania truskawek stwierdzono stałe obniżanie się zawartości antocyjanów i witaminy C we wszystkich wariantach temperaturowych. Kierunek i dynamikę powstałych zmian parametrów będących przedmiotem badań przedstawiono w tab. 1 i 2.

Prezentowane wyniki wskazują na występujące zależności między stabilnością składników antyoksydacyjnych a temperaturą i czasem przechowywania zamrożonych truskawek. W produkcji przechowywanym w temperaturze zmiennej -18°C/-25°C oraz stałej -18°C i -25°C stwierdzono stałe obniżanie się zawartości antocyjanów i witaminy C. Analiza dynamiki zmian zawartości tych składników w przechowywanych zamrożonych truskawkach wykazała, zróżnicowane tempo degradacji antocyjanów i witaminy C. Po pierwszych czterech tygodniach przechowywania zawartość antocyjanów obniżyła się o około 11% w owocach składowanych w warunkach fluktuacji temperatury, o około 6% w temperaturze stałej -18°C i około 2% w temperaturze -25°C. W tym samym czasie zawartość witaminy C obniżyła się około

Tab. 1. Zawartość antocyjanów w mrożonych truskawkach w zależności od czasu i temperatury przechowywania

| Czas przechowywania (tygodnie) | Zawartość antocyjanów (mg/100 g) |            |       |           |            |       |             |            |       |
|--------------------------------|----------------------------------|------------|-------|-----------|------------|-------|-------------|------------|-------|
|                                | Temperatura przechowywania       |            |       |           |            |       |             |            |       |
|                                | -18°C                            |            |       | -25°C     |            |       | -18°C/-25°C |            |       |
|                                | $\bar{Y}$                        | $\Delta\%$ | Se(Y) | $\bar{Y}$ | $\Delta\%$ | Se(Y) | $\bar{Y}$   | $\Delta\%$ | Se(Y) |
| 0                              | 8,10                             | -          | 1,076 | 8,10      | -          | 1,076 | 8,10        | -          | 1,076 |
| 4                              | 7,58                             | 6,4        | 0,990 | 7,95      | 1,9        | 0,877 | 7,18        | 11,4       | 0,940 |
| 8                              | 7,06                             | 12,8       | 0,960 | 7,15      | 11,7       | 0,931 | 6,25        | 22,8       | 0,704 |
| 12                             | 6,25                             | 22,8       | 0,850 | 6,55      | 19,1       | 0,520 | 5,70        | 29,6       | 0,700 |
| 16                             | 5,60                             | 30,9       | 0,308 | 5,90      | 27,2       | 0,540 | 5,02        | 38,0       | 0,250 |
| 18                             | 4,85                             | 40,1       | 0,430 | 5,57      | 31,2       | 0,546 | 4,55        | 43,0       | 0,616 |
| 24                             | 4,25                             | 47,5       | 0,275 | 5,30      | 34,6       | 0,516 | 4,05        | 50,0       | 0,235 |

Źródło: badania własne

Tab. 2. Zawartość witaminy C w mrożonych truskawkach w zależności od czasu i temperatury przechowywania

| Czas przechowywania (tygodnie) | Zawartość witaminy C (mg/100 g) |            |       |           |            |       |             |            |       |
|--------------------------------|---------------------------------|------------|-------|-----------|------------|-------|-------------|------------|-------|
|                                | Temperatura przechowywania      |            |       |           |            |       |             |            |       |
|                                | -18°C                           |            |       | -25°C     |            |       | -18°C/-25°C |            |       |
|                                | $\bar{Y}$                       | $\Delta\%$ | Se(Y) | $\bar{Y}$ | $\Delta\%$ | Se(Y) | $\bar{Y}$   | $\Delta\%$ | Se(Y) |
| 0                              | 61,23                           | -          | 3,568 | 61,23     | -          | 3,568 | 61,23       | -          | 3,568 |
| 4                              | 59,20                           | 3,3        | 4,028 | 60,70     | 0,9        | 2,981 | 59,60       | 2,7        | 3,922 |
| 8                              | 59,00                           | 3,6        | 3,833 | 60,10     | 1,8        | 3,521 | 59,30       | 3,2        | 3,814 |
| 12                             | 57,40                           | 6,3        | 3,924 | 59,50     | 2,8        | 3,280 | 57,90       | 5,4        | 2,978 |
| 16                             | 56,30                           | 8,1        | 3,135 | 58,61     | 4,3        | 3,468 | 55,72       | 9,0        | 3,523 |
| 18                             | 55,92                           | 8,7        | 2,921 | 57,98     | 5,3        | 3,221 | 55,11       | 10,0       | 3,204 |
| 24                             | 53,88                           | 12,0       | 3,410 | 57,25     | 6,5        | 3,925 | 52,05       | 15,0       | 4,125 |

3% w truskawkach przechowywanych w temperaturze zmiennej i stałej -18°C oraz o około 1% w temperaturze stałej -25°C. W okresie następujących dwudziestu tygodni przechowywania stwierdzona tendencja utrzymała się. Wysoką dynamikę degradacji wykazywały antocyjany. Po dwudziestu czterech tygodniach przechowywania ich zawartość w truskawkach obniżyła się o około 50% w temperaturze zmiennej i stałej -18°C oraz około 35% w temperaturze -25°C. Niższym tempem degradacji charakteryzowała się witamina C. W truskawkach składowanych w temperaturze stałej -18°C stwierdzono obniżenie się zawartości tej witaminy o około 12%, w temperaturze zmiennej o około 15% a w temperaturze -25°C tylko o około 6% (Tab. 1 i 2).

### Statystyczna analiza wariancji

Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych poddano statystycznej analizie wariancji (ANOVA). Wyniki tej analizy przedstawiono w tab. 3 i 4.

Tab. 3. Statystyczna analiza wariancji (ANOVA) dla zawartość antocyjanów w mrożonych truskawkach

| Źródła zmienności   | SK      | df | OW     | F      | P          |
|---------------------|---------|----|--------|--------|------------|
| Czas przechowywania | 31,7498 | 6  | 5,2916 | 88,83  | $p < 0,01$ |
| Temperatura         | 2,2964  | 2  | 1,1482 | 19,27  | $p < 0,01$ |
| Błąd                | 0,7148  | 12 | 0,0596 | 0,7148 |            |
| Całkowita           | 34,7610 | 20 |        |        |            |

SK – suma kwadratów, df – stopnie swobody, OW – oszacowanie wariancji, F – stosunki rozkładu F, P – prawdopodobieństwo popełnienia błędu I rodzaju

Tab. 4. Statystyczna analiza wariancji (ANOVA) dla zawartość witaminy C w mrożonych truskawkach

| Źródła zmienności   | SK       | df | OW       | F     | P          |
|---------------------|----------|----|----------|-------|------------|
| Czas przechowywania | 99,0888  | 6  | 16,5148  | 20,41 | $p < 0,01$ |
| Temperatura         | 17,5203  | 2  | 8,760133 | 10,83 | $p < 0,01$ |
| Błąd                | 9,7087   | 12 | 0,809061 |       |            |
| Całkowita           | 126,3178 | 20 |          |       |            |

SK – suma kwadratów, df – stopnie swobody, OW – oszacowanie wariancji, F – stosunki rozkładu F, P – prawdopodobieństwo popełnienia błędu I rodzaju

Sformułowano hipotezę zerową o braku oddziaływania temperatury i czasu zamrażalniczego przechowywania truskawek na degradację analizowanych związków antyoksydacyjnych.

Obliczony stosunek  $F$  był wyższy od tabelarycznej wartości krytycznej  $F_{0,01;2;12} = 6,93$  [Łomnicki, 1999], dla wpływu temperatury przechowywania na procesy destrukcji antocyjanów i witaminy C. Na tej podstawie odrzucono hipotezę zerową z prawdopodobieństwem popełnienia błędu I rodzaju na poziomie 0,01% (Tab. 3, 4).

W podobny sposób odrzucono hipotezę zerową o braku oddziaływania czasu zamrażalniczego przechowywania owoców na procesy ograniczające stabilność antyoksydantów. W tym przypadku wartość krytyczna  $F_{0,01;6;12} = 4,82$  [Łomnicki, 1999] (Tab. 3, 4).

Przeprowadzona statystyczna analiza wariancji wyników eksperymentalnych również wykazała istotne różnice w dynamice destrukcji antocyjanów i witaminy C w mrożonych truskawkach w zależności od temperatury i czasu przechowywania.

Istotnym aspektem praktycznym jest możliwość prognozowania czasu przechowywania owoców w stanie zamrożonym lub zmian ich jakości podczas przechowywania. Podstawą prognozowania jest posiadanie informacji o kinetyce rozkładu labilnych składników owoców przechowywanych w stanie zamrożonym. Na podstawie parametrów wyznaczyć można zawartość dowolnego składnika, np.: antocyjanów, witaminy C, w dowolnym momencie [Krala i in., 2005].

### Parametry kinetyczne i ich ocena

Na podstawie uzyskanych wyników eksperymentalnych wyznaczono parametry kinetyczne określające stabilność wybranych składników antyoksydacyjnych w mrożonych truskawkach, czyli stałą szybkości zmiany cechy ( $k$ ), czas połowicznej przemiany ( $g$ ), energię aktywacji ( $E_a$ ) oraz współczynnik temperaturowy ( $Q_{10}$ ). Przedstawiono je w tab. 5.

Tab. 5. Wartości parametrów kinetycznych degradacji wybranych składników antyoksydacyjnych w mrożonych truskawkach przechowywanych w zróżnicowanych warunkach temperaturowych

| Składnik antyoksydacyjny | Temperatura przechowywania | Parametry kinetyczne |       | Zakres temperatur | Parametry kinetyczne |        |
|--------------------------|----------------------------|----------------------|-------|-------------------|----------------------|--------|
|                          |                            | $k$                  | $g$   |                   | $Q_{10}$             | $E_a$  |
| Antocyjany               | -18°C                      | 0,1075               | 6,45  | -18°C/-25°C       | 1,34                 | 224,02 |
|                          | -25°C                      | 0,0707               | 9,80  |                   |                      |        |
|                          | -18°C/-25°C                | 0,1155               | 6,00  |                   |                      |        |
| Witamina C               | -18°C                      | 0,0213               | 32,52 | -18°C/-25°C       | 1,57                 | 343,88 |
|                          | -25°C                      | 0,0112               | 61,87 |                   |                      |        |
|                          | -18°C/-25°C                | 0,0271               | 25,60 |                   |                      |        |

Podstawowym warunkiem dla właściwego prognozowania stabilności składników żywności w oparciu o parametry kinetyczne, jest określenie rzędowości zmian. Dokonano tego poprzez porównanie dopasowania krzywych opisujących zmiany antyoksydacyjnych składników truskawek z równaniem kinetycznym kolejnego rzędu. Przyjęta procedura będąca rozwinięciem metody graficznej pozwoliła stwierdzić, iż badane cechy ulegały zmianom określanym jako zmiany zachodzące zgodnie z reakcją rzędu pierwszego.

Miara tempa zachodzących zmian zawartości antocyjanów i witaminy C była wartość bezwzględna stałej szybkości reakcji ( $k$ ). Przyjmując duże wartości liczbowe świadczyła o intensywności zmian w obrębie badanych cech. Wahania jej wartości w trakcie badań były odzwierciedleniem zmian dynamiki przebiegu procesu. Opierając się na wartościach stałej szybkości przemiany ( $k$ ) dla reakcji pierwszego rzędu można wnioskować o intensywności przemian zachodzących w produkcie. Znak stałej ( $k$ ) wiązał się z kierunkiem przebiegu procesu. Dodatnie wartości stałej ( $k$ ) informowały o stałym obniżaniu się stężenia substratu, natomiast przyjęcie wartości ujemnych wskazywałoby na tendencję odwrotną.

Analiza wartości tego parametru wykazała, że podczas przechowywania mrożonych truskawek antocyjany charakteryzowały się mniejszą stabilnością niż witamina C (Tab. 5).

Wartości stałej  $k$  potwierdziły także wpływ temperatury przechowywania na stabilność składników antyoksydacyjnych w truskawkach przechowywanych w warunkach zamrażalniczych. Analizując te wartości stwierdzono wyższy poziom tego parametru dla wariantu fluktuacyjnego w porównaniu z wariantami o temperaturach stałych. Świadczy to o najwyższej dynamice destrukcji omawianych składników antyoksydacyjnych w owocach przechowywanych w temperaturze zmiennej.

Z definicji okresu połowicznej przemiany ( $g$ ) dla reakcji I rzędu wynika, że jest on wielkością odwrotnie proporcjonalną do intensywności przebiegu reakcji oraz stałej szybkości. Oznacza to, że wraz ze wzrostem temperatury przechowywania następowało skrócenie okresu połowicznej przemiany. Stwierdzono także, że najkrótszy czas połowicznej przemiany wykazywały owoce przechowywane w warunkach fluktuacji temperatury. Ponadto spośród analizowanych składników antyoksydacyjnych krótszy czas połowicznej przemiany wykazywały antocyjany.

Jednym z parametrów kinetycznych jest współczynnik temperaturowy  $Q_{10}$ . Obliczone w oparciu o wyniki badań przechowywalniczych,

wartości współczynnika  $Q_{10}$  degradacji składników antyoksydacyjnych wykazały najniższe wartości tego parametru dla antocyjanów.

Współczynnik  $Q_{10}$  stanowi wygodną miarę zwiększenia szybkości reakcji, co pozwala ekstrapolować wyniki uzyskane w wyższej temperaturze do temperatury odpowiednio niższej. Prognozując poziom badanej cechy przechowywanych produktów na podstawie wartości współczynnika  $Q_{10}$  należy uwzględnić powstawanie błędów wynikającego z założenia o stałości tego współczynnika. Przeprowadzone badania wykazały, że  $Q_{10}$  nie jest wielkością stałą, a maleje wraz ze wzrostem temperatury. Dlatego też w celu urealnienia uzyskanych wyników w prognozowaniu można opierać się na wartości  $E_a$ , której związek ze współczynnikiem  $Q_{10}$  opisuje następujące równanie:

$$\log Q_{10} = 2,2 \frac{E_a}{T(T+10)} \quad (13)$$

Przy dużych wartościach energii aktywacji współczynnik  $Q_{10}$  zmienia się znacząco. Może to być przyczyną poważnych błędów w prognozowaniu przy założeniu stałości współczynnika  $Q_{10}$ . Opierając się na modelu *Arrheniusa* można nie tylko wykorzystywać wyniki uzyskane w wyższych temperaturach do przewidywania stabilności składników antyoksydacyjnych w mrożonych truskawkach przechowywanych w temperaturach odpowiednio niższych, można również prognozować stan tego wyróżnika jakości w warunkach fluktuacji temperatury [Danek, 1982; Horubała, 1975].

### Wnioski

1. Badane składniki antyoksydacyjne wykazywały różną stabilność podczas przechowywania zamrożonych owoców. Wyznaczone parametry kinetyczne wskazują, że w przechowywanych mrożonych truskawkach antocyjany charakteryzowały się mniejszą stabilnością niż witamina C.
2. Procesy destrukcji antocyjanów i witaminy C w analizowanych mrożonych owocach najszybciej przebiegały w warunkach fluktuacji temperatury, a najwolniej w temperaturze stałej -25°C.
3. Zastosowanie w technologii zamrażalniczej niższych temperatur przechowywania zamrożonych truskawek powoduje znaczne zwiększenie stabilności składników antyoksydacyjnych w tych owocach.

### LITERATURA

- Danek A., 1982. *Chemia fizyczna*. PZWL, Warszawa
- Horubała A., 1975. *Podstawy przechowywalności żywności*. PWN, Warszawa
- Kondratowicz E., 1988. *Kinetyczna ważkość cechy*. Materiały konferencji Naukowej PTT, Zmiany jakości produktów rynkowych w sferze poprodukcyjnej. Trzemeszno, 11-12 listopada 1988
- Krala L., Witkowska M., 2005. Kinetyka degradacji witaminy C w warzywach kapustnych. *Przem. Ferm. Owoc.-Warz.*, 49, nr 12, 30-32
- Kramer A., Bender F.E., Sirivichaya S., 1982. A general theory on rate of quality loss in foods. *Int. J. Refrig.*, 5, nr 2, 207-214. DOI: 10.1016/0140-7007(80)90126-7
- Labuza T.P., 1979. A theoretical comparison of losses in foods under fluctuating temperature sequences. *J. Food Sci.*, 44, nr 4, 1162-1168. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1979.tb03472.x
- Labuza T.P., 1985. *An integrated approach to food chemistry: illustrative cases*. [w:] Fennema (ed.), *Food Chemistry*, Marcel Dekker, New York, 913-938
- Łomnicki A., 1999. *Wprowadzenie do statystyki dla przyrodników*. PWN, Warszawa
- Michałowski S., 1995. *Technologia chłodnictwa żywności. Składniki pokarmowe i kontrola ich przemian*. Wyd. Pol. Łódzkiej, Łódź
- PN-A-04019:1998 – *Produkty spożywcze. Oznaczanie zawartości witaminy C*
- Pukszta T., 2012. *Kinetyka degradacji witaminy C w mrożonych warzywach*. [w:] *Wybrane aspekty oceny jakości*. Wyd. Pol. Radomskiej, Radom, 175-183
- Saluk-Juszczak J., 2010. Antocyjany jako składnik żywności funkcjonalnej stosowanej w profilaktyce chorób układu krążenia. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 64, 451-458. (01.2013): <http://www.phmd.pl/fulltxt.php?ICID=920474>
- Stokłosa K., Sybistowicz D., Kondratowicz E., 1985. *Kinetyka kwalitonomiczna. Kinetyka zmian cech jakości towarów*. Wyd. Akademii Ekonomicznej, Kraków