



<http://uard.bg>

## New Knowledge Journal of Science

### Списание за наука „Ново знание“

Academic Publishing House - "Talent"  
University of Agribusiness and Rural Development - Bulgaria

Академично издателство „Талант“  
Висше училище по агробизнес и развитие на регионите - Пловдив

## TEXTURE ANALYSIS OF EXTRUDED APPLE POMACE AND WHEAT SEMOLINA BLENDS

Ivan Bakalov, Todorka Petrova, Milena Ruskova, Gabor Zsivanovits, Nikolay Penov

Food Research and Development Institute - Plovdiv

#### Key words:

extrusion  
apple pomace  
texture analysis

#### Abstract

Apple pomace - wheat semolina blends were extruded in a laboratory single screw extruder (Brabender 20 DN, Germany). Effects apple pomace content, moisture content, screw speed, and temperature of final cooking zone on texture of extrudates were studied applying response surface methodology. The texture characteristics of the extrudates were measured using a TA.XT Plus Texture Analyser, Stable Micro Systems.

## ТЕКСТУРЕН АНАЛИЗ НА ЕКСТРУДИРАНИ СМЕСИ ОТ ЯБЪЛКОВИ ПРЕСОВКИ И ПШЕНИЧЕН ГРИС

Иван Бакалов, Тодорка Петрова, Милена Рускова, Габор Живанович, Николай Пенев

Институт за изследване и развитие на храните - Пловдив

#### Ключови думи:

екструзия  
ябълкови пресовки  
текстурен анализ

#### Резюме

Смеси от ябълкови пресовки и пшеничен грис са екструдирани на едношнеков лабораторен екструдер (BRABENDER 20 DN-Германия). Изследвано е влиянието на съдържанието на ябълкови пресовки в сместа, влажността, честотата на въртене на шнека и температурата на матрицата върху текстурата на получените екструдати, като е приложен методът на повърхността на отражението. За анализиране текстурата на екструдатите се използва TA.XT Plus Texture Analyser, Stable Micro Systems.

#### ВЪВЕДЕНИЕ

Екструзията е съвременен, високоефективен, с доказани технически и икономически предимства метод за обработка на суровини. Това е високотемпературен кратковременен процес (HTST), при който от селскостопанските суровини, обикновено в гранулирана форма или под формата на прах, се получават готови за консумация хранителни продукти. Използва се за производството на различни продукти, вариращи от снаксове до аналози на месото (Пенов и Петрова, 2014).

Текстурата е един от основните показатели, определящи качеството на хранителните продукти, която оказва влияние на продължителността на съхранение, процесите на манипулация и преработка и възприемането на храните от консуматора.

Текстурните свойства на продукта могат да бъдат свързани с някои негови сензорни качества (Szczesniak, 2002). Установена е корелация между получените текстурни данни и сензорните характеристики на екструдирани продукти (Bouvier *et al.*, 1997; Desrumaux *et al.*, 1999; Van Hecke *et al.*, 1998).

За анализ на текстурните характеристики на екструдираните продукти най-често се прилага пенетрометричният тест, като болшинството от изследователите използват Stable Micro Systems Texture Analyser, в различни модификации (Altan *et al.*, 2008; Carvalho *et al.*, 2010; Chakraborty *et al.*, 2011; Charunuch *et al.*, 2008; Dehghan-Shoar *et al.*, 2010; Ding *et al.*, 2005, 2006; Ibanoglu *et al.*, 2006; Meng *et al.*, 2010; Rueda *et al.*, 2004), прилагайки различни методики. Измервателните крайници (сонди), използвани от авторските колективи за определяне на текстурните характеристики на екструдатите, са: цилиндри (Ding *et al.*, 2005, 2006), сонди с остър връх под формата на нож (Altan *et al.*, 2008; Chakraborty *et al.*, 2011; Rueda *et al.*, 2004), в това число и Kramer shear cell (Dehghan-Shoar *et al.*, 2010; Meng *et al.*, 2010; Симитчиев, 2013). Получената при теста крива се записва и анализира с помощта на софтуерна програма (Texture Exponent 32).

**Целта на настоящето изследване е да се установи влиянието на независимите променливи (съдържание на ябълкови пресовки, влажност, честота на въртене на шнека и температура на матрицата) на процеса екструдирание върху текстурата на екструдати от ябълкови пресовки и пшеничен грис.**

## МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

### 1. Ябълкови пресовки

Ябълковите пресовки (сорт Грени Смит) са страничен продукт, получен при производството на сок. Изсушават се на лабораторен стенд при температура 60°C и се смилат в чукова мелница. Смлените ябълкови пресовки се смесват с пшеничен грис в различни съотношения и се добавя вода за постигане желаната влажност на пробите (Таблица 1). След добавяне на необходимото количество вода пробите се хомогенизират и се поставят в полиетиленови пликове за съхранение в хладилни условия при 5°C за 12 h. Пробите се темперират за 2 h при стайна температура преди екстудирание.

### 2. Екстудирание

Смеси от ябълкови пресовки и пшеничен грис се екстудират на едношнеков лабораторен екструдер BRABENDER 20 DN (Германия). По време на опитите честотата на въртене на дозирация шнек се фиксира на 70 min<sup>-1</sup>. Температурите на първа и втора зона са фиксирани съответно на 150 и 160°C. Температурата на матрицата и честотата на въртене на пресуващия шнек варират в зависимост от плана на експеримента (Таблица 1). Степента на компресия на шнека е 3:1. Отворът на дюзата на матрицата е кръгъл с диаметър 5 mm.

### 3. Текстурен анализ

За анализиране текстурата на екструдатите от ябълкови пресовки и пшеничен грис се използва TA.XT Plus Texture Analyser, Stable Micro Systems.

като са използвани 50 kg натоварваща клетка и 2-bladed Kramer shear cell (разстояние 10 mm, скорост 1.0 mm/s). Получената при теста крива се анализира, като се изчислява площта (Area, N.mm), заключена под нея, която характеризира енергията, необходима за натрошаване на екструдата.

Проведени са минимум десет измервания на всяка проба.

### 4. Планиране на експеримента

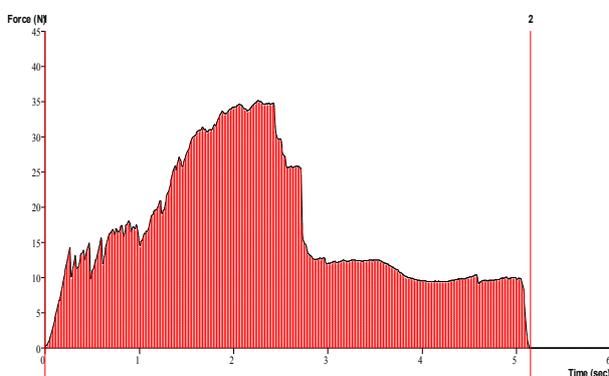
За определяне влиянието на независимите променливи на процеса: съдържание на ябълкови пресовки в сместа (C<sub>пом</sub>, %) – X<sub>1</sub>, влажност на материала (W, %) – X<sub>2</sub>, честота на въртене на шнека (n, min<sup>-1</sup>) – X<sub>3</sub> и температура на матрицата (T<sub>m</sub>, °C) – X<sub>4</sub> върху текстурата на екструдатите (отклик, y) е приложен методът на повърхността на отражението, като е използван ротатобелен централен композиционен план (Ламбрев, 1994). Регресионният модел е от вида:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} x_i x_j \quad (1)$$

където b<sub>0</sub>, b<sub>i</sub>, b<sub>ii</sub> и b<sub>ij</sub> са коефициенти на уравнението.

## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Типична крива, получена по време на тестването на екструдатите от ябълкови пресовки и пшеничен грис с TA.XT Plus Texture Analyser, е показана на фиг. 1.



**Фиг. 1. Типична крива, получена по време на тестването на екструдатите с TA.XT Plus Texture Analyser**

В Таблица 2 са представени средните стойности за енергията, необходима за натрошаване на екструдатите от ябълкови пресовки и пшеничен грис. Резултатите от статистическия анализ на вариантите (ANOVA-теста) показват, че четири от ефектите са статистически различни от нула (P<0.05) при 95 % доверителен интервал (Таблица 3). Коефициентът на множествена корелация е 0,80. Стандартната грешка на оценката е 135, а средната абсолютна грешка е 75.

След игнориране на незначимите ефекти е получен следният регресионен модел:

$$Area = - 6902,82 + 98,35.C_{ром} - 0,16.C_{ром}^2 - 1,36.C_{ром}.W - 0,08.n^2, N.mm \quad (2)$$

На фиг. 2 е дадена диаграма за разпределението на остатъчните величини на регресионния модел, от която се вижда, че то е равномерно разпределено около нулата и няма стойности, които да надвишават два пъти стойността на стандартната грешка.

Основните ефекти, линейни, квадратични и междуфакторни, са обобщени и оценките им са представени на стандартизирана диаграма - диаграма на Парето (фиг.3). Тя се състои от хоризонтални блокове с дължини, пропорционални

на абсолютните стойности на оценените ефекти, разделени на техните стандартни грешки. Схемата включва една вертикална линия на критичната стойност на Стюдънт за ниво на доверие 95%. Линейният ефект на съдържанието на ябълкови пресовки в материала има най-голямо влияние върху енергията, необходима за натрошаване на екструдатите, следван от квадратичния ефект на честотата на въртене на шнека на екструдера. Влиянието на условията на екструдирание върху текстурата на екструдатите, изразена чрез необходимата енергия за тяхното натрошаване е показано на фиг. 4 и 5.

**Таблица 1. Нива на вариране и наименования на независимите променливи**

Независими променливи	Нива				
	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2
Съдържание на ябълкови пресовки ( $C_{ром}$ ), % - $X_1$	10	30	50	70	90
Влажност на материала (W), % - $X_2$	17	20	23	26	29
Честота на въртене на шнека (n), $min^{-1}$ - $X_3$	120	150	180	210	240
Температура на матрицата (Tm), °C - $X_4$	130	140	150	160	170

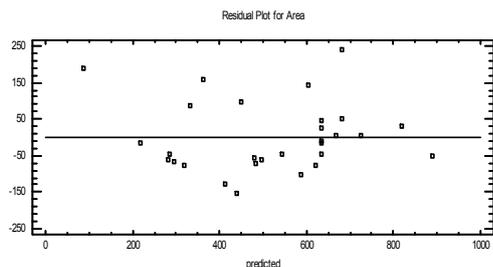
**Таблица 2. Средни стойности за енергията, необходима за натрошаване на екструдатите**

№	Area, N.mm	№	Area, N.mm	№	Area, N.mm
1	226,96	11	285,24	21	517,95
2	839,92	12	438,24	22	420,83
3	238,85	13	201,71	23	747,42
4	481,82	14	501,12	24	549,88
5	221,01	15	411,03	25	587,37
6	851,58	16	427,08	26	679,86
7	284,92	17	277,31	27	624,83
8	547,25	18	733,49	28	660,50
9	236,68	19	727,22	29	616,82
10	674,70	20	923,45		

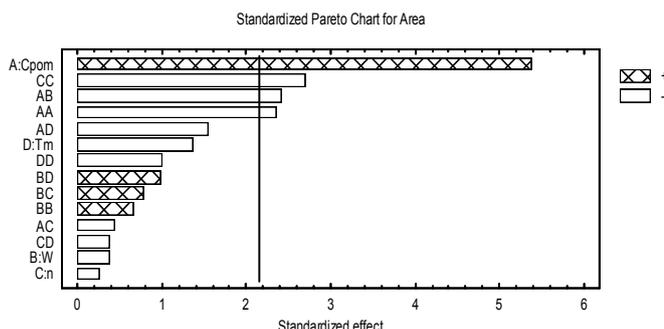
**Таблица 3. Регресионни коефициенти и статистически анализ на вариантите**

	Регресионни коефициенти	Сума от квадратите	F-стойност	P-стойност
constant	-6902,82			
A: $C_{ром}$	98,3477	530345,	28,96	0,0001*
B:W	-244,681	2537,72	0,14	0,7153
C:n	29,3958	1217,66	0,07	0,8003
D:Tm	72,0808	34624,8	1,89	0,1908
AA	-0,156521	101703,	5,55	0,0336*
AB	-1,36105	106702,	5,83	0,0301*
AC	-0,0248531	3557,82	0,19	0,6661
AD	-0,263234	44347,1	2,42	0,1420
BB	1,93059	7833,08	0,43	0,5237
BC	0,297896	11501,0	0,63	0,4413
BD	1,11252	17822,9	0,97	0,3407
CC	-0,0795678	133054,	7,26	0,0174*
CD	-0,0439854	2785,99	0,15	0,7024
DD	-0,26796	18629,8	1,02	0,3303

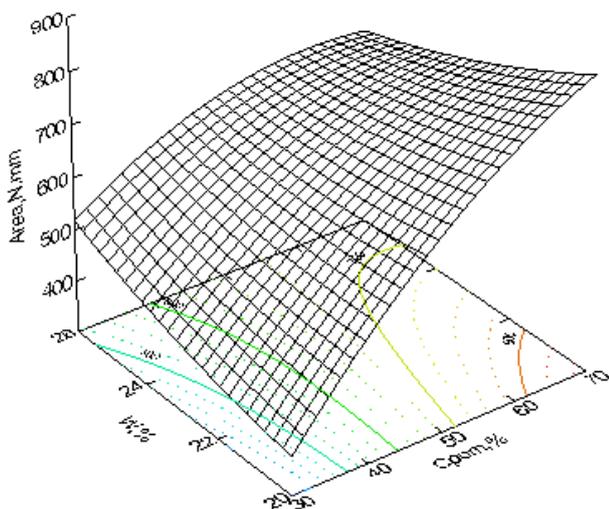
\*Значими коефициенти на регресия при  $P < 0.05$



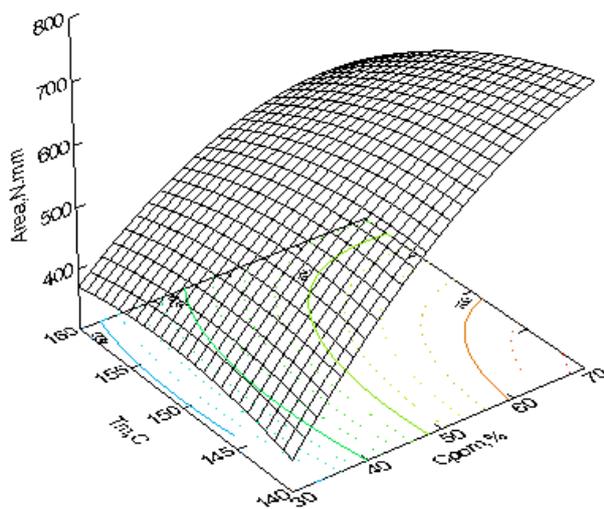
**Фиг. 2. Диаграма на разпределението на остатъчните величини на регресионния модел за енергията, необходима за натрошаване на екструдатите**



**Фиг. 3. Диаграма на Парето за коефициентите на регресионния модел за енергията, необходима за натрошаване на екструдатите**



**Фиг. 4. Промяна на текстурата на екструдатите в зависимост от W (%) и C<sub>пот</sub> (%) при T<sub>m</sub> = 150°C и n = 180 min<sup>-1</sup>**



**Фиг. 5. Промяна на текстурата на екструдатите в зависимост от T<sub>m</sub> (°C) и C<sub>пот</sub> (%) при W = 23% и n = 180 min<sup>-1</sup>**

От таблица 2 се вижда, че стойностите за енергията, необходима за натрошаване на екструдатите от ябълкови пресовки и пшеничен грис, са в границите от 201 до 923 N.mm. Най-ниската стойност е получена при 20% влажност на материала, 30% съдържание на ябълкови пресовки в него и стойности на останалите параметри в горните им нива, а най-високата – при влажност на материала 29% и стойности на останалите параметри в центъра на експеримента. Стойностите за енергията, необходима за натрошаване на екструдатите, нараства с 21% при увеличаване на влагосъдържанието от 17 на 29% при равни други условия. Получените резултати следват тенденцията, установена от редица учени (Barret & Peleg, 1992; Carvalho & Mitchell, 2000; Ding *et al.*, 2005; Robin *et al.*, 2010), според които по-високата влага увеличава механичната устойчивост на клетъчните стени. От друга страна е известно, че деполимеризацията на скорбялата е причина за намаляване на устойчивостта на екструдирани продукти. Следователно увеличаването на влагата

спомога за по-голяма пластификация, което намалява степента на деполимеризация на скорбялата в сравнение с по-ниските влаги и увеличава механичната устойчивост на екструдатите. Ding *et al.* (2005) изследват влиянието на условията на екструдиране на експандирана закуска от ориз и установяват, че при промяна влагосъдържанието на подаваната суровина от 14 до 22%, температура на матрицата от 100 до 140°C и скорост на шнека от 180 до 320 min<sup>-1</sup> с увеличаване на влагосъдържанието на суровината се получават екструдати с по-висока плътност, следователно с по-ниска експанзия и с по-висока твърдост. С увеличаване на температурата от 130 на 170°C, при равни други условия стойностите за енергията, необходима за натрошаване на екструдатите, намалява с 26%. Подобна тенденция е установена от Ding *et al.* (2006). Увеличаването на температурата на цилиндъра увеличава степента на прегряване на водата в екструдирания материал, способстващо образуването на мехурчета,

увеличавайки експанзията и намалявайки плътността, което води до получаване на екструдат с по-малка твърдост.

Увеличаването на оборотите на шнека от 120 на 240 min<sup>-1</sup> при равни други условия води до намаляване с 19% на стойностите на енергията, необходима за натрошаване получените екструдати (Таблица 2), което е в съответствие с резултатите, получени от Ding *et al.* (2006).

От фиг. 4 и 5 се вижда, че високото съдържание на ябълкови пресовки в сместа води до повишаване стойностите на енергията, необходима за натрошаване получените при дадените условия екструдати. Подобни резултати са съобщени от Barret & Peleg (1992), според които средната сила за натрошаване на екструдатите е значително увеличена в присъствието на ябълкови пресовки. Нарастване силите на натрошаване обикновено е структурна причина (по-малки клетки с по-дебели стени), но съставът на пробата също може да повлияе върху здравината на клетъчните стени и то в по-голяма степен от влиянието на структурата.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стойностите за енергията, необходима за натрошаване на екструдатите от ябълкови пресовки и пшеничен грис, са в границите от 201 до 923 N.mm.

Линейният ефект на съдържанието на ябълкови пресовки в материала има най-голямо влияние върху енергията, необходима за натрошаване на екструдатите, следван от квадратичния ефект на честотата на въртене на шнека на екструдера.

#### Литература

1. Ламбрев Ат. (1994). Основи на инженерния експеримент при изследване на машини и апарати за хранително-вкусовата промишленост, Пловдив, с. 214.
2. Пенев Н., Т. Петрова (2014). Екструзия – технология за производство на хранителни продукти, ISBN 978-954-24-0255-8, Академично издателство на УХТ - Пловдив, с. 247.
3. Симитчиев А. (2013). Изследване на избрани процесни променливи при екструдирание на царевични и пшенични коекструдати, Дисертация, УХТ – Пловдив.
4. Altan A., K. McCarthy, M. Maskan (2008). Twin-Screw Extrusion of Barley-Grape Pomace Blends: Extrudate Characteristics and Determination of Optimum Processing Conditions, *Journal of Food Engineering*, 89, p. 24-32.
5. Barrett A., M. Peleg (1992). Extrudate Cell Structure-Texture Relationships, *Journal of Food Science*, 57 (5), p. 1253-1257.
6. Bouvier J., R. Bonneville, A. Goullieux (1997). Instrumental Methods for the Measurement of Extrudate Crispness. *Agro-Food Industry Hi-Tech*, 8, p. 16-19.

7. Carvalho C., C. Takeiti, C. Onwulata, L. Pordesimo (2010). Relative Effect of Particle Size on the Physical Properties of Corn Meal Extrudates: Effect of Particle Size on the Extrusion of Corn Meal. *Journal of Food Engineering*, 98, p. 103-109.
8. Carvalho C., J. Mitchell (2000). Effect of sugar on the extrusion of maize grits and wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 35 (6), p. 569-576.
9. Chakraborty S., D. Singh, B. Kumbhar, S. Chakraborty (2011). Millet - Legume Blended Extrudates Characteristics and Process Optimization using RSM. *Food and Bioproducts Processing*, 89 (4), p. 492-499.
10. Charunuch C., P. Tangkanakul, S. Rungchang, V. Sonted (2008). Application of Mulberry (*Morus alba* L.) for Supplementing Antioxidant Activity in Extruded Thai Rice Snack. *Kasetsart Journal : Natural Science*, 42 (1), p. 79-87.
11. Dehghan-Shoar Z., A. Hardacre, C. Brennan (2010). The Physico - Chemical Characteristics of Extruded Snacks Enriched with Tomato Lycopene. *Food Chemistry*, 123, p. 1117-1122.
12. Desrumaux A., J. Bouvier, J. Burri (1999). Effect of Free Fatty Acids Addition on Corn Grits Extrusion Cooking. *Cereal Chemistry*, 76, p. 699-704.
13. Ding Q., P. Ainsworth, A. Plunkett, G. Tucker, H. Marson (2006). The Effect of Extrusion Conditions on the Functional and Physical Properties of Wheat - Based Expanded Snacks, *Journal of Food Engineering*, 73, p. 142-148.
14. Ding Q., P. Ainsworth, G. Tucker, H. Marson (2005). The Effect of Extrusion Conditions on the Physicochemical Properties and Sensory Characteristics of Rice - Based Expanded Snacks. *Journal of Food Engineering*, 66 (3), p. 283-289.
15. Ibanoglu S., P. Ainsworth, E. Özer, A. Plunkett (2006). Physical and Sensory Evaluation of a Nutritionally Balanced Gluten - Free Extruded Snack. *Journal of Food Engineering*, 75, p. 469-472.
16. Meng X., D. Threinen, M. Hansen, D. Driedger (2010). Effects of Extrusion Conditions on System Parameters and Physical Properties of a Chickpea Flour - Based Snack. *Food Research International*, 43, p. 650-658.
17. Robin F., J. Engmann, N. Pineau, H. Chanvrier, N. Bovet, G. Della Valle (2010). Extrusion, structure and mechanical properties of complex starchy foams. *Journal of Food Engineering*, 98 (1), p. 19-27.
18. Rueda J., Y. Kil-Chang, F. Martínez-Bustos (2004). Functional Characteristics of Texturized Defatted Soy Flour. *Agrociencia*, 38 (1), p. 63-73.
19. Szczesniak A. (2002). Texture is a Sensory Property. *Food Quality and Preference*, 13, p. 215-225.
20. Van Hecke E., K. Allaf, J. Bouvier (1998). Texture and Structure of Crispy - Puffed Food Products. Part II: Mechanical Properties in Puncture. *Journal of Texture Studies*, 29, p. 617-632.