

JOANNA GLAZOWSKA, URSZULA STANKIEWICZ, ROBERT TYLINGO,
AGNIESZKA BARTOSZEK

KWASY NUKLEINOWE W ŻYWNOSCI – WYSTĘPOWANIE I WŁAŚCIWOŚCI REOLOGICZNE

Streszczenie

W naukach o żywieniu kwasy nukleinowe uznawane były dotychczas za mało istotny składnik żywności. Ich właściwości odżywcze nie są uwzględniane przy formułowaniu zaleceń żywieniowych, mimo że należą do podstawowych składników żywności, zwłaszcza surowej lub nisko przetworzonej. Są one obecne głównie w szybko rosnących komórkach tkanek oraz tych, które zachowały zdolność do wzrostu i regeneracji. W niniejszej pracy przedstawiono dane literaturowe dotyczące zawartości kwasów nukleinowych w poszczególnych wybranych surowcach i produktach żywnościowych wraz z uwzględnieniem stosowanej metody ekstrakcji oraz rodzaju kwasu nukleinowego. Zawartość DNA w wybranych tkankach zwierzęcych może wynosić do 100 mg/g s.m., natomiast zawartość RNA może osiągać do 87 mg/g s.m. produktu. W komórkach kwasy nukleinowe występują głównie w postaci związanej z białkami. Stwierdzono, że nie ulegają one całkowitej degradacji w wyniku zastosowania obróbki kulinarnej, w tym obróbki termicznej. W przeciwieństwie do białek nie ulegają całkowitej denaturacji, a tym samym zachowują one częściowo swoje właściwości strukturalne oraz funkcjonalne. Ze względu na dużą masę cząsteczkową oraz właściwości hydrofilowe makromolekuły kwasów nukleinowych mogą kształtować produkty żywnościowe pod względem strukturalnym, reologicznym i sensorycznym, są zatem istotne z punktu widzenia technologii przetwarzania żywności. W pracy omówiono właściwości reologiczne kwasów nukleinowych jako makromolekuł występujących obok białek i polisacharydów w surowcach oraz produktach żywnościowych.

Słowa kluczowe: kwasy nukleinowe, żywność, właściwości reologiczne, właściwości sensoryczne

Wprowadzenie

Kwasy nukleinowe, czyli DNA i różne klasy RNA, obecne są w każdej żywej komórce zwierzęcej i roślinnej. Stanowią podstawowy nośnik informacji genetycznej,

Mgr inż. J. Glazowska, inż. U. Stankiewicz, dr inż. R. Tybingo, dr hab. inż. A. Bartoszek, prof. nadzw., Katedra Chemii, Technologii i Biotechnologii Żywności, Wydz. Chemiczny, Politechnika Gdańska, ul G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk. Kontakt: glazowska.joanna@gmail.com

powielanej i przekazywanej komórkom potomnym, a także informacji epigenetycznej regulującej funkcjonowanie genomu poprzez wpływ m.in. na strukturę chromatyny. DNA jest przede wszystkim podstawowym źródłem informacji o budowie białek i niekodujących RNA (ncRNA), zapewniających prawidłowe funkcjonowanie komórek i całego organizmu. Zestawienie licznych form kwasów nukleinowych oraz ich funkcji w organizmach eukariotycznych przedstawiono w tab. 1.

W naukach o żywieniu kwasy nukleinowe uznawane były do tej pory za składnik mało istotny, a ich właściwości pomijano. Ta ocena wynikała z szacunków wskazujących, że tylko około 5 % kwasów nukleinowych wykorzystywanych jest ponownie przez organizm do syntezy kwasów nukleinowych. W większości są one trawione w układzie pokarmowym i wchłaniane przede wszystkim w postaci nukleozydów. Obecnie kwasy nukleinowe są przedmiotem zainteresowania, a przemiany jakim ulegają podczas przemysłowej produkcji żywności, obróbki kulinarnej czy trawienia w przewodzie pokarmowym zaczynają być postrzegane jako istotne zarówno dla technologii żywności, jak i nutrigenomiki [9].

Zawartość kwasów nukleinowych w wybranych surowcach i produktach żywnościowych

Zgodnie z obecnymi poglądami, kwasy nukleinowe są obecne w żywności głównie w formie nukleoprotein. Występują przede wszystkim w produktach spożywczych zawierających struktury komórkowe: DNA głównie w jądrach komórkowych, a RNA – w cytoplazmie. Szczególnie bogate w oba rodzaje kwasów nukleinowych są tkanki szybko rosnące lub te, które zachowały potencjał do wzrostu i regeneracji, takie jak: surowe mięso (mięśnie), owoce morza, warzywa strączkowe oraz grzyby. Mniejszą zawartość kwasów nukleinowych wykrywa się w podrobach. Dane te trzeba oceniać ostrożnie, gdyż mało jest doniesień literaturowych na temat zawartości kwasów nukleinowych w żywności. Co więcej, informacje te pochodzą z publikacji dotyczących badań żywności genetycznie zmodyfikowanej lub z artykułów datowanych na początek XXI w. lub starszych. W polskiej literaturze pierwsze wzmianki na wymieniony temat dotyczą obecności kwasów nukleinowych w mleku krowim. Badania te były skoncentrowane na wykrywaniu zapalenia wymienia krów mlecznych właśnie na podstawie zawartości kwasów nukleinowych w ich mleku oraz we krwi [37]. Dane dotyczące określania zawartości kwasów nukleinowych w żywności nie są dostatecznie szczegółowe i można zauważyć, że występują znaczne rozbieżności między źródłami. Jak podają Adjei i wsp. [1], szczególnie bogate w kwasy nukleinowe jest mięso wołowe, wieprzowe, jagnięce, drobiowe oraz wątroby, ekstrakty mięsne i ryby, takie jak makrele oraz sardynki ($1,5 \div 8$ mg/g). Pozostałe ryby oraz owoce morza a także fasola, groch, soczewica i grzyby zawierają średnie ilości kwasów nukleinowych ($0,5 \div 1,5$ mg/g).

Tabela 1. Formy i funkcje kwasów nukleinowych w organizmach eukariotycznych

Table 1. Forms and functions of nucleic acids in eukaryotic organisms

Rodzaj kwasów nukleinowych Type of nucleic acid	Nazwa Name	Skrót Abbreviation	Funkcja Function	Długość Length [pz / bp]	Ref.
DNA występujące w komórce, stanowiące materiał genetyczny DNA present in cell, constituting genetic material	DNA genomowy Genomic DNA	nDNA	Nośnik dziedzicznej informacji genetycznej The inherited genetic information carrier	3 300 551 249	[5]
	DNA mitochondrialny Mitochondrial DNA	mtDNA	Nośnik dziedzicznej informacji genetycznej obecny w mitochondriach The inherited genetic information carrier in mitochondria	16 569	[33]
	DNA chloroplastowy Chloroplast DNA	ctDNA	Nośnik dziedzicznej informacji genetycznej obecny w chloroplastach The inherited genetic information carrier in chloroplasts	120 000 ÷ 170 000	[10]
RNA związane z syntezą białek RNA associated with synthesis of proteins	Informacyjny RNA Messenger RNA	mRNA	Stanowi matrycę w procesie syntezy białek The matrix in protein synthesis	1 400 ± 2 000	[30]
	Rybosomalny RNA Ribosomal RNA	rRNA	Wchodzi w skład rybosomów, w których także pełni funkcje strukturalne i katalityczne podczas translacji Part of the ribosome, where it has structural and catalytic functions during translation	<i>Homo sapiens</i> : Większa podjednostka Large subunit 60S (5S: 121 ¹ ; 5,8S 156 ² ; 28S 5070 ³), Mniejsza podjednostka Small subunit 40S (18S: 1869 ⁴)	[¹ 25; ² 26; ³ 27; ⁴ 28]
	Nukleoproteina rozpoznająca sygnał SRP Signal Recognizing Nucleoprotein	srpRNA	Fragment kompleksu rybonukleoproteinowego pełniącego funkcję w rozpoznawaniu i przekazywaniu sygnałów wewnątrz komórki Ribonucleoprotein complex fragment acting as the recognition and transfer of signals within the cell	7S RNA	[3]
	Transportujący RNA Transfer RNA	tRNA	Bierze udział w translacji dostarczając odpowiednie aminokwasy do rybosomu Participates in translation	76 ÷ 90	[29]

			providing the appropriate amino acids to the ribosome		
RNA biorące udział w potranskrypcyjnych modyfikacjach lub replikacji DNA RNA involved in post-transcriptional modifications or DNA replication	Mały jądrowy RNA Small nuclear RNA	snRNA	Bierze udział w usuwaniu intronów i łączeniu eksonów podczas dojrzewania mRNA Takes part in removing introns and in linking exons during maturation of mRNA	b.d. n.d.	[34]
	Mały jąderkowy RNA Small nucleolar RNA	snoRNA	Potranskrypcyjnie modyfikuje nukleotydy w ncRNA – bierze udział w dojrzewaniu ncRNA Post-transcriptionally modifies ncRNA nucleotides – involved in maturation of ncRNA	b.d. n.d.	[14]
	b.d. n.d.	Y RNA	Bierze udział w replikacji DNA oraz przemianach RNA / Participates in replication of DNA and transformations of RNA	70 ÷ 115	[21]
RNA regulatorowe Regulatory RNA	Antysensowny RNA Anti-sense RNA	aRNA asRNA	Pełni funkcje regulatorowe poprzez tłumienie transkrypcji, degradację nadmiarowego mRNA, stabilizację wykorzystywanego translacyjnie mRNA, a także poprzez blokowanie translacji Plays a regulatory role through suppressing transcription, degradation of excess mRNA, stabilization of translational mRNA, and through blocking translation	35 ÷ 150	[4]
	Długi niekodujący RNA Long non-coding RNA	lnRNA	Pełni funkcje w regulacji transkrypcji genów oraz regulacji epigenetycznej Plays a role in regulating gene expression and in epigenetic regulation	>200	[24]
	MicroRNA	miRNA	Pełni funkcje w regulacji ekspresji genów poprzez blokowanie translacji lub stymulację degradacji mRNA / Plays a role in regulating gene expression through blocking of translation or stimulating mRNA degradation	21 ÷ 24	[17]
	piwiRNA	piRNA	Pełni istotną funkcję	26 ÷ 32	[6]

	Piwi-interacting RNA		w regulacji ekspresji genów podczas rozwoju zarodkowego oraz w spermatogenezie Plays an important role in regulating gene expression during embryonic development and spermatogenesis		
	Mały interferencyjny RNA Small interfering RNA	siRNA	Wiąże specyficzne geny na zasadzie komplementarności Binds specific genes on the basis of complementarity	21 ÷ 26	[23]

Objaśnienie / Explanatory note:

b.d. – brak danych / n.d. – no data

Inne warzywa, w tym ziemniaki, a także owoce i zboża oraz nabiał, w tym jaja, sery i mleko krowie charakteryzują się znacznie niższym poziomem kwasów nukleinowych mierzonym zawartością puryn – do 0,2 mg/g produktu. Najmniej kwasów nukleinowych stwierdzono w tkance sercowej zwierząt rzeźnych [13]. Kwasy nukleinowe występują w formie DNA i RNA, jednak ich ilość wyrażana jest głównie jako zawartość puryn w badanym surowcu, chociaż makromolekuły te zawierają zarówno puryny, jak i pirymidyny. W dietetyce znajomość zawartości puryn służy profilaktyce i leczeniu dny [13]. W starszych publikacjach, np. Imafidon i wsp. [11], wyrażana jest zawartość kwasów nukleinowych, jako stężenie azotu pochodzącego z tych kwasów (ang. *nucleic acid nitrogen*, NAN). W tym przypadku największą zawartość kwasów nukleinowych oznaczono w roślinach liściastych: w sałacie (0,728 mg/g) i w kapuście (0,654 mg/g), natomiast najmniej badanych makromolekuł zawierał nabiał: mleko (0,151 mg/g), ser (0,108 mg/g) i jaja (0,050 mg/g). Znaczne ilości NAN oznaczono również w mięsie. Nie są to jednak, w przeciwieństwie do wcześniej przedstawionych danych, zawartości przeważające w stosunku do pozostałych wymienionych wyżej produktów żywnościowych, szczególnie roślin strączkowych (tab. 2).

Sposób, w jaki w przypadku NAN określono zawartość kwasów nukleinowych w produktach żywnościowych, polegał na spektrofotometrycznym pomiarze po wydzieleniu ich z innych składników matrycy [11]. W celu określenia zawartości NAN w próbkach dokonano denaturacji białek za pomocą zimnego 10-procentowego (m/v) roztworu kwasu trichlorooctowego (TCA). Próbkę następnie odwirowano, utrzymując temp. 0 °C. Powstały osad zdekantowano, a następnie dwukrotnie przepłukano gorącym etanolem w celu pozbycia się zanieczyszczeń absorbujących w zakresie UV $\lambda = 200 \div 300$ nm. W celu zhydrolizowania obecnych w osadzie kwasów

Tabela 2. Zawartość azotu pochodzącego z kwasów nukleinowych (NAN) oraz puryn w wybranych produktach żywnościowych

Table 2. Content of nucleic acid nitrogen (NAN) and purines in selected food products

Produkt żywnościowy Food product		Zawartość NAN NAN content [mg/g]	Zawartość puryn Purines content [mg/g]	Ref.
Kategoria Category	Produkt Product			
Produkty mięsne Meat products	Drób / Chicken	0,558	1,5 ÷ 8,0	[1, 11]
	Wołowina / Beef	0,439	1,5 ÷ 8,0	[1, 11]
	Wieprzowina / Pork	b.d. / n.d.	1,5 ÷ 8,0	[1]
	Jagnięcina / Lamb	b.d. / n.d.	1,5 ÷ 8,0	[1]
	Ryba / Fish	0,347	0,5 ÷ 8,0	[1, 11]
Nabiał i surowe jaja Dairy and raw eggs	Mleko / Milk	0,151	< 0,2	[11]
	Ser / Cheese	0,108	< 0,2	[1, 11]
	Jajo / Egg	0,050	< 0,2	[1, 11]
	Kazeina / Casein	0,130	b.d. / n.d.	[11]
Zboża i rośliny strączkowe Cereals and legumes	Ryż / Rice	0,221	b.d. / n.d.	[11]
	Kukurydza / Corn	0,332	b.d. / n.d.	[11]
	Sorgo / Sorghum	0,423	< 0,2	[1, 11]
	Pszemica / Wheat	0,403	< 0,2	[1, 11]
	Fasola / Bean	b.d. / n.d.	0,5 ÷ 1,5	[1]
	Soczewica / Lentil	b.d. / n.d.	0,5 ÷ 1,5	[1]
	Groszek polny Field pea	0,507	0,5 ÷ 1,5	[1, 11]
Warzywa liściaste Leafy vegetables	Salata / Lettuce	0,728	b.d. / n.d.	[11]
	Kapusta / Cabbage	0,654	b.d. / n.d.	[11]
Korzenie i bulwy Roots and tubers	Marchew / Carrot	0,426	< 0,2	[1, 11]
	Burak / Beetroot	0,551	< 0,2	[1, 11]
	Ziemiak / Potato	0,252	< 0,2	[1, 11]
Owoce Fruits	Jabłko / Apple	0,201	< 0,2	[1, 11]
	Banan / Banana	0,506	< 0,2	[1, 11]
	Pomidor / Tomato	0,278	< 0,2	[1, 11]

Objaśnienie / Explanatory note:

b.d. – brak danych / n.d. – no data

Tabela 3. Zawartość DNA i RNA w wybranych produktach żywnościowych

Table 3. Contents of DNA and RNA in selected food products

Produkt żywnościowy Food product			Zawartość RNA [mg/g s.m.] RNA content [mg/g d.m.]	Zawartość DNA [mg/g s.m.] DNA content [mg/g d.m.]
Kategoria Category	Produkt Product	Część składowa surowca lub sposób przetworzenia Component of raw material or processing method		
Mięso Meat	Cielęcina / Calf	Wątroba / Liver	22,9	17,3
	Wołowina Beef	Wątroba / Liver	22,1	19,5
		Serce / Heart	6,1	5,3
		Śledziona / Spleen	17,9	32,6
		Płuca / Lungs	15,5	32,2
		Trzustka / Pancreas	87,9	16,2
		Węzły chłonne Lymph node	33,0	100,9
	Wieprzowina Pork	Wątroba / Liver	32,1	14,8
		Nerka / Kidney	15,3	17,6
		Serce / Heart	9,4	6,9
		Węzły chłonne Lymph node	26,5	68,5
		Trzustka / Pancreas	71,4	21,2
	Konina / Horse	Mięśnie / Muscles	10,8	9,2
Ryby Fish	Czarniak Saithe	Filet Fillet	2,5	0,6
	Tuńczyk / Tuna		1,7	0,8
	Dorsz / Cod		4,7	0,3
	Pstrąg Trout	Wędzony Smoked	4,7	1,0
	Śledź / Herring	Ikra / Roe	10,8	9,2
Zboża i rośliny strączkowe Cereals and legumes	Żyto / Rye	Ziarno nieprzetworzone Unprocessed grain	1,3	0,7
	Pszenica Wheat		1,1	0,6
	Owies / Oat		3,0	b.d. / n.d.
	Jęczmień Barley		3,2	b.d. / n.d.
	Proso białe White millet		1,5	0,7
	Proso senegalskie Senegal millet		2,3	0,6
	Soczewica Lentil		3,9	0,8

Warzywa Vegetables	Kapusta pekińska Chinese cabbage	Mrożona Frozen	14,6	2,0
	Szpinak Spinach		14,0	2,6
	Natka pietruszki Parsley leaves	Świeża Fresh	8,1	2,7
	Brokuły Broccoli		14,6	2,0
	Kalafior Cauliflower		14,5	2,8
	Ziemniak Potato		1,4	1,0
	Cebula / Onion		2,6	0,7
Owoce Fruits	Awokado Avocado		1,5	0,6
Grzyby Mushrooms	Drożdże / Yeast	Piekarskie / Baking	66,2	6,0
	Borowik / Boletus	Świeży / Fresh	23,1	1,0
		Suszony / Dried	16,0	1,0
	Pieczarka Champignon	Świeża / Fresh	20,5	0,9

Objaśnienia / Explanatory notes:

b.d. – brak danych / n.d. – no data

Źródło: opracowano na podstawie [13] / Source: developed based on [13]

nukleinowych próbkę utrzymywano w temp. 90 °C przez 25 min, w obecności 5 % TCA. Następnie próbki ochłodzono do 0 °C i ponownie wirowano, po czym dokonano pomiaru absorbancji supernatantu tak wydzielonych kwasów nukleinowych w zakresie $\lambda = 220 \div 300$ nm. Analizę ilościową wykonano przy użyciu krzywej kalibracyjnej przygotowanej na podstawie standardowej mieszaniny RNA i DNA [11]. Określenie stężenia azotu pochodzącego z kwasów nukleinowych pozwala jedynie na oszacowanie zawartości tych makromolekuł w żywności. W publikacji nie podano, czy wraz ze strąconymi białkami strącają się również w pewnym stopniu nukleoproteiny. Można jednak przypuszczać, że przy właściwym postępowaniu roztwór TCA pozwala na całkowite oddzielenie białek od kwasów nukleinowych, ponieważ odczynnik ten wykorzystuje się często do izolacji białek związanych z chromatyną [35]. Dodatkowym czynnikiem utrudniającym analizę kwasów nukleinowych jest tzw. efekt hiperchromowy polegający na wzroście współczynnika absorbancji roztworu kwasów nukleinowych przy $\lambda = 260$ nm na skutek uwalniania nukleotydów w wyniku hydrolizy oraz rozplecenia podwójnej helisy łańcucha polinukleotydowego.

Szacuje się, że w zależności od stadium cyklu komórkowego zawartość RNA w tkankach roślinnych jest w przybliżeniu pięć razy większa niż stężenie DNA. Odnosząc się do dostępnych danych literaturowych, można zauważyć znaczne rozbieżności w ilościach oznaczanych kwasów nukleinowych (tab. 2 i 3). Różnice te mogą wynikać

z zastosowania różnych metod określania zawartości kwasów nukleinowych. Ich zawartość najczęściej przeliczana jest na ilość obecnych w nich puryn lub na azot obecny w zasadach purynowych i pirymidynowych. Całkowitą zawartość RNA w produktach roślinnych szacuje się na 1 mg/g tkanki, z czego ok. 80 % stanowi rRNA, 3 ÷ 5 % – mRNA, 10 ÷ 15 % – tRNA, natomiast pozostałe formy RNA występują w ilości mniejszej niż 5 %. Zawartość niekodujących form RNA o zakresie długości 21 ÷ 24 nukleotydów w ziarnach soi wynosi średnio 0,66 µg/g (w niektórych przypadkach nawet do 1,61 µg/g ziarna). Podobne ilości znajdują się w ziarnach kukurydzy i ryżu. Żywność pochodzenia zwierzęcego jest zwykle bogatsza w kwasy rybonukleinowe. Zawartość RNA jest w tym przypadku, w zależności od rodzaju mięsa i narządu, kilkadziesiąt razy większa. DNA jest makromolekulą o stosunkowo wysokiej stabilności chemicznej i w mniejszym stopniu niż RNA ulega hydrolizie (enzymatycznej i nieenzymatycznej) oraz utlenianiu. Zatem w przetwarzanej oraz długo przechowywanej żywności zawartość RNA może być inna niż w tkankach świeżych [9, 15].

Do tej pory ustalono, że gotowanie konwencjonalne, gotowanie pod zwiększonym ciśnieniem, smażenie w głębokim tłuszczu czy obróbka mikrofalami pozwalają na zachowanie fragmentów DNA surowca roślinnego (w tym przypadku ziemniaka) [36] lub zwierzęcego (mięso wołowe) [2] o wystarczającej jakości oraz ilości umożliwiającej przeprowadzenie amplifikacji tych fragmentów technikami PCR. Dotyczy to zarówno identyfikacji gatunku, jak i amplifikacji fragmentów kodujących charakterystyczne dla danego surowca białka. Zaznaczyć jednak trzeba, że cytowane badania nie miały na celu oznaczenia zawartości kwasów nukleinowych, ale wykorzystanie ich do specyficznej charakterystyki materiału badawczego. Ilość oraz jakość obecnych w żywności kwasów nukleinowych zależy od warunków agrotechnicznych, w jakich dany organizm wzrasta, ale także od sposobu przechowywania i przetworzenia żywności. W wyniku spożywania żywności zanieczyszczonej, np. wirusami, wprowadzana jest do układu pokarmowego pewna ilość wirusowego materiału genetycznego, najczęściej dwuniciowego RNA, a z żywnością fermentowaną duża ilość kwasów nukleinowych pochodzenia mikrobiologicznego [13].

Reologiczne i sensoryczne właściwości kwasów nukleinowych

Żywność jest mieszaniną wielu składników decydujących o jej właściwościach reologicznych. Obecnie uwzględniane w ocenie tych właściwości składniki to w głównej mierze woda, białka, cukry oraz tłuszcze. Ze względu na właściwości fizykochemiczne, takie jak: zdolność wiązania wody, charakter poligonowy, duża lepkość, w szczególności w przypadku wysokocząsteczkowych polimerów DNA, wydaje się, że kwasy nukleinowe mogą mieć wpływ także na cechy reologiczne produktów żywnościowych, w których występują w znacznie większych ilościach.

W tab. 4. przedstawiono właściwości reologiczne składników występujących w żywności i wskazano, które z funkcji mogą być oczekiwane w przypadku obecności w niej kwasów nukleinowych.

Ponadto można podejrzewać, że kwasy nukleinowe będą uczestniczyć w oddziaływaniach zachodzących między białkami, lipidami czy polisacharydami, wpływając na właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne produktów spożywczych. Wiadomo, że niektóre reakcje zachodzące podczas procesów technologicznych, np. w trakcie dojrzewania mięsa i serów, przyczyniają się do uzyskania produktu przydatnego do spożycia o specyficznych właściwościach reologicznych. Dotychczas ani technologiczna ani funkcjonalna rola polinukleotydów w przemyśle spożywczym nie była przedmiotem badań, natomiast w przemyśle kosmetycznym są one uważane za składnik poprawiający elastyczność, nawilżenie oraz regenerację skóry [22].

Wpływ kwasów nukleinowych na właściwości reologiczne i sensoryczne żywności jest pomijany prawdopodobnie także z powodu występowania niewielkich ich ilości nawet w produktach uznawanych za ich bogate źródło. Na przykład mięso wołowe

Tabela 4. Składniki żywności wpływające na właściwości reologiczne

Table 4. Food components that affect rheological properties

Składnik żywności Food component	Występowanie w żywności Occurrence in food	Zawartość Content [%]	Funkcje reologiczne Rheological functions
Białka zwierzęce: aktyna, miozyna, kolagen Animal proteins: actin, myosin, collagen	Mięso organizmów stałocieplnych, mięso ryb, skóra organizmów stało- i zmiennocieplnych Meat of warm- and cold-blooded organisms, fish meat, skin of warm- and cold-blooded organisms	0,4 ÷ 7,0 0,2 ÷ 2,0 14 ÷ 25	Tworzą stabilne żele w szerokim zakresie temperatury. Tworzą stabilne emulsje. Umożliwiają restrukturyzację mięsa i odgrywają rolę w tworzeniu tekstury mięsa. Usieciowany kolagen umożliwia tworzenie nierozpuszczalnych struktur They form stable gels in a wide temperature range. They form stable emulsions. They enable the restructuring of meat and play a role in the formation of the texture of meat. A cross-linked collagen allows the insoluble structures to form.
Białka roślinne: glicynina, konglicynina, gliadyna, glutenina Vegetable proteins: glycine, conglycinin, gliadin, glutenin	Rośliny strączkowe, ziarna zbóż Legumes, whole grains	2 ÷ 37	W obecności jonów wapnia tworzą trwałe żele, podczas zamrażania, strącania w punkcie izoelektrycznym lub ekstruzji tworzą włókna. Białka zbóż nadają wyrabianemu ciastu właściwości lepko-sprężyste In the presence of calcium ions, they form stable gels; during freezing, precipitation at an isoelectric point or during extrusion, they form filaments. Cereal proteins give visco-elastic properties to the dough being formed

Białka mleka i jaj: kazeina, białka serwatkowe, owoalbumina, owotranferyna, owomukoid Milk protein and eggs: casein, whey protein, ovalbumin, owotranferyna, ovomucoid	Mleko Jaja Milk Eggs	2,0 ÷ 4,5 11 ÷ 13	Tworzą stabilne emulsje, żele i stabilną pianę They form stable emulsions, gels, and foam
Tłuszcze Fats	Mięso oraz produkty przetworzone Meat and processed products	5 ÷ 50	Tworzą stabilne emulsje They form stable emulsions
Polisacharydy roślinne: skrobia, celuloza, hemicelulozy, pektyny, żywice roślinne Polysaccharides from plants: starch, cellulose, hemicellulose, pectin, vegetable gum	Owoce i warzywa Fruits and vegetables	3 ÷ 18	Tworzą stabilne struktury, wpływają na kruchość oraz twardość surowców spożywczych They form stable structures, they impact friability and hardness of raw food products
Kwasy nukleinowe: DNA i RNA Nucleic acids: DNA and RNA	Żywność surowa i nisko przetworzona Raw and low-processed food	Do 10 Up to 10	Po uwolnieniu z jąder komórkowych podczas obróbki mechanicznej lub termicznej mogą wpływać na właściwości reologiczne surowców spożywczych, takie jak: lepkość, tworzenie struktury, tworzenie stabilnych żeli After release from the cell nuclei during the machining or heating, they can impact rheological properties of raw food materials, such as viscosity, structure forming, and stable gels forming.

Źródło: opracowano na podstawie [20, 31, 32] / Source: based on [20, 31, 32]

zawiera 64 ÷ 75 % wody, 20 ÷ 22 % białka, 4 ÷ 8 % tłuszczu, ok. 1 % sacharydów i ok. 0,15 ÷ 0,8 % DNA. Mała zawartość kwasów nukleinowych w surowcu niekoniecznie musi jednak świadczyć o ich niewielkim wpływie na właściwości reologiczne produktu. Różne procesy technologiczne mogą doprowadzić do zatężenia DNA w produkcie (np. w procesach dehydratacji czy degradacji ścian komórkowych). Po uwolnieniu DNA z jądra komórkowego będzie to klasyczny wysokocząsteczkowy biopolimer. Można przypuszczać, że ma on zdolność tworzenia układów heterodispersyjnych znacznie zwiększających lepkość produktu nawet przy małej zawartości (często w celu

modyfikacji lepkości stosuje się zawartość polisacharydów w zakresie $0,05 \div 5$ %, przeważnie mniejszą niż 1 %).

Wiadomo, że roztwory wodne zawierające wyizolowany DNA, w wyniku interakcji pomiędzy tym polimerem a cząsteczkami rozpuszczalnika, wykazują właściwości cieczy nienewtonowskich. Lepkość takiego roztworu różni się znacząco od właściwości czystego rozpuszczalnika i zależy głównie od podatności DNA na rozciąganie. W bardziej stężonych roztworach można spodziewać się silniejszych interakcji pomiędzy poszczególnymi cząsteczkami polinukleotydów, co może mieć znaczący wpływ na właściwości otrzymanego izolatu. DNA dodatkowo oddziałuje z innymi makromolekułami, np. białkami, w sposób specyficzny i niespecyficzny. W przypadku niespecyficznych oddziaływań kolejność nukleotydów w łańcuchu nie ma znaczenia. Najlepiej poznanym przykładem tego typu oddziaływań są interakcje DNA z białkami histonowymi, w których wiązanie tworzy się pomiędzy szkieletem cukrowo-fosforowym a grupami funkcyjnymi na powierzchni białka. Te oddziaływania są stosunkowo silne i składają się na nie wiązania wodorowe, oddziaływania jonowe, oddziaływania van der Waalsa oraz hydrofobowe. Tworzenie struktur supramolekularnych białko-DNA wykazuje charakterystyczny poziom hydratacji, a przez to specyficzne właściwości danego materiału, również żywności. W szczególnych warunkach oddziaływania międzycząsteczkowe mogą prowadzić do koacerwacji i silnie oddziałujące biopolimery mogą rozdzielić się z wytworzeniem dwóch faz ciecz-ciecz. Inną, mającą duże znaczenie, właściwością kwasów nukleinowych jest denaturacja DNA pod wpływem temperatury. Proces ten zachodzi w charakterystycznym dla wielkości cząsteczki, wąskim zakresie temperatury i w przypadku dużych makromolekuł mieści się w przedziale $80 \div 100$ °C. Obecność rozpuszczalnika stabilizuje wiązania wodorowe pomiędzy komplementarnymi łańcuchami oraz zwiększa ich temperaturę denaturacji. Jak do tej pory nie określono wpływu denaturacji oraz interakcji kwasów nukleinowych z innymi składnikami na właściwości reologiczne żywności surowej lub po obróbce termicznej. Można przypuszczać, że zaburzenie oddziaływań pomiędzy wodą i innymi składnikami żywności a DNA zachodzące podczas obróbki żywności będzie modyfikować właściwości reologiczne.

Właściwości funkcjonalne deoksyrybonukleotydów i rybonukleotydów stanowiących monomery DNA i RNA są lepiej poznane. Surowce zawierające duże ilości 5'-rybonukleotydów, takich jak guanozyno-5'-monofosforan, uzyskiwane np. z hydrolyzatów drożdżowych, w których zawartość RNA wynosi $3,5 \div 11,0$ % [12, 16, 19], mogą powodować modyfikację właściwości sensorycznych żywności. Rybonukleotydy obok kwasu glutaminowego są traktowane jako substancje odpowiedzialne za wzmacnianie smaku umami w żywności [7, 8, 18]. Intensywność jego odczuwania może być zwiększona nawet kilkakrotnie przez guanozyno-5'-monofosforan dzięki allosterycznym oddziaływaniom z receptorem smaku T1R1/T1R3 [18]. Szczególnie produkty

płynne, takie jak zupy wzbogacone w inozyno-5'-monofosforan, zyskują silniejszy smak umami, czyli produktów „bogatych w białko”.

Żywność jest skomplikowaną matrycą i złożoność interakcji pomiędzy składnikami wpływa bezpośrednio na jej właściwości fizyczne. Dotychczas niewiele wiadomo na temat wpływu takich składników żywności, jak DNA i RNA na kształtowanie jej właściwości reologicznych i sensorycznych.

Podsumowanie

Kwasy nukleinowe obecne są w spożywanej przez ludzi surowej i przetworzonej żywności, szczególnie w warzywach, rybach, owocach morza oraz w mięsie. Zawartość kwasów nukleinowych w żywności może wynosić nawet do 10 % s.m. Ich obecność wykorzystywana jest w badaniach nad zafałszowaniami, jakością żywności oraz w specyficznej charakterystyce żywności. Brak jest obecnie znormalizowanych metod oznaczania zawartości kwasów nukleinowych w żywności. Wykorzystuje się głównie techniki biologii molekularnej. Dane dostępne w literaturze charakteryzują się dużym rozrzutem wyników ze względu na stosowane różne metody izolacji i pośrednie oznaczanie zawartości kwasów nukleinowych w żywności.

Ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne kwasy nukleinowe mogą mieć wpływ na właściwości reologiczne produktów żywnościowych, zarówno żywności surowej, jak i przetworzonej. Dotychczas nie przeprowadzono badań mających na celu określenie wpływu kwasów nukleinowych na te właściwości oraz możliwości i stopnia interakcji kwasów nukleinowych z pozostałymi składnikami żywności. Z drugiej strony wiadomo, że obecność kwasów nukleinowych ma wpływ na sensoryczne właściwości spożywanej żywności, głównie poprzez obecność nukleotydu guanozyno-5'-monofosforanu (GMP), który uznawany jest za wzmacniacz smaku umami.

Brakuje też wiedzy na temat obecności i zawartości kwasów nukleinowych w spożywanej żywności. Wydaje się, że nauki genomiczne, wykorzystywane do tej pory jedynie w analizie żywności, szczególnie w ustaleniu jej pochodzenia, mogą stanowić odpowiednie narzędzie w poznaniu tego składnika surowców i produktów żywnościowych.

Podziękowania

Autorzy składają podziękowania panu prof. dr hab. inż. Zdzisławowi E. Sikorskiemu (Katedra Chemii, Technologii i Biotechnologii Żywności, Wydział Chemiczny, Politechnika Gdańska) za cenne uwagi edytorskie. Publikacja przygotowana została w ramach projektu: VEGFRUT nr 605/L-4/2012 pt. „Wykorzystanie technologii mikrofalowych w przetwórstwie warzyw i owoców w celu uzyskania produktów żywnościowych o wysokiej jakości zdrowotnej” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, program LIDER.

Literatura

- [1] Adjei A.A., Shigeru Y., Kulkarni A.: Nucleic acids and/or their components: A possible role in immune function. *J. Nutr. Sci. Vitaminol*, 1995, **1** (41), 1-16.
- [2] Arslan A., Ilhak O.I., Calicioglu M.: Effect of method of cooking on identification of heat processed beef using polymerase chain reaction (PCR) technique. *Meat Sci.*, 2006, **2** (72), 326-330.
- [3] Batey R.T., Rambo R.P., Lucast L., Rha B., Doudna J.A.: Crystal structure of the ribonucleoprotein core of the signal recognition particle. *Science*, 2000, **5456** (287), 1232-1239.
- [4] Brantl S.: Antisense-RNA regulation and RNA interference. *Biochim. Biophys. Acta*, 2002, **1-3** (1575), 15-25.
- [5] Brown T.A.: *Genomes*. Ed. II. BIOS Scientific Publishers, Oxford, UK, 2002.
- [6] Carmi I.: Molecular biology select. *Cell*, 2006, **2** (126), 223-225.
- [7] Carver J.D.: Dietary nucleotides: Effects on the immune and gastrointestinal systems. *Acta. Paediatr. Suppl.*, 1999, **88** (430), 83-88.
- [8] Carver J.D., Walker A.W.: The role of nucleotides in human nutrition. *J. Nutr. Biochem*, 1995, **2** (6), 58-72.
- [9] Gętek M., Czech M., Fizia K., Białek-Dratwa A., Muc-Wierzgoń M., Kokot T., Nowakowska-Zajdel E.: Nutrigenomika – bioaktywne składniki żywności. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2013, **67**, 255-260.
- [10] Clegg M.T., Gaut B.S., Learn G.H. Jr., Morton B.R.: Rates and patterns of chloroplast DNA evolution. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 1994, **91**, 6795-6801.
- [11] Imafidon G.I., Sosulski F.W.: Nucleic acid nitrogen in animal and plant product. *J. Agric. Food Chem.*, 1990, **38**, 118-120.
- [12] Jae-Ho K., Byung-Hoon L., Jong-Soo L.: Production of ribonucleotides by autolysis of *Hansenula anomala* grown on Korean ginseng steaming effluent. *J. Biosci. Bioeng.*, 2002, **3** (93), 318-321.
- [13] Jonas D.A., Elmadfa I., Engel K.H., Heller K.J., Kozianowski G., König A., Müller D., Narbonne J.F., Wackernagel W., Kleiner J.: Safety considerations of DNA in food. *Ann. Nutr. Metab.*, 2001, **6** (45), 235-254.
- [14] Kiss T.: Small nucleolar RNA-guided post-transcriptional modification of cellular RNAs. *EMBO J.*, 2001, **14** (20), 3617-3622.
- [15] Kuligina E.V., Semenov D.V., Shevyrina O.N., Richter V.A.: Ribonucleic acids of human milk. *Nucleos. Nucleot. Nucl.*, 2004, **6-7** (23), 837-842.
- [16] Lee J.S., Hyun K.W., Jeong S.C., Kim J.H., Choi Y.J., Miguez C.B.: Production of ribonucleotides by autolysis of *Pichia anomala* mutant and some physiological activities. *Can. J. Microbiol.*, 2004, **7** (50), 489-492.
- [17] Lin S.-L., Miller J.D., Ying S.-Y.: Intronic microRNA (miRNA). *J. Biomed. Biotechnol.*, 2006, **4**, 1-13.
- [18] Mouritsen O.G., Khandelia H.: Molecular mechanism of the allosteric enhancement of the umami taste sensation. *FEBS J.*, 2012, **17** (279), 3112-3120.
- [19] Olmedo F., Iturbe F., Gomez-Hernández J., López-Munguía A.: Continuous production of 5'-ribonucleotides from yeast RNA by hydrolysis with immobilized 5'-phosphodiesterase and 5'-adenylate deaminase. *World J. Microbiol. Biot.*, 1994, **1** (10), 36-40.
- [20] Norton I.T., Spyropoulos F., Cox P.: *Practical Food Rheology: An Interpretive Approach*, Wiley-Blackwell Publ. Ltd., Oxford, UK, 2011.
- [21] Perreault J., Perreault J.-P., Boire G.: Ro-associated Y RNAs in metazoans: Evolution and diversification. *Mol. Biol. Evol.*, 2007, **8** (24), 1678-1689.
- [22] Rigano L., Andolfatto C., Rastrelli F.: Antiaging effects of a skin active principle. *Cosmetics Toiletries Magazine*, 2006, **11** (121), 57-64.
- [23] Romani M., Pistillo M.P., Banelli B.: Environmental epigenetics: Crossroad between public health, lifestyle and cancer prevention. *BioMed Res. Int.*, 2015, DOI: 10.1155/2015/587983.
- [24] Sahu A., Singhal U., Chinnaiyan A.M.: Long noncoding RNAs in cancer: From function to translation. *Trends in Cancer*, 2015, **2** (1), 93-109.
- [25] Sekwencja referencyjna ludzkiego rybosomalnego RNA. [on-line]. Dostęp w Internecie [14.03.2016]: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/NR_023379.1

- [26] Sekwencja referencyjna ludzkiego rybosomalnego RNA. [on-line]. Dostęp w Internecie [14.03.2016]: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/NR_003285.2
- [27] Sekwencja referencyjna ludzkiego rybosomalnego RNA. [on-line]. Dostęp w Internecie [14.03.2016]: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/NR_003287.2
- [28] Sekwencja referencyjna ludzkiego rybosomalnego RNA. [on-line]. Dostęp w Internecie [14.03.2016]: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/nucore/NR_003286.2
- [29] Sharp S.J., Schaack J., Cooley L., Burke D.J., Soil D.: Structure and transcription of eukaryotic tRNA gene. *Crit. Rev. Biochem.*, 1985, **2** (19), 107-144.
- [30] Sommer S.S., Cohen J.E.: The size distribution of proteins, RNA, a nuclear RNA. *J. Mol. Evol.*, 1980, **15**, 37-57.
- [31] Staroszczyk H., Sikorski Z.E.: *Chemia żywności. T. 1. Główne składniki żywności.* WNT, Warszawa 2015.
- [32] Staroszczyk H., Sikorski Z.E.: *Chemia żywności. T. 2. Biologiczne właściwości składników żywności.* WNT, Warszawa 2015.
- [33] Taylor R.W., Taylor G.A., Durham S.E., Turnbull D.N.: The determination of complete human mitochondrial DNA sequence in single cells: Implications for the study of somatic mitochondrial DNA point mutations. *Nucl. Acids. Res.*, 2001, **15** (29), e74.
- [34] Thore S., Mayer C., Sauter C., Weeks S., Suck D.: Crystal structures of the *Pyrococcus abyssi* Sm. core and its complex with RNA. *J. Biol. Chem.*, 2003, **2** (278), 1239-1247.
- [35] Wang T.U.: The isolation, properties and possible functions of chromatin acidic proteins. *J. Biol. Chem.*, 1967, **6** (242), 1220-1226.
- [36] Van der Colff L., Podivinsky E.: Cooking DNA: The effect of 'domestic' cooking methods on detecting of GM potato. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2008, **12** (43), 2105-2112.
- [37] Zieliński H., Rejewska M., Kostyra H.: Zawartość kwasów nukleinowych w mleku i krwi krów zdrowych i z zapaleniem wymienia. *Roczn. PZH*, 1991, **XLII** (1), 59-63.

NUCLEIC ACIDS IN FOOD: OCCURRENCE AND RHEOLOGICAL PROPERTIES

Summary

In nutrition sciences, hitherto, nucleic acids were considered to be an insignificant food component. Their nutritional properties are not taken into account in formulating dietary guidelines, even though they are one of the basic ingredients of the food, especially of the raw or low-processed food. They are present mainly in rapidly growing tissue cells as well as in those that have retained their ability to grow and regenerate. In this paper, there are presented literature data on the contents of nucleic acids in different raw materials and food products selected, inclusive of the extraction method used and type of nucleic acid applied. The content of DNA in the selected animal tissues can be up to 100 mg / g of d.m. of the product whereas the content of RNA: up to 87 mg / g of d.m. of the product. In cells, nucleic acids are mainly bound to proteins. It was found that they are not completely degraded during cooking or thermal treatment. In contrast to proteins, they are not ultimately denatured and, hence, they retain, partly, their functional and structural characteristics. Owing to their high molecular weight and hydrophilic properties, macromolecules of nucleic acids are able to structurally, rheologically, and sensorily shape food products; thus, they are relevant for the food-processing technology. In the paper, rheological properties were discussed of nucleic acids as macromolecules that occur in raw materials and food products along with proteins and polysaccharides.

Key words: nucleic acids, food, rheological properties, sensory properties 