

IWONA ADAMSKA, KATARZYNA FELISIAK, KACPER KILIAŃSKI

## WPLYW WYBRANYCH PRZYPRAW NA AKTYWNOŚĆ PRZECIWUTLENIAJĄCĄ I WALORY SENSORYCZNE TEMPEH

### Streszczenie

**Wprowadzenie.** Tempeh to typowy produkt kuchni azjatyckiej o działaniu przeciwutleniającym, przeciwnowotworowym, neuroprotekcijnym i kardioprotekcijnym. Tradycyjnie wytwarza się go z nasion soi bez dodatku przypraw, chociaż mogą one poprawić smak i bioaktywność gotowego produktu. Celem badań było określenie wpływu wybranych przypraw na skład podstawowy, walory sensoryczne i aktywność przeciwutleniającą tempeh. W badaniach zastosowano: pieprz czarny, sól, mieszaninę soli i pieprzu czarnego, paprykę wędzoną i czosnek granulowany. W gotowych tempeh określono zawartość suchej masy, białka, azotu niebiałkowego, peptydów, popiołu i tłuszczu, określono zawartość polifenoli ogółem (TPC) oraz aktywność przeciwutleniającą wobec kationorodników ABTS, zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH, zdolność redukcji jonów żelaza(III) i zdolność chelatowania jonów żelaza(II). Oceniono także ich strukturę i walory sensoryczne.

**Wyniki i wnioski.** Dodatek przypraw zmienił walory sensoryczne i strukturę tempeh oraz wpłynął na właściwości odżywcze i aktywność przeciwutleniającą. Pod względem oceny sensorycznej najwyższe noty uzyskały tempeh z dodatkiem papryki wędzonej (1 % i 3 %), czosnku (1 %) i soli (1 %), a najlepszą strukturę miały produkty z dodatkiem papryki wędzonej (1 % i 3 %). Dodatek papryki wędzonej (1 % i 3 %) i czosnku granulowanego (3 %) spowodował istotny wzrost zawartości białka. Zawartość tłuszczu wzrosła w próbach z dodatkiem pieprzu (3 %), soli i pieprzu (1 % i 3 %) i papryki (1 %), a popiołu – w próbach z solą (3 % i 5 %) oraz solą i pieprzem (3 %). Papryka wędzona (1 % i 3 %) i czosnek granulowany (1 %) spowodowały wzrost aktywności przeciwutleniającej tempeh.

**Słowa kluczowe:** soja, papryka wędzona, pieprz czarny, sól, czosnek, *Rhizopus oligosporus*

### Wprowadzenie

Obecnie rośnie znaczenie włączania do diety produktów z grupy żywności funkcjonalnej, czyli wzbogaconych o składniki o działaniu prozdrowotnym. Są nimi, między innymi, produkty o potwierdzonym działaniu przeciwnowotworowym czy cech-

---

Dr hab. I. Adamska, prof. ZUT ORCID: 0000-0002-9185-3249; dr inż. K. Felisiak ORCID: 0000-0002-7372-4662; inż. K. Kiliański; Katedra Technologii Rybnej, Roślinnej i Gastronomicznej, Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, ul. Papieża Pawła VI 3, 71-899 Szczecin. Kontakt e-mail: Iwona.Adamska@zut.edu.pl

jące się wysoką aktywnością przeciwutleniającą [11]. Niektóre produkty lub składniki dań mają naturalnie wysoką aktywność przeciwutleniającą (np. owoce, warzywa czy soki owocowe), natomiast w przypadku innych aktywność tę można dodatkowo zwiększyć poprzez dodanie podczas procesu produkcji np. ziół i przypraw, z których wiele wykazuje aktywność przeciwutleniającą i działanie przeciwbakteryjne. Spowalnia to utratę jakości i psucie się żywności [12, 16, 21]. Przyprawy, mimo że jednorazowo stosowane są w żywności w niewielkich ilościach, mogą wywierać pozytywny przeciwutleniający wpływ na organizm człowieka ze względu na ich dodatek do wielu codziennie spożywanych produktów [19].

Jednym z produktów należącym do grupy żywności funkcjonalnej jest azjatycki tempeh. Jego przygotowanie wymaga utrzymania stałej podwyższonej temperatury (np. około 30 °C przez co najmniej 24 godziny [1]). Ze względu na dużą zawartość nasion soi produkt ten wykazuje aktywność przeciwutleniającą i przeciwnowotworową. Składnikami decydującymi o tak pożądanym działaniu są izoflawony: genisteina, daidzeina i glicyteina [11]. Częste spożywanie tempeh oddziałuje także kardioprotekcyjnie i neuroprotekcynie. Ponadto produkt ten jest bogatym źródłem błonnika, łatwo przyswajalnych związków azotowych (peptydów i aminokwasów), nienasyconych kwasów tłuszczowych, witamin z grupy B i mikroelementów [17, 23]. Produkt ten ceniony jest za swą plastyczność: jako dodatek do różnych dań idealnie dopasowuje się smakiem i zapachem do pozostałych składników [10].

Podczas tradycyjnej produkcji tempeh nie stosuje się dodatku przypraw, z uwagi na to, że mogłyby one zahamować rozwój grzyba z rodzaju *Rhizopus*. Jednak w trakcie własnych badań wstępnych stwierdzono, że wybrane przyprawy, w odpowiednio dobranych dawkach, nie zakłóciły produkcji tempeh, a niektóre wręcz wpłynęły na niego korzystnie. Przyjęto więc tezę, że dodatki te wpłynęły także na bioaktywność produktu końcowego. Celem badań było określenie wpływu wybranych przypraw na skład podstawowy, aktywność przeciwutleniającą i walory sensoryczne tempeh.

## **Material i metody badań**

### *Material badany*

Material badany stanowiło tempeh przygotowane z nasion soi (Sg) (BioPlanet, Poland). Podczas gotowania nasiona soi zakwaszono octem spirytusowym (10 %, Kuhne Polska Sp.z o.o., Polska) w proporcji 120 cm<sup>3</sup> 5 % kwasu octowego na 1800 g suchych nasion soi. W doświadczeniu użyto zarodników grzyba *Rhizopus oligosporus* (Starter do produkcji tempeh, Sebastian Chenas, Polska) i przypraw: papryki wędzonej (Kamis, Polska), pieprzu czarnego (Prymat, Polska), czosnku suszonego (Prymat, Polska) oraz soli kuchennej warzonej niejodowanej (Sól Kujawska, Polska). Surowce podstawowe i dodatki zastosowane w badaniach zakupiono w 2023 roku. Przy produk-

cji tempehu korzystano z cieplarki 9010-0081 (WTB Binder, Niemcy) i zamrażarki HCE429F (Haier, Włochy). Schemat doświadczenia przedstawiono na ryc. 1. Próba kontrolną (K) było tempeh bez dodatku przypraw. Pozostałe badane warianty: S1 – z dodatkiem 1 g soli (1 % masy), S3 – z dodatkiem 3 g soli (3 % masy), S5 – z dodatkiem 5 g soli (5 % masy), P1 – z dodatkiem 1 g pieprzu czarnego (1 % masy), P3 – z dodatkiem 3 g pieprzu czarnego (3 % masy), SP1 – z dodatkiem 1 g soli i 1 g pieprzu czarnego (w sumie 2 % masy), SP 3 – z dodatkiem soli 3 g i pieprzu 1 g (w sumie 4 % masy), PA1 – z dodatkiem 1 g papryki wędzonej (1 % masy), PA3 - z dodatkiem 3 g papryki wędzonej (3 % masy), Cz1 – z dodatkiem 1 g czosnku granulowanego (1 % masy), Cz3 – z dodatkiem 3 g czosnku granulowanego (3 % masy). W badaniach własnych dodatki przyprawowe celowo zastosowano w ilościach zgodnych z wartościami sensorycznymi (w przypadku ostrych przypraw i soli powinny one stanowić do 2 % masy produktu) oraz w ilościach je przewyższających w celu sprawdzenia wpływu różnych ilości dodatków na proces powstawania tempeh (rozwój grzybni *Rhizopus oligosporus*) oraz na aktywność przeciwutleniającą gotowego produktu.

ETAPY	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Moczenie ziaren soi (woda zimna, proporcja wody do ziaren 4:1, 20 h) / Soybeans soaking (cold water, water to grain ratio 4:1, 20 h)</li> <li>2. Gotowanie ziaren soi (proporcja wody do ziaren 5:1, około 1 h) / Soybeans cooking (water to grain ratio 5:1, about 1 hour)</li> <li>3. Zakwaszenie ziaren kwasem octowym / Acidification of soybeans with acetic acid</li> <li>4. Odcedzenie soi / Straining the soybeans</li> <li>5. Schłodzenie ziaren powietrzem atmosferycznym (do temp. około 30 °C) / Cooling the grains with atmospheric air (to about 30 °C)</li> <li>6. Inokulacja <i>Rhizopus oligosporus</i> (dodanie Startera do produkcji tempeh) / <i>Rhizopus oligosporus</i> inoculation (adding Starter for tempeh production)</li> <li>7. Podział soi na porcje / Division of soybeans into portions</li> <li>8. Dodanie przypraw / Adding seasonings</li> <li>9. Pakowanie prób w woreczki polietylenowe / Packing samples into polyethylene bags</li> <li>10. Nakłucie woreczków (2 otwory na 1 cm<sup>2</sup> powierzchni, w równych rzędach) / Puncture of the bags (2 holes per 1 cm<sup>2</sup> of surface, in equal rows)</li> <li>11. Inkubacja w cieplarni (35 °C, 36 h) / Incubation in an incubator (35 °C, 36 h)</li> <li>12. Przerwanie wzrostu grzyba (zamrożenie i przechowywanie, -32 °C, 72 h) / Fungus growth interruption (freezing and storage, -32 °C, 72 h)</li> </ol>
-------	---

Rycina 1. Schemat produkcji tempeh z przyprawami

Figure 1. Scheme of tempeh with seasonings production

### Metody badań

Po rozmrożeniu w temperaturze pokojowej (przez około 2 h), otwierano opakowania i pobierano próby do oceny organoleptycznej oraz badań fizykochemicznych. W badaniach korzystano z suszarki 9010-0079 (WTB Binder, Niemcy), pieca mufłowego FCF7 SHM (Czyłok, Polska), homogenizatora H500 (Pol-Eko, Polska), destylatora KT 200 Kjeltex (FOSS, Dania) i spektrofotometru Helios Gamma 9423 (Thermo Spectronic, Wielka Brytania).

Podczas badań określono suchą masę produktu metodą suszarkową, zawartość azotu – metodą Kjeldahla, tłuszczu – metodą Soxhleta i popiołu całkowitego – metodą spopielenia próby na sucho zgodnie z zasadami przyjętymi przez AOAC [3]. Do określenia zawartości białka zastosowano przelicznik 6,25. Zawartość węglowodanów obliczono jako różnicę między suchą masą surowca lub tempeh a sumą mas popiołu, tłuszczu i białka. Zawartość produktów hydrolizy białka badano w ekstraktach trichloroocetowych (1 g/10 cm<sup>3</sup> 5 % TCA w/v) zmodyfikowaną metodą Lowry'ego [14], z podziałem na zawartość aminokwasów aromatycznych (wyrażoną jako zawartość tyrozyny) oraz zawartość peptydów. W skrócie, do zobojętnionych i rozcieńczonych ekstraktów dodawano odczynnik Lowry'ego (odpowiednio, bez miedzi i z jej jonami, 5 cm<sup>3</sup>/1 cm<sup>3</sup> rozcieńczonego ekstraktu) oraz po 10 min odczynnik Folina-Ciocalteu (0,5 cm<sup>3</sup>). Po 30 min mierzono absorbancję przy długości fali 750 nm. Azot niebiałkowy oznaczono w ekstraktach TCA metodą Kjeldahla, analogicznie do oznaczania azotu ogólnego.

W ekstraktach metanolowych (1 g/10 cm<sup>3</sup> 80 % metanol w/v) oznaczono zawartość polifenoli ogółem [27], dodając 10-procentowy odczynnik Folina-Ciocalteu, a po 5 min 7,5 % – węglan sodu. Po dwóch godzinach inkubacji w ciemni mierzono absorbancję przy długości fali 750 nm. Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH oznaczano według [5], dodając do 4 cm<sup>3</sup> ekstraktu metanolowego 1 ml 0,2 mM DPPH (2,2-difenylo-1-pikrylohydrazyl) w metanolu i po 30 min inkubacji w temperaturze pokojowej, w ciemni, mierząc absorbancję przy długości fali 517 nm. Aktywność przeciwutleniającą wobec kationorodnika ABTS badano, dodając do 0,04 cm<sup>3</sup> ekstraktu 4 cm<sup>3</sup> roztworu roboczego ABTS<sup>•+</sup> [siarczan 2,2'-azinobis(3-etylobenzotiazolinowy)], uaktywnionego uprzednio przez nadsiarczan potasu (16 h w ciemni, roztwór wodny 7 mM ABTS i 2,45 mM K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) i rozcieńczonego do absorbancji 0,700 ± 0,020. Absorbancję mierzono przy długości fali 735 nm [22]. Zdolność redukcji jonów żelaza (III) (FRAP) oznaczano według [4], dodając do 0,1 cm<sup>3</sup> ekstraktu metanolowego 3 cm<sup>3</sup> roztworu roboczego, uzyskanego przez zmieszanie 10 części buforu octanowego 0,1 M, pH 3,6, 1 części roztworu TPTZ (2,4,6-tris(2-pirydylo)-s-triazyna) w 40 mM HCl oraz jednej części 20 mM FeCl<sub>3</sub> i inkubowanego 30 min w 38 °C. Po 30 min inkubacji prób w temperaturze pokojowej, w ciemni, mierzono absorbancję przy długości fali 593 nm. Wyniki wyrażano przez odniesienie działania badanych prób do Troloxu

(kwas 6-hydroksy-2,5,7,8-tetrametylochroman-2-karboksyłowy). Zdolność chelatowania jonów żelaza (II) oznaczono poprzez dodatek do rozcieńczonych wodą destylowaną prób kolejno 0,01 cm<sup>3</sup> 2 mM FeCl<sub>2</sub> oraz 0,02 cm<sup>3</sup> 5 mM ferrozyny. Po 20 min badano absorbancję prób przy długości fali 562 nm [13]. Wyniki podano w odniesieniu do EDTA (kwas etylenodiaminotetraoctowy).

Panel sensoryczny, składający się z 6 osób (3 kobiet i 3 mężczyzn w wieku 23-53 lata), ocenił walory sensoryczne tempeh metodą profilowania. Przyjętymi deskryptorami były: smak słodki, słony, kwaśny, gorzki, umami, ostry, grzybowy, czosnkowy, paprykowy i wędzony; zapach grzybowy, mdły, ostry, czosnkowy, słodki, paprykowy, wędzony i pieprzu; konsystencja zwarta, gumowata, mazista i kleista/lepka. Ocenę tę przeprowadzono według niestrukturowanej skali 10-stopniowej (0-9). Wyniki uśredniono i przedstawiono w postaci wykresów radarowych. Określono także strukturę uzyskanego produktu. Ocenie poddano wygląd tempeh, stopień rozwoju grzybni *Rhizopus* i związania przez nią nasion soi. Zastosowano w niej samodzielnie opracowaną skalę 5-stopniową (tab. 1).

Tabela 1. Skala oceny rozrostu grzybni i struktury tempeh

Table 1. Scale for assessing mycelium growth and tempeh structure

Ocena / Grade	Struktura produktu / Product structure
1	bardzo zła: brak rozrostu grzybni, nasiona niezwiązane (rozsypują się); tempeh nie wytworzony / very bad: no mycelium growth, seeds unbound (fall apart); tempeh not made
2	zła: znikomy rozrost grzybni, nasiona bardzo słabo związane ze sobą (rozsypują się); tempeh bardzo słabo wytworzony / bad: negligible mycelium growth, seeds are very poorly connected to each other (they fall apart); tempeh is very poorly made
3	średnia: nasiona słabo przerośnięte grzybnią i słabo związane ze sobą; tempeh kruszy się podczas krojenia / medium: seeds slightly overgrown with mycelium and poorly connected to each other; tempeh crumbles when cut
4	dobra: nasiona porośnięte grzybnią i dobrze nią związane; tempeh nie kruszy się podczas krojenia / good: seeds covered with mycelium and well bound by it; tempeh does not crumble when cut
5	bardzo dobra: wyraźny i bardzo silny rozrost grzybni, nasiona bardzo mocno związane; tempeh nie kruszy się podczas krojenia / very good: clear and very strong mycelial growth, seeds very tightly bound; tempeh does not crumble when cut

Tempeh produkowano w trzech niezależnych seriach. Wszystkie badania przeprowadzono w trzech powtórzeniach. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej: obliczono średnią i odchylenie standardowe, a istotność różnic określono testem Tukeya ( $p < 0,05$ ).

## Wyniki i dyskusja

### Skład podstawowy

Podczas moczenia i gotowania nasion nastąpił ponad dwukrotny wzrost masy nasion soi (odpowiednio o 2588,6 g i 2865,7 g; tab. 2).

Tabela 2. Zmiany masy nasion soi podczas moczenia i obróbki cieplnej

Table 2. Change in weight of soybean seeds during soaking and heat treatment

	Suche nasiona / Dry seeds	Nasiona po namoczeniu / Seeds after soaking	Nasiona po ugotowaniu / Seeds after cooking
Masa nasion [g] / Seed weight [g]	1800,0	4388,6	4665,7

Zarówno w ugotowanych nasionach soi (surowcu do produkcji tempeh), jak we wszystkich wariantach tempeh największy udział procentowy suchej masy miały węglowodany. Stanowiły one w surowcu około 45,9 % suchej masy, a w tempeh – 53,7 ÷ 64,7 % (tab. 3).

Tabela 3. Skład podstawowy soi ugotowanej i badanych wariantów tempeh

Table 3. Proximate composition of cooked soybean and tested variants of tempeh

Próba / Sample	Sucha masa [%] / Dry mass [%]	Białko [%] / Protein [%]	Tłuszcz [%] / Fat [%]	Popiół [%] / Ash [%]	Węglowodany [%] / Carbohydrates [%]
Sg	34,967 <sup>ab</sup> ± 0,144	34,731 <sup>d</sup> ± 0,534	19,363 <sup>abc</sup> ± 0,486	1,187 <sup>a</sup> ± 0,011	45,906 <sup>a</sup> ± 0,761
K	33,193 <sup>a</sup> ± 0,333	14,470 <sup>ab</sup> ± 0,622	20,250 <sup>bcd</sup> ± 1,148	1,277 <sup>ab</sup> ± 0,089	64,003 <sup>fg</sup> ± 0,552
S1	33,901 <sup>a</sup> ± 0,306	14,686 <sup>ab</sup> ± 0,982	16,950 <sup>ab</sup> ± 2,070	1,919 <sup>d</sup> ± 0,362	66,445 <sup>g</sup> ± 0,177
S3	35,624 <sup>ab</sup> ± 0,625	14,807 <sup>ab</sup> ± 0,426	18,880 <sup>abc</sup> ± 1,173	3,548 <sup>e</sup> ± 0,895	62,765 <sup>efg</sup> ± 1,722
S5	37,532 <sup>b</sup> ± 0,056	14,870 <sup>ab</sup> ± 0,590	19,200 <sup>abc</sup> ± 0,425	5,448 <sup>g</sup> ± 1,043	60,482 <sup>def</sup> ± 0,879
P1	33,075 <sup>a</sup> ± 0,015	15,547 <sup>ab</sup> ± 1,597	19,723 <sup>abcd</sup> ± 0,202	1,169 <sup>a</sup> ± 0,201	63,561 <sup>efg</sup> ± 1,622
P3	34,464 <sup>a</sup> ± 0,447	13,981 <sup>a</sup> ± 1,285	23,010 <sup>de</sup> ± 1,405	1,311 <sup>ab</sup> ± 0,134	61,698 <sup>efg</sup> ± 2,053
SP1	34,602 <sup>ab</sup> ± 0,061	15,033 <sup>ab</sup> ± 0,160	26,353 <sup>e</sup> ± 1,125	1,683 <sup>cd</sup> ± 0,210	56,931 <sup>bcd</sup> ± 1,113
SP3	35,857 <sup>ab</sup> ± 0,025	14,781 <sup>ab</sup> ± 0,369	25,313 <sup>e</sup> ± 0,216	4,161 <sup>f</sup> ± 1,361	55,745 <sup>bc</sup> ± 0,439
PA1	33,795 <sup>a</sup> ± 0,050	19,988 <sup>c</sup> ± 0,385	24,977 <sup>e</sup> ± 0,418	1,379 <sup>ab</sup> ± 2,231	53,656 <sup>b</sup> ± 0,579
PA3	34,748 <sup>ab</sup> ± 0,085	17,226 <sup>abc</sup> ± 1,445	21,490 <sup>cd</sup> ± 0,527	1,478 <sup>bc</sup> ± 0,097	59,806 <sup>cde</sup> ± 1,104
Cz1	34,689 <sup>ab</sup> ± 0,065	15,184 <sup>ab</sup> ± 0,834	21,217 <sup>cd</sup> ± 2,219	1,234 <sup>ab</sup> ± 1,606	62,365 <sup>efg</sup> ± 1,676
Cz3	35,519 <sup>ab</sup> ± 0,534	17,810 <sup>bc</sup> ± 3,021	16,270 <sup>a</sup> ± 1,330	1,294 <sup>ab</sup> ± 0,094	64,626 <sup>fg</sup> ± 2,702

Objaśnienia: / Explanatory notes:

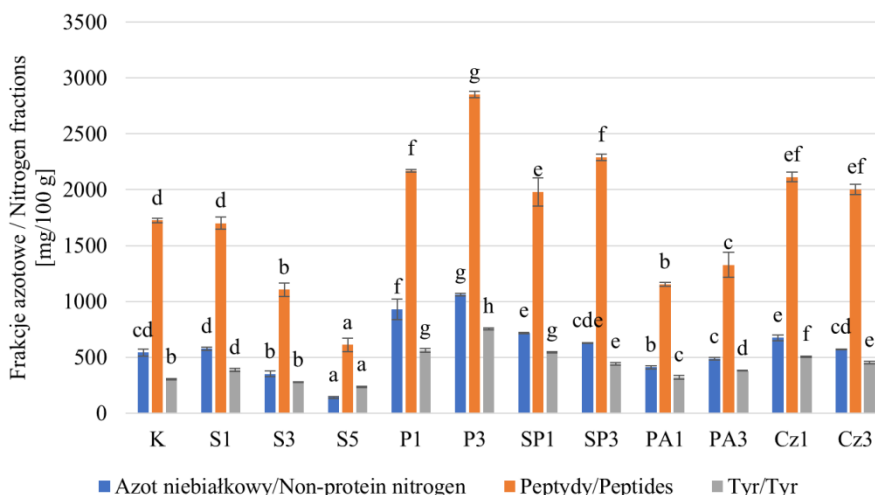
Sg – soja gotowana, K – próba kontrolna – tempeh bez przypraw, S1 – tempeh z dodatkiem 1 % soli, S3 – z dodatkiem 3 % soli, S5 – z dodatkiem 5 % soli, P1 – z dodatkiem 1 % pieprzu czarnego, P3 – z dodatkiem 3 % pieprzu czarnego, SP1 – z dodatkiem 1 % soli i 1% pieprzu czarnego, SP3 – z dodatkiem 3 % soli i 1 % pieprzu, PA1 – z dodatkiem 1 % papryki wędzonej, PA3 - z dodatkiem 3 % papryki wędzonej, Cz1 – z dodatkiem 1 % czosnku granulowanego, Cz3 – z dodatkiem 3 % czosnku granulowanego /

Sg – cooked soybeans, K – control sample – tempeh without seasoning, S1 – tempeh with the addition of salt 1 %, S3 – with salt 3 %, S5 – with salt 5 %, P1 – with black pepper 1 %, P3 – with black pepper 3 %, SP1 – with salt 1 % and black pepper 1 %, SP 3 – with salt 3 % and black pepper 1 %, PA1 – with smoked paprika 1 %, PA3 – with smoked paprika 3 %, Cz1 – with garlic powder 1 %, Cz3 – with garlic powder 3 %;

<sup>a-f</sup> – brak statystycznie istotnych różnic między wartościami w kolumnie oznaczonymi tą samą literą ( $p < 0,05$ ) / no statistically significant differences between the values marked with the same letters in the column ( $p < 0.05$ ).

Dodatek przypraw wpłynął istotnie na zawartość białka, tłuszczu, popiołu i suchą masę tempeh. Najwyższą zawartość suchej masy i popiołu stwierdzono w próbie S5, białka – w PA1, a tłuszczu – w SP1. Dodatek papryki (PA1 i PA3) i czosnku (Cz3) spowodował wzrost zawartości białka, w tempeh z mniejszym dodatkiem pieprzu (P1), w obydwu kombinacjach z solą (SP1 i SP3) oraz z mniejszym dodatkiem papryki (PA1) wzrosła zawartość tłuszczu, a dodatek soli (S3 i S5) oraz kombinacji soli i pieprzu podniósł zawartość popiołu (tab. 3).

Dodatek pieprzu (P1 i P3), mieszaniny pieprzu i soli (SP1 i SP3) oraz czosnku (Cz1 i Cz3) spowodował wzrost zawartości azotu niebiałkowego i peptydów, natomiast wszystkie przyprawy, z wyjątkiem soli w dawkach 3 % i 5 %, spowodowały podwyższenie zawartości "tyrozyny" (ryc. 2).



Rycina 2. Zawartość frakcji azotowych w tempeh w zależności od stosowanych przypraw  
Figure 2. Content of nitrogen fractions in tempeh depending on the applied seasoning

Objaśnienia: / Explanatory notes:

K – próba kontrolna – tempeh bez przypraw, S1 – tempeh z dodatkiem 1 % soli, S3 – z dodatkiem 3 % soli, S5 – z dodatkiem 5 % soli, P1 – z dodatkiem 1 % pieprzu czarnego, P3 – z dodatkiem 3 % pieprzu czarnego, SP1 – z dodatkiem 1 % soli i 1 % pieprzu czarnego, SP3 – z dodatkiem 3 % soli i 1 % pieprzu, PA1 – z dodatkiem 1 % papryki wędzonej, PA3 – z dodatkiem 3 % papryki wędzonej, Cz1 – z dodatkiem 1 % czosnku granulowanego, Cz3 – z dodatkiem 3 % czosnku granulowanego /

K – control sample – tempeh without seasoning, S1 – tempeh with the addition of salt 1 %, S3 – with salt 3 %, S5 – with salt 5 %, P1 – with black pepper 1 %, P3 – with black pepper 3 %, SP1 – with salt 1 % and black pepper 1 %, SP 3 – with salt 3 % and black pepper 1 %, PA1 – with smoked paprika 1 %, PA3 – with smoked paprika 3 %, Cz1 – with garlic powder 1 %, Cz3 – with garlic powder 3 %;

<sup>a-d</sup> brak statystycznie istotnych różnic między wartościami oznaczonymi tą samą literą w serii ( $p < 0,05$ )

<sup>a-d</sup> no statistically significant differences between the values marked with the same letters in a series ( $p < 0.05$ ).

Tempeh z dodatkiem 1 % soli nie różnił się statystycznie istotnie od próby kontrolnej pod względem zawartości produktów hydrolizy białka, jednak zwiększenie stężenia soli wyraźnie hamowało aktywność *Rhizopus oligosporus*, co objawiło się zarówno słabym rozwojem grzybni prowadzącym do niewytworzenia tempeh, jak i istotnie niższą zawartością produktów hydrolizy białka ( $p < 0,05$ ). W przypadku stężenia soli 3 i 5-procentowego zmniejszenie zarówno ilości peptydów, “tyrozyny”, jak i azotu niebiałkowego wskazuje na zahamowanie proteolizy.

Prawidłowo przebiegający proces powstawania tempeh wiąże się z silnym rozwojem grzybni *Rhizopus oligosporus*, która scala nasiona soi. W skład ścian komórkowych tego organizmu wchodzi m.in. węglowodany, co może wiązać się ze wzrostem zawartości tych składników w gotowym tempeh w porównaniu z surowcem zastosowanym do jego przygotowania. Podczas fermentacji prowadzonej przez *R. oligosporus* następuje szereg zmian składu chemicznego surowca (soi). Według danych literaturowych wzrastała zawartość wody w produkcie [24], a w wyniku powstawania kwasów octowego i bursztynowego, a w mniejszych ilościach także jabłkowego, cytrynowego, winowego, askorbinowego, mlekowego i szczawiowego spadło pH w porównaniu z gotowaną soją [7, 24]. Grzyb ten ma zdolność tworzenia enzymów powodujących hydrolizę białka, co prowadzi do podwyższenia zawartości aminokwasów oraz peptydów w produkcie [9]. Wulan i wsp. [29] stwierdzili także wzrost zawartości tłuszczu w porównaniu z surowcem. Jednak przyprawy zastosowane w badaniach wykazują działanie przeciwbakteryjne i przeciwgrzybowe [2, 26], przez co mogą wpływać na aktywność biologiczną *Rhizopus oligosporus*, powodując m.in. zahamowanie lub nadprodukcję niektórych enzymów.

#### *Właściwości przeciwutleniające*

Zastosowane przyprawy wpłynęły na właściwości przeciwutleniające tempeh. Dodatek papryki wędzonej (1 % i 3 %) i czosnku granulowanego (1 %) przyczynił się do wzrostu aktywności przeciwutleniającej określanej metodami DPPH, FRAP



i chelatowania, a dodatek pieprzu (P3) zwiększył aktywność określaną metodami DPPH, ABTS, FRAP i chelatowania oraz spowodował wzrost zawartości polifenoli ogółem. Efekt ten wynikał z zawartości polifenoli w przyprawach. Według danych literaturowych pieprz zawiera hydroksywasy, a czosnek – katechiny [25]. Sól natiomiat, zwłaszcza w większych dawkach (S3 i S5), zmniejszała aktywność przeciwutleniającą oznaczoną metodami DPPH, ABTS, FRAP i chelatowania (tab. 4). Wynikało to z zahamowania rozwoju i aktywności mikroorganizmu, co przełożyło się na niższą zawartość produktów hydrolizy białka (peptydów i aminokwasów), które wykazują aktywność przeciwutleniającą [28].

Tabela 4. Aktywność przeciwutleniająca i zawartość polifenoli ogółem w tempch  
Table 4. Antioxidant activity and total polyphenols content in tempch

Próba / Sample	DPPH [ $\mu\text{M TE/g}$ m.m.]	ABTS [ $\mu\text{M TE/g}$ m.m.]	FRAP [ $\mu\text{M TE/g}$ m.m.]	Chelatowanie/ chelating [ $\mu\text{M EDTA/g}$ m.m.]	TPC [mg GAE/g m.m.]
K	0,500 <sup>d</sup> ± 0,030	13,21 <sup>d</sup> ± 0,19	116,3 <sup>c</sup> ± 1,7	0,065 <sup>b</sup> ± 0,005	1,43 <sup>f</sup> ± 0,02
S1	0,338 <sup>c</sup> ± 0,014	14,42 <sup>d</sup> ± 0,52	120,7 <sup>c</sup> ± 3,7	0,089 <sup>b</sup> ± 0,022	1,35 <sup>e</sup> ± 0,03
S3	0,260 <sup>b</sup> ± 0,014	10,50 <sup>c</sup> ± 0,23	95,4 <sup>b</sup> ± 3,4	0,051 <sup>ab</sup> ± 0,004	1,06 <sup>c</sup> ± 0,01
S5	0,112 <sup>a</sup> ± 0,011	6,83 <sup>a</sup> ± 0,18	64,8 <sup>a</sup> ± 2,0	0,032 <sup>a</sup> ± 0,008	0,77 <sup>a</sup> ± 0,01
P1	1,271 <sup>g</sup> ± 0,029	14,08 <sup>d</sup> ± 0,14	269,8 <sup>g</sup> ± 2,1	0,363 <sup>h</sup> ± 0,001	1,35 <sup>e</sup> ± 0,02
P3	1,566 <sup>h</sup> ± 0,090	15,23 <sup>e</sup> ± 0,96	337,7 <sup>h</sup> ± 4,5	0,336 <sup>g</sup> ± 0,006	1,66 <sup>g</sup> ± 0,02
SP1	1,161 <sup>f</sup> ± 0,021	12,85 <sup>d</sup> ± 0,98	236,3 <sup>f</sup> ± 6,3	0,324 <sup>g</sup> ± 0,002	1,18 <sup>d</sup> ± 0,03
SP3	0,834 <sup>e</sup> ± 0,052	10,66 <sup>c</sup> ± 0,04	144,1 <sup>e</sup> ± 2,4	0,222 <sup>d</sup> ± 0,012	1,10 <sup>c</sup> ± 0,02
PA1	0,931 <sup>e</sup> ± 0,020	8,26 <sup>b</sup> ± 0,38	136,6 <sup>de</sup> ± 5,9	0,289 <sup>ef</sup> ± 0,002	0,93 <sup>b</sup> ± 0,02
PA3	1,190 <sup>fg</sup> ± 0,023	10,40 <sup>bc</sup> ± 0,49	267,0 <sup>g</sup> ± 1,7	0,269 <sup>ef</sup> ± 0,006	0,99 <sup>b</sup> ± 0,00
Cz1	0,865 <sup>e</sup> ± 0,020	11,36 <sup>c</sup> ± 0,47	133,5 <sup>d</sup> ± 2,4	0,286 <sup>ef</sup> ± 0,003	1,24 <sup>d</sup> ± 0,04
Cz3	0,568 <sup>d</sup> ± 0,038	9,09 <sup>bc</sup> ± 0,30	99,1 <sup>b</sup> ± 3,1	0,183 <sup>c</sup> ± 0,005	0,96 <sup>b</sup> ± 0,02

Objaśnienia: / Explanatory notes:

K – próba kontrolna – tempch bez przypraw, S1 – tempch z dodatkiem 1 % soli, S3 – z dodatkiem 3 % soli, S5 – z dodatkiem 5 % soli, P1 – z dodatkiem 1 % pieprzu czarnego, P3 – z dodatkiem 3 % pieprzu czarnego, SP1 – z dodatkiem 1 % soli i 1 % pieprzu czarnego, SP3 – z dodatkiem 3 % soli i 1 % pieprzu, PA1 – z dodatkiem 1 % papryki wędzonej, PA3 – z dodatkiem 3 % papryki wędzonej, Cz1 – z dodatkiem 1 % czosnku granulowanego, Cz3 – z dodatkiem 3 % czosnku granulowanego; DPPH – zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH, ABTS – aktywność przeciwutleniająca wobec kationorodników ABTS, FRAP - zdolność redukcji jonów żelaza (III), chelatowanie - zdolność chelatowania jonów żelaza (II), TPC - zawartość polifenoli ogółem /

K – control sample – tempeh without seasoning, S1 – tempeh with the addition of salt 1 %, S3 – with salt 3 %, S5 – with salt 5 %, P1 – with black pepper 1 %, P3 – with black pepper 3 %, SP1 – with salt 1 % and black pepper 1 %, SP 3 – with salt 3 % and black pepper 1 %, PA1 – with smoked paprika 1 %, PA3 – with smoked paprika 3 %, Cz1 – with garlic powder 1 %, Cz3 – with garlic powder 3 %; DPPH – DPPH free radical scavenging capacity, ABTS – antioxidant activity against ABTS cation radicals, FRAP – ferric reduction antioxidant power, chelating – ferrous chelating ability, TPC - total polyphenol content).

<sup>a-h</sup> – brak statystycznie istotnych różnic między wartościami w kolumnie oznaczonymi tą samą literą ( $p < 0,05$ ) / no statistically significant differences between the values marked with the same letters in the column ( $p < 0.05$ )

Zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH wykazała wysoką zależność od ogólnej zawartości polifenoli (0,94) oraz od zawartości "tyrozyny" (tabela 5), czyli aminokwasów aromatycznych: tyrozyna, tryptofan i fenyloalanina [14]. Aminokwasy aromatyczne, jak również histydyna i aminokwasy siarkowe oraz peptydy zawierające te aminokwasy charakteryzują się silnymi właściwościami przeciwutleniającymi [18]. Zhao i wsp. [30] wykazali, że frakcje hydrolizatów białek sojowych zawierające największą ilość His, Tyr i Trp charakteryzowały się najwyższymi właściwościami przeciwutleniającymi, zwłaszcza zdolnością zmiatania rodników.

Aktywność przeciwutleniająca określona wszystkimi metodami korelowała z ilością azotu niebiałkowego (współczynnik korelacji  $r = 0,723 \div 0,795$ ), zaś ABTS wykazała wysoką zależność od ogólnej zawartości polifenoli ( $r = 0,936$ ) oraz od azotu niebiałkowego oraz umiarkowaną zależność od zawartości peptydów i „tyrozyny” (tabela 5). Brak korelacji stwierdzono tylko między zdolnością chelatowania jonów żelaza (II) i ilością polifenoli ogółem.

Tabela 5. Współczynniki korelacji aktywności przeciwutleniającej oraz produktów hydrolizy białka i polifenoli ogółem w tempeh

Table 5. Correlation antioxidant activity and hydrolysis products of protein and total polyphenols in tempeh

	Azot niebiałkowy/ Non-protein nitrogen	Peptydy / peptides	"tyrozyna"/ "tyrosine"	TPC
DPPH	0,789478	0,664331	0,817163	0,464214
ABTS	0,795093	0,706672	0,651859	0,935984
FRAP	0,775914	0,592735	0,791408	0,553973
Chelatowanie	0,722929	0,602750	0,766863	0,293157*

Objaśnienia: / Explanatory notes:

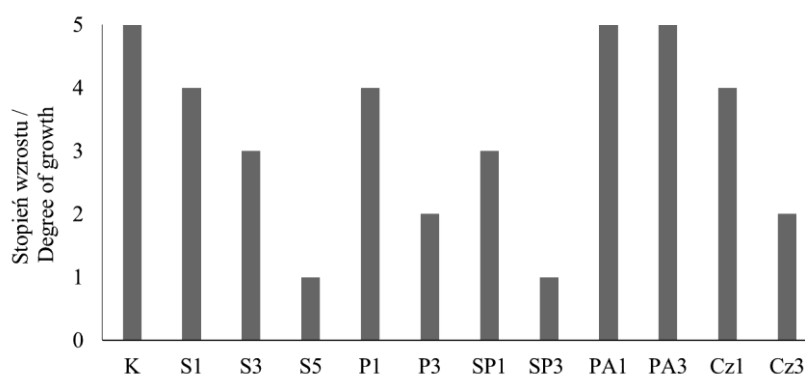
TPC – zawartość polifenoli ogółem, DPPH – zdolność zmiatania wolnych rodników DPPH, ABTS – aktywność przeciwutleniająca wobec kationorodników ABTS, FRAP – zdolność redukcji jonów żelaza (III), chelatowanie – zdolność chelatowania jonów żelaza (II) /

TPC – total polyphenol content, DPPH – DPPH free radical scavenging capacity, ABTS – antioxidant activity against ABTS cation radicals, FRAP – ferric reduction antioxidant power, chelatowanie – ferrous chelating ability;

\* współczynnik oznaczony gwiazdką jest statystycznie nieistotny ( $p > 0,05$ ) / \* the coefficient marked with an asterisk is statistically insignificant ( $p > 0.05$ )

### Ocena wzrostu grzyba i struktury produktu

Strukturę tempeh kontrolnego oceniono jako bardzo dobrą: grzybnia była bardzo dobrze rozwinięta, silnie spajała ziarna soi, a produkt nie rozpadał się podczas krojenia. Bardzo dobrze oceniono także tempeh PA1 i PA3: grzybnia *Rhizopus* była silniej rozwinięta niż w próbie kontrolnej, a nasiona mocniej ze sobą zespolone. W przypadku pozostałych prób strukturę tempeh oceniono słabiej. Najgorsze oceny uzyskały próby SP3 i S5. W ich przypadku dodatek przypraw całkowicie zahamował rozrost grzybnia, a tempeh nie wytworzył się (rys. 3).



Rycina 3. Ocena wzrostu grzyba i struktury badanych wariantów tempeh

Figure 3. Evaluation of fungus growth and structure of tested tempeh variants

Objaśnienia: / Explanatory notes:

K – próba kontrolna – tempeh bez przypraw, S1 – tempeh z dodatkiem 1 % soli, S3 – z dodatkiem 3 % soli, S5 – z dodatkiem 5 % soli, P1 – z dodatkiem 1 % pieprzu czarnego, P3 – z dodatkiem 3 % pieprzu czarnego, SP1 – z dodatkiem 1 % soli i 1 % pieprzu czarnego, SP3 – z dodatkiem 3 % soli i 1 % pieprzu, PA1 – z dodatkiem 1 % papryki wędzonej, PA3 – z dodatkiem 3 % papryki wędzonej, Cz1 – z dodatkiem 1 % czosnku granulowanego, Cz3 – z dodatkiem 3 % czosnku granulowanego) /

K – control sample – tempeh without seasoning, S1 – tempeh with the addition of salt 1 %, S3 – with salt 3 %, S5 – with salt 5 %, P1 – with black pepper 1 %, P3 – with black pepper 3 %, SP1 – with salt 1 % and black pepper 1 %, SP3 – with salt 3 % and black pepper 1 %, PA1 – with smoked paprika 1 %, PA3 – with smoked paprika 3 %, Cz1 – with garlic powder 1 %, Cz3 – with garlic powder 3 %.

Na rozwój grzyba *Rhizopus oligosporus*, a więc pośrednio na strukturę tempeh wpływa wiele czynników. Jednym z nich jest rodzaj surowca [24]. W badaniach wła-

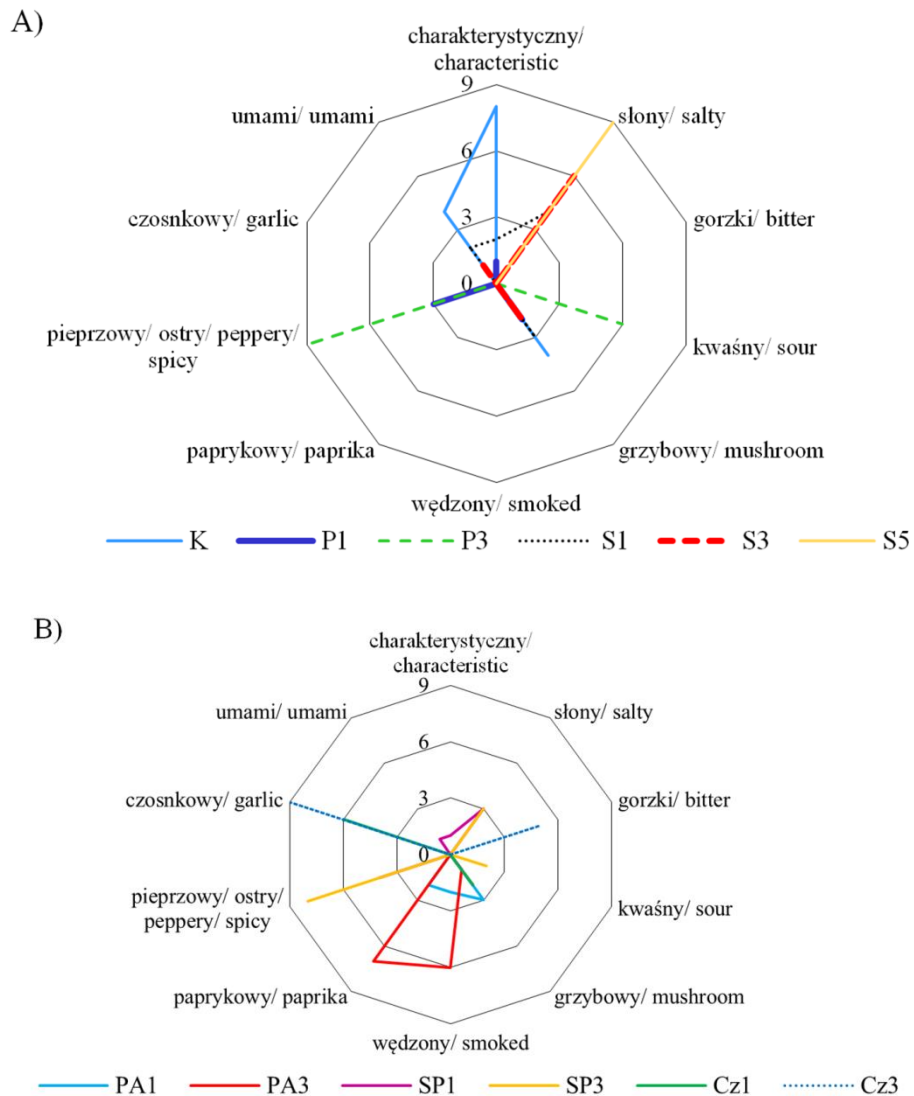
snych najważniejszym czynnikiem były przyprawy. Sól i pieprz, które wykazują silne działanie przeciwdrobnoustrojowe [2, 26], w naszych badaniach zahamowały produkcję tempeh. Z drugiej strony papryka wędzona, mimo działania przeciwbakteryjnego [20], wyraźnie poprawiła strukturę produktu. W swoim składzie chemicznym przyprawa ta zawiera stosunkowo dużo cukrów [6], które mogły stanowić dodatkowe źródło substratów dla grzyba.

#### *Ocena sensoryczna*

Dodatek przypraw wpłynął na smak, zapach i konsystencję tempeh (ryc. 4 ÷ 6). Przyprawami najkorzystniej zmieniającymi walory sensoryczne były papryka wędzona (w ilości 1 % i 3 %), sól (1 %) i czosnek suszony (1 %). Papryka wędzona nadała tempeh interesujący smak wędzenia i papryki, ponadto nie pogorszyła konsystencji gotowego produktu w porównaniu z produktem kontrolnym i nie zaburzyła prawidłowego procesu fermentacji. Dodatek 1 grama soli na 100 gram nasion soi (1 %) wprowadził do tempeh smak słony, który jest bardzo pożądany wśród konsumentów, a przy tym nie pogorszył konsystencji produktu końcowego. Na walory sensoryczne tempeh korzystnie wpłynął także dodatek suszonego czosnku w ilości 1 %: smak i zapach czosnkowy były wyraźnie wyczuwalne, ale nie przytłaczające, jednak w przypadku tym stwierdzono nieznaczne pogorszenie konsystencji produktu w porównaniu z próbą kontrolną.

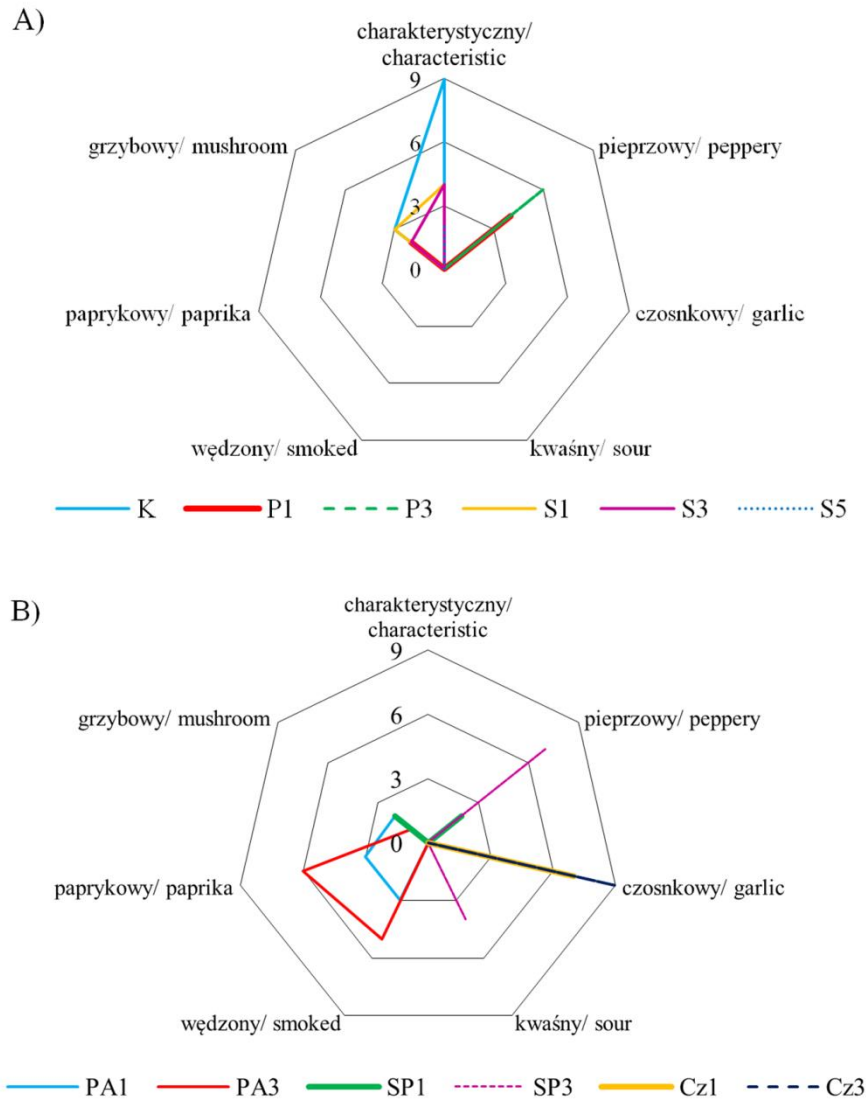
Najgorzej, jako kwaśny i bardzo gorzki, oceniono smak tempeh z dodatkiem 3 % pieprzu (P3), z mieszanką 1 % pieprzu i 3 % soli (PS3), 5 % soli (S5) oraz 3 % czosnku (Cz3). W próbach tych nie doszło do rozrostu grzybni, nasiona soi rozsypywały się, a ich powierzchnia pokryta była mazistym nalotem, który w ustach pozostawiał nieprzyjemne i długotrwałe wrażenie gorzkiej tłustości.

Naturalny smak surowego tempeh określany jest jako lekko grzybowy i typowy dla produktu powstającego z nasion soi [8]. Za smak kwaśno-słodkawy tego produktu odpowiada szereg kwasów powstających podczas fermentacji [7]. Tempeh zawiera jednak także disiarczek dimetylu – składnik, który jest bardzo wyczuwalny w produktach nawet w niewielkich ilościach. Powstaje on podczas fermentacji w wyniku rozkładu metioniny [15]. Naturalny smak tempeh uznaje się więc za mało atrakcyjny [7, 15], jednak produkt ten ma zdolność wchłaniania innych aromatów dania [10]. Ponadto walory te zmieniają się podczas wszelkich form obróbki termicznej. Po procesie smażenia bardziej wyczuwalne stają się nuty umami, słodkie i słone, a zanikają gorzkie i mdłe, jednak nadal wyczuwalny jest disiarczek dimetylu [15].



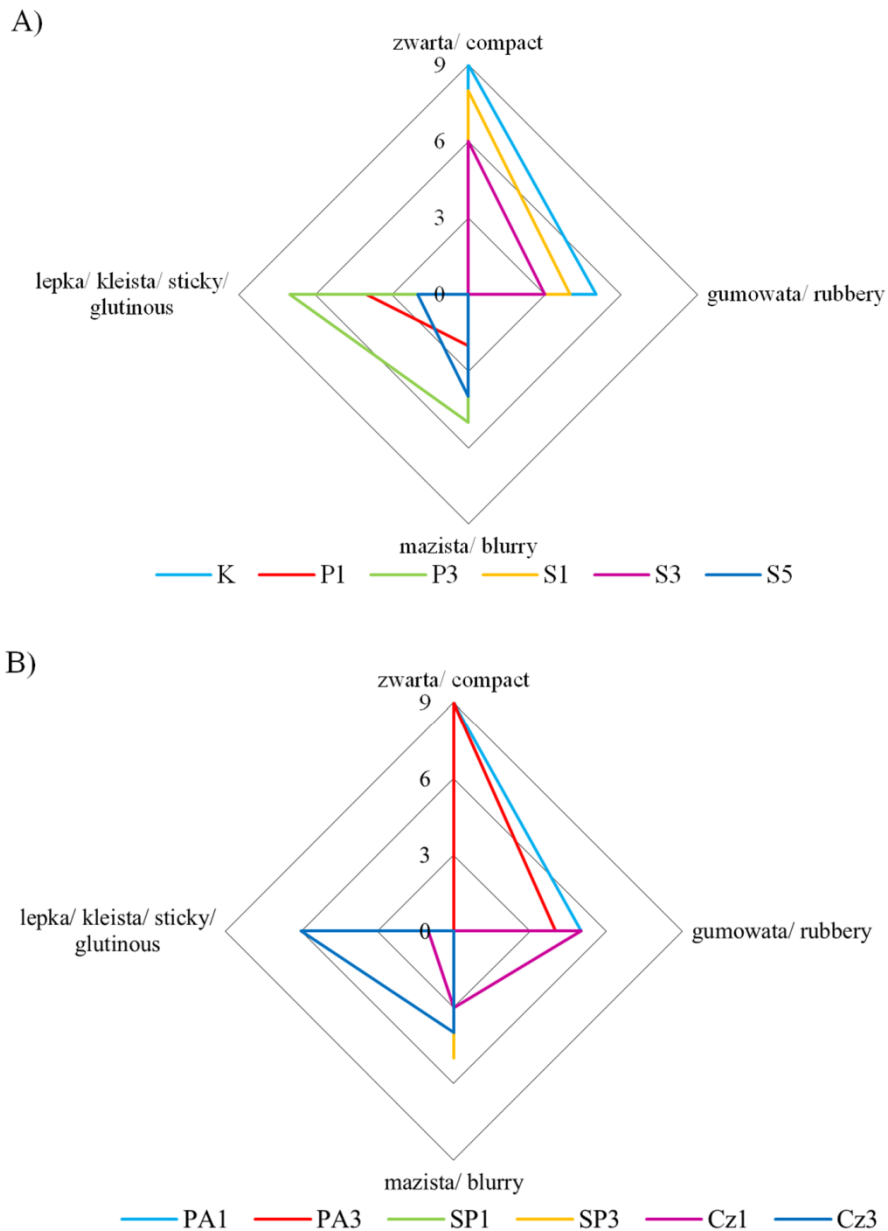
Rycina 4. Profil smakowy tempeh A) bez dodatku przypraw (K), z dodatkiem pieprzu [1 % (P1) i 3 % (P3)], soli [1 % (S1), 3 % (S3) i 5 % (S5)]; B) z dodatkiem papryki wędzonej [1 % (PA1) i 3 % (PA3)], soli i pieprzu [1 % (SP1) i 3 % (SP3)] oraz czosnku [1 % (Cz1) i 3 % (Cz3)] /

Figure 4. Taste profile of tempeh A) without seasoning (K), with the addition of pepper [1 % (P1) and 3 % (P3)], and salt [1 % (S1), 3 % (S3), 5 % (S5)]; B) with the addition of smoked paprika [1 % (PA1) and 3 % (PA3)], salt and pepper [1 % (SP1) and 3 % (SP3)], and garlic [1 % (Cz1) and 3 % (Cz3)]



Rycina 5. Profil zapachu tempeh A) bez dodatku przypraw (K), z dodatkiem pieprzu [1 % (P1) i 3 % (P3)] i soli [1 % (S1), 3 % (S3) i 5 % (S5)]; B) z dodatkiem papryki wędzonej [1 % (PA1) i 3 % (PA3)], soli i pieprzu [1 % (SP1) i 3 % (SP3)] oraz czosnku [1 % (Cz1) i 3 % (Cz3)] /

Figure 5. Aroma profile of tempeh A) without seasoning (K), with the addition of pepper [1 % (P1), 3 % (P3)], and salt [1 % (S1), 3 % (S3) and 5 % (S5)]; B) with the addition of smoked paprika [1 % (PA1) and 3 % (PA3)], salt and pepper [1 % (SP1) and 3 % (SP3)], and garlic [1 % (Cz1) and 3 % (Cz3)]



Rycina 6. Profil konsystencji tempeh A) bez dodatku przypraw (K), z dodatkiem pieprzu [1 % (P1) i 3 % (P3)] i soli [1 % (S1), 3 % (S3) i 5 % (S5)]; B) z dodatkiem papryki wędzonej [1 % (PA1) i 3 % (PA3)], soli i pieprzu [1 % (SP1) i 3 % (SP3)] oraz czosnku [1 % (Cz1) i 3 % (Cz3)] /

Figure 6. Consistency profile of tempeh A) without seasoning (K), with the addition of pepper [1 % (P1), 3 % (P3)], and salt [1 % (S1), 3 % (S3) and 5 % (S5)]; B) with the addition of smoked paprika [1 % (PA1) and 3 % (PA3)], salt and pepper [1 % (SP1) and 3 % (SP3)], and garlic [1 % (Cz1) and 3 % (Cz3)]

Udowodniono, że zmianę składu związków lotnych odpowiedzialnych za zapach tego produktu można uzyskać poprzez częściową lub całkowitą zmianę surowca podstawowego na inny [15]. Wprowadzenie przypraw poprawia akceptację tempeh wśród konsumentów, co wiąże się z ich bogatym składem chemicznym, w tym m.in. obecnością olejków eterycznych.

### Wnioski

1. Przyprawy zastosowane w początkowym etapie produkcji tempeh zmieniają jego walory sensoryczne, skład chemiczny i aktywność przeciwutleniającą.
2. Tempeh przygotowane z dodatkiem papryki wędzonej cechują się najlepszymi walorami sensorycznymi, najlepszą strukturą, najwyższą zawartością białka i bardzo wysoką aktywnością przeciwutleniającą określaną metodami DPPH, FRAP i chelatowania.
3. Czosnek granulowany w ilości 1 % poprawia walory sensoryczne tempeh oraz powoduje wzrost aktywności przeciwutleniającej przy zastosowaniu metod DPPH, FRAP i chelatowania.
4. Dodatek 3 % pieprzu czarnego powoduje wzrost ogólnej zawartości polifenoli w produkcie końcowym.

### Literatura

- [1] Ahnan-Winarno A.D., Cordeiro L., Winarno F.G., Gibbons J., Xiao H.: Tempeh: A semicentennial review on its health benefits, fermentation, safety, processing, sustainability, and affordability. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 2021, 20, 1717-1767.
- [2] Alves F.S., Cruz J.N., de Farias Ramos I.N., do Nascimento Brandão D.L., Queiroz R.N., da Silva G.V., da Silva G.V., Dolabela M.F., da Costa M.L., Khayat A.S., Rego A.R., Brasil D.S.B.: Evaluation of Antimicrobial Activity and Cytotoxicity Effects of Extracts of *Piper nigrum* L. and Piperine. *Separations*, 2023, 10, #21.
- [3] AOAC. Official method of Analysis. 18th Edition, Association of Officiating Analytical Chemists, Washington DC. 2015. Method 922.06; 923.03; 925.10; 950.36.
- [4] Benzie I.F.F., Strain J.J.: The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of 'Antioxidant Power': The FRAP Assay. *Anal Biochem*, 1996, 239, 70-76.
- [5] Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C.: Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Sci. Technol.*, 1995, 28, 25-30.
- [6] Buczkowska H., Michałoić Z., Nurzyńska-Wierdak R.: Yield and fruit quality of sweet pepper depending on foliar application of calcium. *Turk. J. Agric. For.*, 2016, 40, 222-228.
- [7] Erkan S.B., Gürler H.N., Bilgin D.G., Germec M., Turhan I.: Production and characterization of tempehs from different sources of legume by *Rhizopus oligosporus*. *LWT-Food Sci. Technol.*, 2020, 119, #108880.
- [8] Ferreira M.P., de Oliveira M.C.N., Mandarino J.M.G., da Silva J.B., Ida E.I., Carrão Panizzi M.C.: Changes in the isoflavone profile and in the chemical composition of tempeh during processing and refrigeration. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília. 2011, 46, 1555-1561.



- [9] Higasa S., Negishi Y., Aoyagi Y., Sugahara T.: Changes in free amino acids of tempe during preparation with velvet beans (*Mucuna pruriens*). J. Jpn. Soc. Food Sci., 1996, 43, 188-193.
- [10] Hoffmann M., Górnicka M., Jędrzejczyk H.: zamienniki białka zwierzęcego – technologia, wartość odżywcza, możliwości wykorzystania. Część I. Nietradycyjne źródła białka – produkty sojowe fermentowane. Postępy Tech. Przetw. Spoż., 2009, 1, 75-80.
- [11] John R., Singla A.: Functional Foods: Components, health benefits, challenges, and major projects. DRC Sustainable Future, 2021, 2, 61-72.
- [12] Joon-Goo L., Young C., Youngjae S., Young-Jun K.: Chemical composition and antioxidant capacity of black pepper pericarp. J. Appl. Biol. Chem., 2020, 63, 1-9.
- [13] Khantaphant S., Benjakul S., Ghomi M.R.: The effects of pretreatments on antioxidative activities of protein hydrolysate from the muscle of brownstripe red snapper (*Lutjanus vitta*). LWT-Food Sci. Technol., 2011, 44, 1139-1148.
- [14] Kołakowski E.: Analysis of proteins, peptides, and amino acids in foods. In S. Ötles (Ed.), Methods of analysis of food components and additives. CRC Taylor & Francis, Boca Raton, 2005, 59-96.
- [15] Kustyawati M.E., Nawansih O., Nurdjanah S.: Profile of aroma compounds and acceptability of modified tempeh. Int. Food Res. J., 2017, 24, 734-740.
- [16] Leshem M.: Salt need needs investigation. Br. J. Nutr., 2020, 123, 1312-1320.
- [17] Maitresya L.B., Surya R.: Development of tempeh made from soybeans, black-eyed beans, and winged beans. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, Gothenburg, Sweden, 2023, pp. 8-12.
- [18] Matsui R., Kanome M., Hagiwara A., Matsuda Y., Togitani T., Ikemoto N., Terashima M.: Designing antioxidant peptides based on the antioxidant properties of the amino acid side-chains. Food Chem., 2018, 245, 750-755.
- [19] Newerli-Guz J.: Właściwości przeciwutleniające przypraw na przykładzie pieprzu czarnego *Piper nigrum* L. Bromat. Chem. Toksykol., 2012, 45, 887-891.
- [20] Omuro R.O., Chikwem U.J., Chikwem N.J., Chikwem J.O.: Determination of the antibacterial effect of pepper. IHE: Lincoln Univ. J. Sci., 2017, 6, 9-15.
- [21] Pereira C., Guia de Cordoba M., Aranda E., Hernandez A., Valazquez R., Bartolome T., Martin A.: Type of paprika as a critical quality factor in Iberian chorizo sausage manufacture. CYTA - J. Food, 2019, 17, 907-916.
- [22] Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C.: Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical. Biol. Med., 1999, 26, 1231-1237.
- [23] Rizal S., Kustyawati M.E., Suharyono A.S., Suyarto V.A.: Changes of nutritional composition of tempeh during fermentation with the addition of *Saccharomyces cerevisiae*. Biodiversitas, 2022, 23, 1553-1559.
- [24] Rizal S., Kustyawati M.E., Suharyono, Putri T.S.K., Endaryanto T.: Effect of substrate type and incubation time on the microbial viability of instant starter for premium tempeh. AIMS Agric. Food, 2023, 8, 461-478.
- [25] Singh N., Yadav S.S.: A review on health benefits of phenolics derived from dietary spices. Curr. Res. Food Sci., 2022, 5, 1508-1523.
- [26] Treesuwan K., Jirapakul W., Tongchitpakdee S., Chonhenchob V., Mahakarnchanakul W., Tongkhao K.: Antimicrobial Mechanism of Salt/Acid Solution on Microorganisms Isolated from Trimmed Young Coconut. Microorganisms, 2023, 11, #873.
- [27] Turkmen N., Sari F., Velioglu Y.S.: The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. Food Chem., 2005, 93, 713-718.

- [28] Uyar G.E.Ö., Uyar B.: Effect of NaCl and KCl salts on growth and lactic acid production of *Rhizopus oryzae*. GIDA, 2016, 41, 5, 299-304.
- [29] Wulan N., Maryanto S., Mulyasari I.: The Effect of Fermentation Time on Protein and Fat Content in The Red Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Tempeh. JGK, 2021, 13, 155-160.
- [30] Zhao J., Xiong Y.L., McNear D.: Changes in structural characteristics of antioxidative soy protein hydrolysates resulting from scavenging of hydroxyl radicals. J. Food Sci., 2013, 78, C152-C159.

### THE EFFECT OF SELECTED SEASONINGS ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY AND SENSORY VALUES OF TEMPEH

#### S u m m a r y

**Background.** Tempeh is a typical product of Asian cuisine with antioxidant, anticancer, neuroprotective and cardioprotective properties. Traditionally, it is made from soybeans without the addition of seasonings, although they can improve the taste and bioactivity of the finished product. The aim of the research was to determine the effect of selected seasonings on the proximate composition, sensory values and antioxidant activity of tempeh. The research used: black pepper, salt, a mixture of salt and black pepper, smoked paprika and garlic powder. The content of dry matter, protein and non-protein nitrogen, peptides, ash and fat, the content of total polyphenols (TPC) and antioxidant activity against ABTS cation radicals (ABTS), the ability to scavenge DPPH free radicals, the ability to reduce iron(III) ions, and the ability to chelate iron(II) ions in ready tempeh were determined. Their structure and sensory values were also assessed.

**Results and conclusions.** The addition of seasonings changed the sensory properties and structure of tempeh and influenced its nutritional values and antioxidant activity. In terms of sensory evaluation, the best notes were given to tempeh with smoked paprika (1 % and 3 %), garlic (1 %) and salt (1 %), whereas the products with smoked paprika (1 % and 3 %) had the best structure. The addition of smoked paprika (1 % and 3 %) and garlic powder (3 %) resulted in a significant increase in protein content. The fat content increased in the samples with pepper (3 %), salt and pepper (1 % and 3 %) and paprika (1%), and the ash content increased in the samples with salt (3 % and 5 %) and salt and pepper (3 %). Smoked paprika (1 % and 3 %) and garlic powder (1 %) increased the antioxidant activity of tempeh.

**Key words:** soybean, smoked paprika, black pepper, salt, garlic, *Rhizopus oligosporus* 