

STUDIA I RAPORTY IUNG-PIB

ZESZYT 57(11): 9-21

2018

Grażyna Podolska*Institut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa - Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach***PLON I JAKOŚĆ ZIARNA PSZENICY OZIMEJ UPRAWIANEJ
W WARUNKACH WYSOKIEJ TEMPERATURY ORAZ STRESU SUSZY*****Słowa kluczowe:** susza, wysoka temperatura, pszenica ozima, plon, jakość ziarna i mąki**Wstęp**

Obecnie jednym z największych problemów światowych jest globalne ocieplenie, jego ocena oraz oszacowanie wpływu zmian klimatu na produkcję i bezpieczeństwo żywności. Wśród głównych parametrów charakteryzujących zmiany klimatu wymieniany jest wzrost dwutlenku węgla w atmosferze, połączony ze wzrostem temperatury. W ostatnich latach obserwuje się wzrost średniej temperatury w Polsce o 0,3 °C na dekadę, a w Europie wzrost ten szacowany jest na 0,4 °C. Do 2050 roku średnia temperatura powietrza w Europie ma wzrosnąć od 1,5 do 3°C. Konsekwencją tych zmian jest zmniejszenie ilości opadów, częstsze susze i silne wichury (18).

Pszenica jest jedną z głównych roślin o kluczowym znaczeniu w strategii żywienia ludzkości. Fakt ten tłumaczy areal jej uprawy i udział w strukturze zasiewów zarówno w świecie, jak i w Polsce (12). Głównym kierunkiem wykorzystania ziarna pszenicy jest przemysł młynarski i piekarniczy. Wymaga on ziarna charakteryzującego się odpowiednią wartością przemiałową i wypiekową, która zależy od ilości i jakości skrobi i białka. Jak wskazuje literatura przedmiotu niedobór wody oraz susza modyfikują w mniejszym lub większym stopniu plon przez cały okres wegetacji, natomiast wpływ na cechy jakościowe związany jest z występowaniem tych czynników w okresie kwitnienia oraz rozwoju ziarniaka (1, 2, 3, 8, 11, 26, 41, 42). Celem pracy jest przeanalizowanie jaki wpływ na wielkość plonu oraz cechy wartości technologicznej ziarna i mąki pszenicy ozimej mają warunki stresowe związane z występowaniem suszy i wysokiej temperatury.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Wymagania wodne pszenicy na tle innych gatunków roślin

W warunkach klimatycznych Polski o plonowaniu roślin uprawnych decydują głównie dwa elementy meteorologiczne: opady atmosferyczne i temperatura. Woda należy do związków nieorganicznych i jest niezbędna do życia wszystkich organizmów. Wywiera wpływ na szereg ważnych procesów fizjologicznych i biochemicznych, takich jak fotosynteza, transpiracja, oddychanie, regulacja temperatury. Decyduje o rozpuszczaniu składników pokarmowych i ich transporcie w konsekwencji czego, wpływa na wzrost i rozwój roślin oraz wielkość plonu i jego jakość (4, 16, 17).

Wymagania wodne roślin zależą od długości okresu wegetacji, związłości gleby oraz rejonu uprawy, są więc tym większe, im dłuższy jest okres wegetacji. Najwięcej wody potrzebuje burak cukrowy (od 500 do 550 mm), najmniej rzepak ozimy (od 200 do 220 mm). Wymagania wodne roślin zbożowych są pośrednie. Dla pszenicy ozimej wynoszą od 270 do 300 mm (9, 25); (tabela 1). Wymagania te maleją wraz ze wzrostem związłości gleby. Na glebach lekkich rośliny potrzebują o 15-60 mm więcej opadów atmosferycznych, a na ciężkich o 20-40 mm mniej niż uprawiane na glebach średnich. Obniżka plonu pszenicy ozimej na skutek niedoborów wody poniżej optymalnych opadów określona na podstawie 40 lat badań COBORU wynosi od 10 do 21% (4); (tabela 2).

Tabela 1

Potrzeby opadowe roślin w okresie wiosenno-letniej wegetacji, w mm

Roślina	Potrzeby opadowe (wg Dzieżyc i in. 1987)	Potrzeby wodne (wg Ostrowski i in. 2008)
Żyto	240-300	250-280
Pszenica ozima	230-250	270-300
Pszenica Jara	230-300	-
Jęczmień jary	240-300	360-370
Owies	250-300	290-340
Ziemniak wczesny	230-280	280-330
Ziemniak późny	350-400	430-480
Kukurydza	-	450-480
Burak pastewny	430-490	450-540
Burak cukrowy	-	500-550
Groch	260-300	-
Koniczyna czerwona	350-460	-
Lucerna mieszańcowa	-	450-500

Źródło: Chmura i in., 2009 (4)

Tabela 2

Procent obniżenia plonu gatunków roślin zbożowych w warunkach opadów niższych od optymalnych

Roślina	Zniżka plonów przy opadach mniejszych od optymalnych (%)	Opady optymalne (100% plonu)
Żyto	13-5	250-300
Pszenica ozima	21-10	200-350
Pszenica jara	19-11	200-350
Jęczmień jary	27-6	300-350
Owies	12-2	200-250

Źródło: Chmura i in., 2009 (4)

Produkcyjność pszenicy w zależności od niedoboru wody i wysokiej temperatury

Zapotrzebowanie dobowe roślin na wodę, waha się od 1 do 4 mm w fazach krytycznych. W przypadku pszenicy ozimej obejmuje on okres od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia oraz od kwitnienia do formowania ziarniaka (4, 27, 29, 30, 37). Deficyt wody w poszczególnych fazach wzrostu i rozwoju roślin wywołuje różne skutki. Susza w okresie fazy strzelania w źdźbło wpływa na zmniejszenie powierzchni asymilacyjnej liści i ogranicza przyrost organów wegetatywnych. Niedobór wody w glebie w fazach kłoszenia i kwitnienia wpływa na słabe wykształcenie kłosa, zmniejszenie liczby ziaren w kłosie, powstawanie kłosów płonych; susza obejmująca okres dojrzałości mleczonej powoduje słabe wykształcenie ziarna i ma wpływ na jego cechy jakościowe. Niedobór wody w każdym z wymienionych okresów wzrostu i rozwoju pszenicy ozimej powoduje obniżenie wskaźników wymiany gazowej (intensywności fotosyntezy, transpiracji, międzykomórkowego stężenia CO₂ oraz przewodności szparkowej (tab. 3). Ma to wpływ na zmiany morfologii rośliny i kłosa, zmniejszenie powierzchni liści, zarówno flagowego jak i podflagowego na poszczególnych pędach pszenicy, czego skutkiem jest zmniejszenie produktywności (rys. 1); (4, 22, 24, 27, 30).

Badania modelowe prowadzone w hali doświadczeń wegetacyjnych IUNG-PIB wykazały, że największą redukcję plonu ziarna pszenicy powoduje susza trwająca od fazy kłoszenia do fazy dojrzałości mleczonej, która może przyczynić się do 33% obniżki plonu ziarna. Mniejszą, ale również istotną obniżkę plonu ziarna wywołuje susza występująca w okresach od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia i od dojrzałości mleczonej do pełnej. Obniżka plonu ziarna może wynosić wówczas odpowiednio 23 i 22 % (30). Niedobór wody w poszczególnych okresach wzrostu i rozwoju roślin powoduje niekorzystne zmiany wartości cech struktury plonu: obniżenie liczby płodnych kłosek w kłosie oraz zmniejszenie: masy tysiąca ziaren (MTZ), liczby ziaren w kłosie, liczby ziaren z rośliny (tabela 4); (30).

Tabela 3

Wskaźniki wymiany gazowej liści pszenicy ozimej w warunkach zróżnicowanego uwilgotnienia podłoża

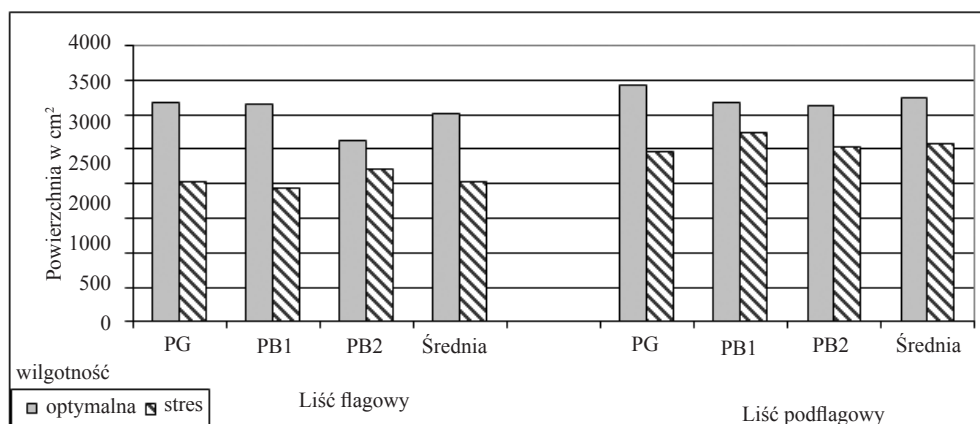
Poj. wodna (%)	Fotosynteza $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$			Transpiracja $\text{mmol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$			Międzykomórkowe stężenie CO_2 $\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$			Przewodnictwo Szparkowe $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
60-70	14,9	14,8	12,1	3,8	3,0	2,2	309	253	149	0,25	0,30	0,07
30-35	4,7	4,9	2,1	0,8	0,3	0,3	113	78	56	0,03	0,03	0,03

I – faza kłoszenia (55 BBCH)

II – faza kwitnienia (65 BBCH)

III – faza wypełniania ziarna (73-75 BBCH)

Źródło: Olszewski i in., 2007 (24)



Rys. 1 Wpływ stresu suszy w okresie od fazy strzelania w źdźbło do kłoszenia na powierzchnię liścia flagowego i podflagowego pszenicy ozimej odmiany Tonacja

Objaśnienia: PG – pęd główny, PB1 – pęd boczny pierwszy, PB2 – pęd boczny drugi

Źródło: Podolska i Hołubowicz-Kliza, 2006 (30)

Tabela 4

Plon i komponenty plonu pszenicy ozimej odmiany Tonacja w zależności od okresu występowania stresu suszy (średnie z lat 2003/2004)

Cecha	Okres występowania stresu suszy				
	strzelanie w źdźbło-kłoszenie	kłoszenie – dojrzałość młeczna	dojrzałość młeczna – dojrzałość pełna	optymalna wilgotność	NIR
Plon ziarna z wazonu (g)	58,30	53,58	59,53	75,80	4,160
Długość źdźbła (cm)	67,3	64,3	74,6	71,7	5,62
Długość kłosa (cm)	10,1	10,1	10,3	10,2	r.n
Liczba kłosek w kłosie (szt)	14,8	14,8	15,4	15,3	r.n
Liczba ziaren z rośliny (szt)	127,9	105,3	147,9	148,1	19,57
Liczba ziaren w kłosie (szt)	39,6	33,1	40,2	41,1	6,827
Masa ziarna z rośliny (g)	6,0	5,5	5,9	7,5	1,26

Tabela 4 cd.

Masa ziarna z kłosa (g)	1,850	1,719	1,609	2,068	0,383
MTZ (g)	47,88	52,18	40,93	51,54	4,177
Liczba kłosów (szt)	32	31	37	37	4,69
Plon biologiczny (g)	113,3	111,9	125,9	145,0	21,52
Masa słomy z rośliny (g)	5,6	5,9	6,6	6,9	1,14
Masa źdźbła (g)	1,7	1,9	1,8	1,9	r.n
Masa słomy z wazonu (g)	55,0	58,3	66,4	69,3	10,91

r.n. – różnice nieistotne; NIR- najmniejsza istotna różnica przy $\alpha = 0,05$

Źródło: Podolska i Hołubowicz-Kliza, 2006 (30)

Balla i in. (2) wskazują, że stres suszy oraz stres suszy wraz z wysoką temperaturą powietrza występujący na początku wypełniania ziarna wpływają w większym stopniu na plon i komponenty plonu niż tylko sama wysoka temperatura (tabela 5). Określona obniżka plonu ziarna z rośliny w przypadku stresu suszy wynosiła 57% natomiast stres suszy i wysoka temperatura powodowały obniżkę plonu w stosunku do obiektu kontrolnego wynoszącą 76%. Tymczasem stres wysokiej temperatury obniżał plon o 31%. Obniżka plonu była spowodowana niekorzystnymi zmianami wartości niektórych cech struktury plonu, głównie MTZ i liczby ziaren z rośliny. Obniżka MTZ najprawdopodobniej związana jest z ograniczoną akumulacją skrobi, bowiem jak wskazuje Labuschagne i in. (19) w warunkach wysokich temperatur synteza skrobi spowalnia lub w ogóle ustaje.

Tabela 5

Wpływ stresu suszy i wysokich temperatura na strukturalne elementy plonowania pszenicy ozimej

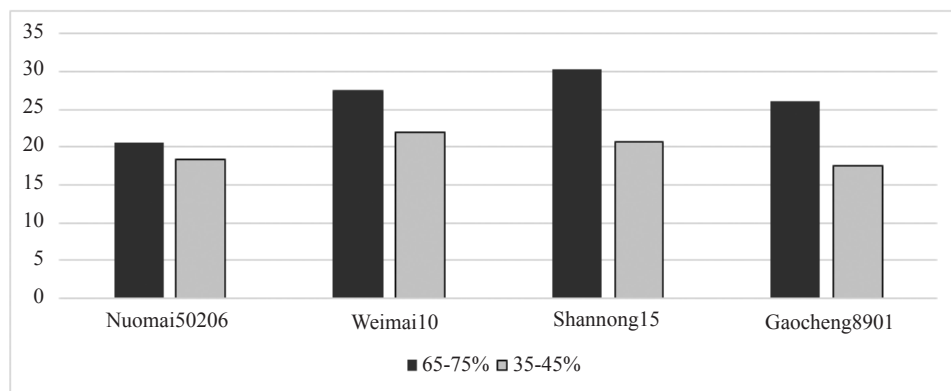
Warunki pogodowe	Plon ziarna z rośliny (g)	Liczba ziaren z rośliny (szt)	Harvest index (%)	MTZ (g)
Optymalne warunki	2,99	88,49	39,28	35,30
Wysoka temperatura	2,05	76,04	34,11	37,61
Susza	1,29	70,86	26,57	19,68
Wysoka temperatura + susza	0,72	66,30	17,87	11,57
NIR (0,05)	0,22	8,77	1,84	1,63

Źródło: Balla i in., 2011 (2)

Jakość ziarna i mąki pszenicy ozimej w zależności od niedoboru wody i wysokiej temperatury

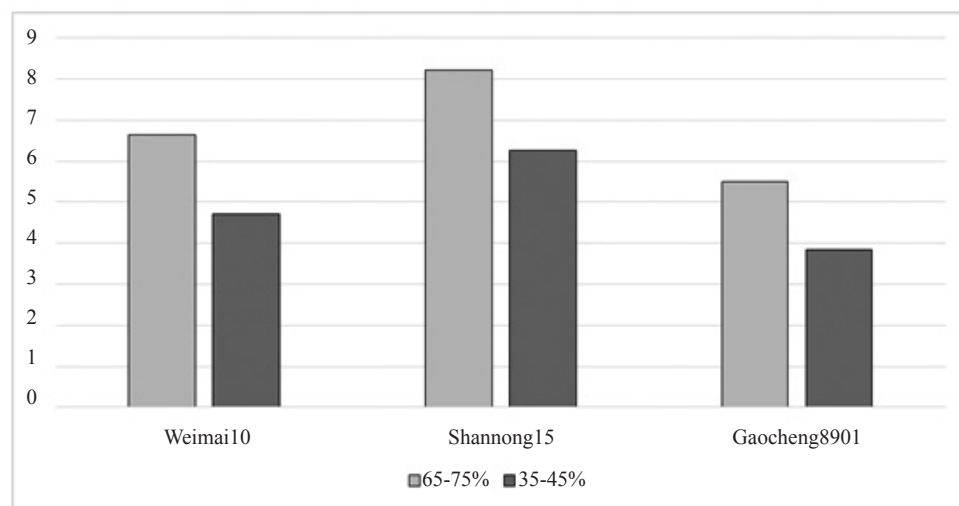
Skrobia, której zawartość w ziarnie pszenicy wynosi od 50 do 70% ma decydujący wpływ na strukturę produktów wytworzonych z pszenicy. W skład skrobi wchodzi liniowe łańcuchy amylozy i rozgałęzione amylopektyny. Warunki pogody wywierają istotny wpływ na ogólną zawartość skrobi w ziarnie pszenicy oraz stosunek amylopektyn do amylozy. Zhang i in. (39) wykazał, że niedobór wody w glebie na poziomie 35-45% ppw. skutkuje zmniejszeniem zawartości skrobi w ziarnie zarówno amylopektyny jak i amylozy (rys. 2, 3, 4). Granule skrobi mają zróżnicowane rozmiary. Wahają się one od 5,0 do 34 μm i są w dojrzałym ziarniaku w odpowiedniej

proporcji (20, 31). Wielkość ziaren skrobiowych decyduje o jej fizyczno-chemicznych właściwościach i przydatności technologicznej. Wysoka temperatura oraz niedobór wody po fazie kwitnienia wywierają istotny wpływ na syntezę oraz wzajemny stosunek granul skrobi (36) Wardlaw i Moncur (36) udowodnili, istotny wpływ wysokiej temperatury podczas wypełniania ziarna pszenicy na wzrost ilości dużych ziaren skrobi (powyżej 10 μm), natomiast zmniejszenie małych (od 5 do 10 μm). Balla i in (2), wykazali natomiast umiarkowany wpływ wysokiej temperatury 35°C/20°C (dzień/noc) na procentową ilość małych granul skrobi, natomiast istotny wpływ suszy oraz suszy i wysokiej temperatury na zmniejszenie ich ilości. Warunki stresowe wpływają nie tylko na ilość i wielkość ziaren skrobi. Badania (2, 33, 36, 39) udowodniły, że susza i wysokie temperatury powodują zmniejszenie aktywności enzymów amylolytycznych, co w konsekwencji prowadzi do zwiększenia maksymalnej lepkości ciasta.



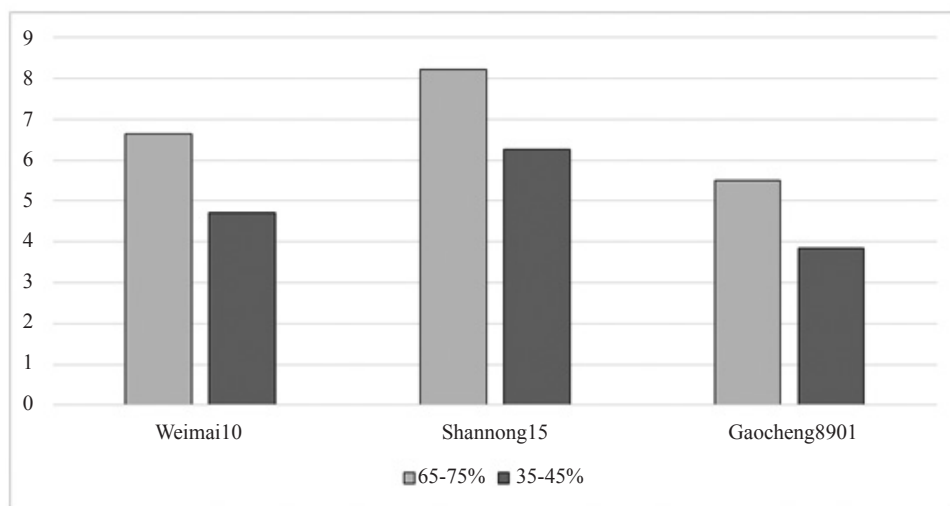
Rys. 2 Wpływ stresu suszy na ogólną zawartość skrobi (mg w ziarnie⁻¹)

Źródło: Zhang i in., 2010 (39)



Rys. 3 Wpływ stresu suszy na zawartość amylozy w skrobi odmian pszenicy ozimej (mg w ziarnie⁻¹)

Źródło: Zhang i in., 2010 (39)



Rys. 4. Wpływ stresu suszy na zawartość amylopektyny w skrobi odmian pszenicy ozimej (mg w ziarnie⁻¹)

Źródło: Zhang i in., 2010 (39)

Białka są najważniejszymi składnikami ziarna pszenicy wpływającymi na jej jakość. Z punktu widzenia przydatności technologicznej istotna jest zawartość białka w ziarnie i mące oraz ilość i wzajemne proporcje grup białek zapasowych. Odpowiednia jakość i ilość decydują bowiem o jakości mąki i pieczywa. Warunki pogodowe podczas wypełniania ziarna wpływają na akumulację białek oraz rozwój ziarniaków i mogą zmienić funkcjonalne właściwości mąki. Zmienność zarówno ilości jak i składu białka znacząco wpływa na jakość mąki i użycie jej do końcowego produktu. Ilość i jakość białka pszenicy w największym stopniu zależą od genotypu, ale jak wskazują liczne badania modyfikowane są również przez czynniki środowiska a przede wszystkim pogodę (8, 13, 15, 26, 32, 38, 40, 42).

Większość literatury przedmiotu wskazuje na zwiększenie zawartości białka w ziarnie pod wpływem suszy i wysokiej temperatury (1, 2, 3, 5, 34). Jak podaje Guttieri i in (14) wzrost zawartości białka w warunkach deficytu wody jest związany z większą akumulacją azotu, a mniejszą węglowodanów. Przeciwnie w warunkach dużej ilości opadów dochodzi do obniżenia zawartości białka poprzez rozpuszczenie azotu w węglowodanach. Największy wzrost zawartości białka obserwowany jest w przypadku jednoczesnego występowania zarówno stresu suszy jak i wysokich temperatur. Łączny wpływ suszy i wysokich temperatur jest bardzo duży, ponieważ jak podają Balla i in., (2) powoduje on w stosunku do warunków optymalnych wzrost zawartości białka o 34,4%, podczas gdy stres suszy występujący pojedynczo przyczynia się do wzrostu zawartości białka o 23,2%, natomiast stres wysokiej temperatury o 10,5%. W przeciwieństwie do większości doniesień literaturowych można spotkać udokumentowane w badaniach zmniejszenie zawartości białka w ziarnie pod wpływem suszy i wysokich temperatur (tab. 6), (23).

Wzrost zawartości białka pod wpływem czynników stresowych (wysoka temperatura, deficyt wody) nie jest związany ze wzrostem jego jakości. Jednym z wyróżników jakościowych określających jakość białka jest wskaźnik sedymentacyjny. Jak wykazały badania (1, 2) susza i wysoka temperatura powietrza w okresie wypełniania ziarna przyczyniły się do istotnego 15,8% zmniejszenia wartości wskaźnika sedymentacyjnego. Mastilovi'c i in. (23) udowodnili, że w warunkach suszy i wysokich temperatur u odmian pszenicy ozimej występuje niższa zawartość białka i glutenu w porównaniu do pogody typowej dla wielolecia. Do nieco odmiennych wniosków doszli Li i in. (21) udowadniając, że jedynie pod wpływem wysokich temperatur następuje wzrost ilości glutenu zarówno w ziarnie jak i mące (tab. 8). Mastilovi'c i in. (23) wykonując analizę jakości glutenu w procesie wypieku pieczywa, stwierdzili, że opisane wyżej czynniki stresowe powodowały degradację glutenu i jego niestabilność w procesie wypieku pieczywa. W warunkach suszy i wysokich temperatur w glutenie obserwuje się znacznie mniejszą ilość wolnych grup SH, oraz większą ilość wolnych grup aminowych wskazujących z jednej strony na przesuszenie ziarna pszenicy z drugiej na zmiany w ilości białek glutenowych (tab. 6).

Tabela 6

Wyróżniki wartości technologicznej różnych grup odmian pszenicy ozimej w warunkach niedoboru wody i wysokich temperatur

Warunki pogody	Grupy jakościowe odmian *	Zawartość białka (%)	Ilość glutenu (%)	Gluten index (%)	Gluten index w 37°C (%)
Susza i gorąco	5	13,0a	29,0	95	68
	7	12,4a	26,4	93	74
	9	13,0a	27,5	99	69
Optymalne	5	13,7a	33,3	83	49
	7	15,4b	34,8	92	69
	9	16,0b	36,8	88	63

Wyjaśnienie- klasy jakości (Mastilovi'c i in. 2017) skala od 1 do 9.

Źródło: Mastilovi'c i in. 2017 (23)

Właściwości reologiczne ciasta i jakość pieczywa

Badania reologiczne ciasta z mąki pszennej pozwalają na uzyskanie pełnej informacji o jakości mąki w porównaniu do pośrednich metod oceny wartości wypiekowej takich jak zawartość białka, ilość i jakość glutenu czy wskaźnik sedymentacyjny. Poza charakterystyką samego ciasta badania te pozwalają określić cechy glutenu. Zaletą metod oceny cech reologicznych jest badanie ciasta w warunkach zbliżonych do warunków przemysłowych produkcji pieczywa. Do metod reologicznych ciasta należą: ocena alveograficzna, farinograficzna, ekstensograficzna, amylograficzne. Ocena farinograficzna obejmuje takie cechy jak: wodochłonność mąki, rozwój ciasta, stałość ciasta, rozmiękczenie ciasta i liczbę jakości. Za pomocą ekstensografu oznacza się: maksymalny opór ciasta na rozciąganie, rozciągliwość

ciasta, energię ciasta, natomiast ocena alweograficzna obejmuje: siłę wypiekową (W), sprężystość ciasta (P), rozciągliwość ciasta L, stosunek P/L, wskaźnik rozdęcia ciasta (G) i indeks elastyczności Ie. Ocena amylograficzna pozwala na oszacowanie właściwości amyloolitycznych skrobi, poprzez oznaczenie temperatury kleikowania i maksymalnej lepkości kleiku skrobiowego.

Badania (23, 35) wykazały, że warunki stresowe istotnie wpływają na cechy reologiczne ciasta. Autorzy Ci udowodnili, że wzrost temperatury i susza podczas fazy kwitnienia i nalewania ziarna przyczyniły się do zmiany właściwości kleikowania skrobi i spowodowały niższą aktywność enzymów amyloolitycznych, prowadząc do zwiększenia maksymalnej lepkości i zmniejszenia siły wypiekowej mąki (W). Ponadto stresowe warunki uprawy spowodowały mniejszą wodochłonność mąki (tab. 7). Tsenov i in. (35) udokumentowali niekorzystny wpływ wysokich temperatur i suszy na stabilność i rozmiękczenie ciasta oraz wartość walorymetryczną. Stresowe warunki w okresie formowania ziarniaka pszenicy mają również odzwierciedlenie w jakości pieczywa. Jak podają Mastilovi'c i in. (23) oraz Tsenov i in. (35) w istotny sposób wpływają na objętość bochenka, kolor skórki i twardość miększu powodując zmniejszenie objętości chleba, jasny kolor skórki, twardszy i bardziej sprężysty miększ.

Tabela 7

Wyróżniki wartości technologicznej różnych grup odmian pszenicy ozimej w warunkach niedoboru wody i wysokich temperatur

Warunki pogody	Grupy jakościowe odmian	Wodochłonność (%)	Liczba jakości oznaczona farinograficznie	Maksymalna lepkość kleiku skrobiowego (AU)	Siła wypiekowa W
Susza i wysoka temperatura	5	58,4	69,7	1197	173
	7	58,0	67,7	683	181
	9	59,8	78,6	765	227
Optymalne	5	64,8	52,9	398	204
	7	64,1	63,8	221	288
	9	66,1	67,7	288	294

Źródło: Mastilovi'c i in., 2017 (23)

Tabela 8

Wpływ stresu suszy oraz wysokich temperatur na jakość ziarna pszenicy

Cecha	Bez stresu	Stres suszy	Stres wysokich temperatur
Zawartość białka w ziarnie (%)	12,8b	12,9b	13,4a
Zawartość białka w mące (%)	10,2c	10,5b	11,0a
Wskaźnik sedymentacyjny (ml)	15,0c	16,1b	16,6a
Sprężystość ciasta P (mm)	106,5b	115,9a	100,2c
Rozciągliwość ciasta L (mm)	100,7b	95,5c	106,8a
P/L stosunek	1,23b	1,47a	1,05c
W siła wypiekowa	337,1b	360,0a	331,1b
Objętość bochenka chleba (cm ³)	797,8b	785,7b	841,3a

Źródło: Li i in., 2013 (21)

Skład białek

O wartości wypiekowej pszenicy decyduje skład ilościowy i jakościowy grup białek glutenowych oraz ich wzajemne proporcje. Do białek glutenowych zaliczamy gliadyny rozpuszczalne w alkoholu oraz nierozpuszczalne gluteniny. Gliadyny składają się z białek monomerycznych, spośród których można wyróżnić cztery grupy: α , β , γ oraz ω . Natomiast gluteniny są białkami polimerycznymi o masie cząsteczkowej do kilkunastu milionów daltonów (Da). Wyróżnia się w nich podjednostki wysokocząsteczkowe (HMW) oraz niskocząsteczkowe (LMW). Gluteniny odpowiadają za siłę i elastyczność glutenu, natomiast gliadyny wpływają na lepkość i rozciągliwość ciasta. Zarówno siła, lepkość, jak i rozciągliwość glutenu mają wpływ na właściwości technologiczne produktów wytwarzanych z pszenicy (15). Akumulacja albumin i globulin trwa przez ok. 20 dni po kwitnieniu, po którym na ogół osiąga stały poziom. Akumulacja natomiast białek zapasowych rozpoczyna się w przybliżeniu 6 dni po kwitnieniu i trwa do końca okresu napełniania ziarna (13, 28).

Czynniki stresowe: deficyt wody i wysoka temperatura oraz czas trwania stresu wywierają istotny wpływ na skład frakcyjny białek (albuminy, globuliny, gliadyny i gluteniny) oraz ich wzajemny stosunek (1, 10, 38, 41, 42) (tab. 9). Badania Balla i in. (1) wykazały istotny wzrost frakcji albumin i globulin pod wpływem wysokich temperatur w porównaniu do obiektu kontrolnego, oraz ich zmniejszenie pod wpływem niedoboru wody w glebie. Z kolei inne badania (2) wykazały, istotny wpływ stresu suszy na poziomie 40-45% ppw. oraz wysokich temperatur (35/20°C dzień/noc) utrzymujących się przez 15 dni od czasu pełni kłoszenia pszenicy na skład białek (glutenin, gliadyn, albumin i globulin), skutkujący zmniejszeniem stosunku glutenin do gliadyn. Zmiany te powodowały pogorszenie jakości białka pomimo zwiększenia jego ilości. Pogorszenie jakości białka było obserwowane głównie w warunkach jednoczesnego wystąpienia stresu suszy i wysokiej temperatury, natomiast zmian w ilości frakcji białkowych i pogorszenie jego jakości nie obserwowano pod wpływem jedynie wysokiej temperatury. Daniel i Triboï (6) oraz Daniel i Triboï (7) stwierdzili, że wysoka temperatura wpływa na wzrost zawartości białka, jednocześnie zmieniając proporcję frakcji białek. Udokumentowali wzrost udziału frakcji ω i α/β , zmniejszenie natomiast proporcji γ gliadyn) (tab.10).

Tabela 9

Fracje białek w ziarnie pszenicy (ekstrakt ze 100 mg mąki) w warunkach stresu wodnego
(badania własne, niepublikowane)

Odmiana	Albuminy + globuliny*	Gliadyny*			Gluteniny*	
		ω	α/β	γ	HMW	LMW
Tonacja - kontrola	16623,0	3119,5	31752,5	14240,5	8542,5	31838,0
Tonacja - stres	18341,0	4071,5	40238,5	16147,5	10087,0	36591,0
Sukces - kontrola	15921,0	2654,0	17001,0	9869,5	9487,0	31612,5
Sukces - stres	17313,0	5047,0	31642,0	13228,5	13710,5	40132,5
Nawra - kontrola	20916,5	2879,5	22986,0	13382,5	14624,5	36888,5
Nawra - stres	20491,0	2568,5	21201,5	12641,0	13803,0	36966,0

* - powierzchnia pików wyrażona jako mAU-s.

Źródło: Dziuba i Fornal, 2009 (10)

Tabela 10

Wpływ temperatury na zawartość białka i skład frakcyjny gliadyn

Temperatura	Masa ziarniaka (mg)	Zawartość białka (%)	Procentowa zawartość frakcji gliadyn		
			ω	α/β	γ
Niska	54,4	11,7	6,35	56,3	35,9
Optymalna	42,4	13,9	6,86	60,5	31,5
Wysoka	30,5	16,0	8,73	63,0	27,2

Źródło: Daniel i Triboï, 2002 (2)

Podsumowanie

Analiza wpływu warunków stresowych (suszy i wysokich temperatur) w uprawie pszenicy na poziom plonowania oraz cechy jakości technologicznej ziarna i mąki pszenicy wskazuje, że konsekwencją trwających zmian klimatu (susza, wysoka temperatura) może być zmniejszenie poziomu plonowania oraz zmiany wartości cech jakościowych, które mogą obejmować zarówno właściwości skrobi jak i białek glutenowych. Badania wykazują również, że największe zmiany będą występowały w warunkach jednoczesnego niedoboru wody i wysokich temperatur.

Literatura

1. Balla K., Rakszegi M., Bencze S., Karsai I., Veisz O.: Effect of high temperature and drought on the composition of gluten proteins in martonvásár wheat varieties. *Acta Agronomica Hungarica*, 2010, **58**(4): 343–353.
2. Balla K., Rakszegi M., Li Z., Békés F., Bencze S., Veisz O.: Quality of winter wheat in relation to heat and drought shock after anthesis. *Czech J. Food Sci.*, 2011, **29**:117–128.
3. Bencze S., Veisz O., Bedő Z.: Effects of high atmospheric CO₂ and heat stress on phytomass, yield and grain quality of winter wheat. *Cereal Research Communications*, 2004, **32**:75–82.
4. Chmura K., Chylińska E., Dmowski Z., Nowak L.: Rola czynnika wodnego w kształtowaniu plonu wybranych roślin polowych. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich*. PAN, Oddział w Krakowie, 2009, **9**:33–44.
5. Ciaffi M., Tozzi L., Borghi B., Corbellini M., Lafiandra D.: Effect of heat shock during grain-filling on the gluten protein composition of bread wheat. *Journal of Cereal Science*, 1996, **24**: 91–100.
6. Daniel C., Triboï E.: Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science*, 2000, **32**:45–56.
7. Daniel C., Triboï E.: Changes in wheat protein aggregation during grain development: effects of temperatures and water stress. *European Journal of Agronomy*, 2002, **16**:1–12.
8. Dupont F.M., Hurkman W.J., Vensel W.H., Tanaka C., Kothari K.M., Chung O.K., Altenbach S.: Protein accumulation and composition in wheat grains: effects of mineral nutrients and high temperature. *Eur. J. Agron.*, 2006, **25**: 96–107.
9. Dzieżyc J., Nowak L., Panek K.: Dekadowe wskaźniki potrzeb opadowych roślin uprawnych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 1987, **314**: 11–33.
10. Dziuba J., Fornal L.: Biologicznie aktywne peptydy i białka żywności. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne Warszawa. ISBN 978-83-204-3582-5. 2009, ss 476.
11. Erekul O., Köhn W.: Effect of weather and soil conditions on yield components and bread-making quality of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) and winter triticale (*Triticosecale Wittm.*) varieties in North-East Germany. *J. Agron. Crop Sci.*, 2006, **192**: 452–464.

12. FAO 2017. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>
13. Gupta R.B., Masci S., Lafiandra D., Bariana H.S., Mac-Ritchie F.: Accumulation of protein subunits and their polymers in developing grains of hexaploid wheats. *Journal of Experimental Botany*, 1996, **47**: 1377–1385.
14. Guttieri M.J., McLean R., Stark J.C., Souza E.: Managing irrigation and nitrogen fertility of hard spring wheats for optimum bread and noodle quality,” *Crop Science*, 2005, **45(5)**: 2049–2059.
15. Ikeda T., Nagamine T., Fukuoka H., Yano H.: Identification of new low-molecular-weight glutenin subunit genes in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 2002, **104**: 680–687.
16. Kocoń A., Podleśna A.: Wstępna ocena efektywności fotosyntetycznej wybranych odmian pszenicy ozimej w warunkach stresu wodnego. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 2004, **496**, 259–266.
17. Kocoń A., Podolska G.: Wpływ niedoboru wody w glebie na plon i jakość ziarna wybranych odmian pszenicy ozimej. *Fragm. Agron.* 2008, **25(1)**: 167–176.
18. Kozyra J.: Wpływ prognozowanych zmian temperatury powietrza na fenologię zbóż ozimych w Polsce. *Monografie i Rozprawy Naukowe, IUNG-PIB Puławy*, 2013, **(40)**: ss114.
19. Labuschagne M.T., Moloi J., Biljon A.: Abiotic stress induced changes in protein quality and quantity of two bread wheat cultivars. *Journal of Cereal Science*, 2016, **69**: 259–263.
20. Lewandowicz G., Mączyński M.: Chemiczna modyfikacja skrobi. cz. II. Reaktywność skrobi różnych gatunków roślin. *Chemik*, 1990, **3**: 69–71.
21. Li, Y., Wu, Y., Hernandez-Espinosa, Pena, R.J.: The influence of drought and heat stress on the expression of end-use quality parameters of common wheat. *J. Cereal Sci.* 2013, **57**: 73–78.
22. Małeczka I.: Studia nad plonowaniem pszenicy ozimej w zależności od warunków pogodowych i niektórych czynników agrotechnicznych. *Rocz. AR Poznań, Rozpr. Nauk.* 2003, **335**, 121.
23. Mastilović J., Živančev D., Lončar E., Malbaša R., Hristovd N., Kevrešana Z.: Effects of high temperatures and drought during anthesis and grain filling period on wheat processing quality and underlying gluten structural changes. *SCI Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com)* 2017, DOI 10.1002/jsfa.8784.
24. Olszewski J., Pszczółkowska A., Kulik T., Fordoński G., Płodzień K., Okorski A., Wasielewska J.: Wpływ deficytu wodnego na wskaźniki wymiany gazowej, produktywność i zdrowotność ziarna odmian pszenicy ozimej. *Acta Sci. Pol., Agricultura* 2007, **6(4)**: 33–42.
25. Ostrowski J., Łabędzki L., Kowalik W., Kanecka-Geszke E., Kasperska-Wołowicz W., Smarzyńska K., Tusiński E.: Atlas niedoborów wodnych roślin uprawnych i użytków zielonych w Polsce. *Falenty–Warszawa, Wyd. IMUZ*, 2008, 19–32.
26. Ozturk A., Ayolin F.: Effect of water stress at various growth stages on some quality characteristics of winter wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 2004, **190(2)**: 93–99.
27. Panasiewicz K., Koziara W.: Plonowanie i wartość siewna ziarna pszenicy ozimej w zależności od uwarunkowań wodnych i sposobu uprawy roli. *Fragm. Agronom.* 2007, **4(96)**: 65–71.
28. Panozzo J.F., Eagles H.A., Wootton M.: Changes in protein composition during grain development in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2001, **52**: 485–493.
29. Podolska G.: Wpływ niedoboru wody w glebie na masę ziarna i elementy struktury plonu pszenicy ozimej. B. Naganowska, P. Kachlicki, P. Krajewski (red.), *Genetyka i genomika w doskonaleniu roślin uprawnych*, wyd. Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu, 2009: 155–163
30. Podolska G., Hołubowicz-Kliża G.: Reakcja pszenicy ozimej odmiany Tonacja na stres suszy, *Roczniki AR w Poznaniu*, 2006, **66**: 277–285.
31. Ratuszniak E., Kubas A.: Wykorzystanie metody mikroskopowej do badania wielkości ziaren skrobi u różnych gatunków roślin. *Słupskie Prace Biologiczne*. 2007, **4**: 93–107.
32. Singh S., Gupta A., K, Kaur N.: Influence of Drought and Sowing Time on Protein Composition, Antinutrients, and Mineral Contents of Wheat *The Scientific World Journal* 2012, doi:10.1100/2012/485751).
33. Singh S., Singh G., Singh P., Singh N.: Effect of water stress at different stages of grain development on the characteristics of starch and protein of different wheat cultivars. *Food Chemistry*, 2008, **108**: 130–139
34. Stone P.J., Gras P.W., Nicolas M.E.: The influence of recovery temperature on the effects of a brief heat shock on wheat. III. Grain protein composition and dough properties. *Journal of Cereal Science*, 1997, **25**: 129–141.

35. Tsenov N., Atanasova N., Stoeva D., Tsenovae I.: Effects of drought on grain productivity and quality in winter bread wheat Bulgarian Journal of Agricultural Science, 2015, 21(3): 592-598.
36. Wardlaw I.F., Moncur L.: The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. Australian Journal of Plant Physiology, 1995, 22: 391-397.
37. Weber R., Zalewski D.: Plonowanie odmian pszenicy ozimej w zróżnicowanych warunkach środowiskach. Biul. IHAR 2004, 233, 17-28.
38. Yang F, Jørgensen AD, Li H, Søndergaard I, Finnie C, Svensson B.: Implications of high-temperature events and water deficits on protein profiles in wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Vinjett) grain. Proteomics 2011, 11:1684-1695.
39. Zhang T., Wang Z., Yin Y., Cai R., Yan S., Li W.: Starch content and granule size distribution in grains of wheat in relation to post-anthesis water deficits. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010, 196: 1-8.
40. Zhao C.X., He M.R., Wang Z.L., Wang Y.F., Lin Q.: Effects of different water availability at post-anthesis stage on grain nutrition and quality in strong-gluten winter wheat. Comptes Rendus Biologies, 2009, 332: 759-764.
41. Zhao H., Dai T., Jiang D., Cao W.: Effects of high temperature on key enzymes involved in starch and protein formation in grains of two wheat cultivars. J. Agron. Crop Sci., 2008, 194: 47-54.
42. Zhu J., Khan K.: Effects of genotype and environment on glutenin polymers and bread making quality, Cereal Chemistry, 2001, 78(2): 125-130.

Adres do korespondencji:

prof. dr hab. Grażyna Podolska
Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
IUNG-PIB
ul. Czartoryskich 8, 24-100 Puławy
tel. 81 4786 817
e-mail: aga@iung.pulawy.pl

