BIULETYN INSTYTUTU HODOWLI I AKLIMATYZACJI ROŚLIN
E-ISSN: 2657-8913 DOI: 10.37317/biul-2026-0004

Wyzwania w uprawie i hodowli wybranych gatunków traw rodzaju kostrzewa w kontekście zmian klimatu w Polsce

Challenges in the Cultivation and Breeding of Selected Fescue (*Festuca*) Species in the Context of Climate Change in Poland

Gabriela Skowron

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy; Zakład Bioenergetyki, Analiz Jakości i Nasiennictwa

g.skowron@ihar.edu.pl

Zmiany klimatu obserwowane w Polsce, obejmujące wzrost temperatury, wydłużanie sezonu wegetacyjnego, większą zmienność rozkładu opadów oraz częstsze występowanie susz i ekstremów pogodowych, zwiększają znaczenie gatunków traw o wysokiej trwałości i zdolności adaptacyjnych. W pracy dokonano przeglądu informacji dotyczących genetyki i hodowli, zastosowania praktycznego, agrotechniki oraz reakcji kostrzew na zmieniające się warunki środowiskowe. Analizą objęto 163 pozycji bibliograficznych, obejmujących przede wszystkim dorobek polskich ośrodków badawczych, uzupełniony najnowszą literaturą zagraniczną, raportami klimatycznymi i dokumentami COBORU. Szczególną uwagę poświęcono kostrzewie łąkowej (*Festuca pratensis* Huds.), czerwonej (*F. rubra* L.) i trzcinowej (*F. arundinacea* Schreb.). Omówiono znaczenie zmienności ekotypowej i odmianowej, mieszańców *Lolium* × *Festuca*, poliploidyzacji oraz współczesnych metod genomowych. Przedstawiono także zależność produktywności od stanowiska, nawożenia, sposobu użytkowania i dostępności wody oraz zróżnicowane zastosowania kostrzew w produkcji pasz, nasion, muraw, rekultywacji i wykorzystaniu biomasy. Wyniki badań fizjologicznych i molekularnych wskazują, że tolerancja na stresy abiotyczne jest cechą wieloczynnikową, zależną od gatunku i genotypu, a szczególnego znaczenia nabierają mechanizmy związane z gospodarką wodną, fotosyntezą, systemem korzeniowym, ochroną antyoksydacyjną i aklimatyzacją termiczną. Zmienny klimat zwiększa potrzebę hodowli materiałów łączących stabilną produktywność, trwałość i zdolność do regeneracji w warunkach współwystępowania kilku stresorów.

Słowa kluczowe: agrotechnika, fenologia, *Festuca*, hodowla roślin, susza, tolerancja stresów abiotycznych, użytki zielone, zmiany klimatu

Climate changes observed in Poland—including rising temperatures, an extended growing season, greater variability in precipitation patterns, and an increased frequency of droughts and extreme weather events—heighten the importance of grass species with high persistence and adaptive capacity. This paper provides a review of information regarding the genetics, breeding, practical application, agrotechnique, and response of fescues to changing environmental conditions. The analysis covers 163 bibliographic references, primarily comprising the achievements of Polish research centers, complemented by the latest international literature, climate reports, and COBORU (Research Centre for Cultivar Testing) documents. Particular attention is paid to meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.), red fescue (*F. rubra* L.), and tall fescue (*F. arundinacea* Schreb.). The significance of ecotypic and varietal variation, *Lolium* × *Festuca* hybrids, polyploidization, and modern genomic tools is discussed. Furthermore, the dependence of productivity on site conditions, fertilization, management type, and water availability is presented, along with the diverse applications of fescues in forage and seed production, turfgrass, land reclamation, and biomass utilization. Results from physiological and molecular studies indicate that abiotic stress tolerance is a complex, multigenic trait dependent on both species and genotype, with mechanisms related to water management, photosynthesis, the root system, antioxidant defense, and thermal acclimation gaining paramount importance. The changing climate underscores the need for breeding plant materials that combine stable productivity, persistence, and recovery capacity under the co-occurrence of multiple stressors.

Key words: abiotic stress tolerance, agrotechnique, climate change, drought, phenology, *Festuca*, grasslands, plant breeding

Wprowadzenie

Globalne ocieplenie przestało być odległą prognozą – stało się codziennością polskiej wsi. Współczesne rolnictwo w Polsce musi mierzyć się z permanentną niestabilnością warunków termicznych, opadowych, falami upałów oraz chronicznymi suszami. Analizy historyczne pokazują dynamikę tych zmian. Pomiary prowadzone w Warszawie od lat 80. XVIII wieku wykazały, że o ile długoterminowe tempo wzrostu średniej temperatury wynosiło 0,7 °C na 100 lat, o tyle sam początek XXI wieku (lata 2000–2012) przyniósł gwałtowny skok aż o 0,12 °C. Ostatnie cztery dekady zapisały się jako najgorętszy okres w historii polskich obserwacji instrumentalnych (Karaczun i in. 2015). Ostatnie lata przyniosły dalszą eskalację ekstremów termicznych. Według danych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowego Instytutu Badawczego rok 2024 zapisał się jako najcieplejszy rok w historii polskich pomiarów instrumentalnych. Średnia obszarowa temperatura powietrza w Polsce wyniosła wówczas +10,9 °C i była o +2,2 °C wyższa od

Redaktor Wiodący / Leading Editor
Dariusz R. Mańkowski

CC BY SA

średniej rocznej wieloletniej z okresu normalnego 1991–2020. Anomalie termiczne objęły cały kraj, osiągając wartości od +1,8 °C do +2,7 °C, przy czym największe odchylenia zanotowano w rejonie Warszawy i Mławy. Szczególnie ekstremalny charakter miał luty 2024 roku z anomalią +5,8 °C oraz marzec z anomalią +3,6 °C, w którym odnotowano rekordową temperaturę 25,5 °C w Tarnowie (IMGW-PIB 2025). Kolejny rok, 2025, potwierdził trwałość tych tendencji, osiągając średnią obszarową temperaturę 9,5 °C (+0,8 °C powyżej normy), co uplasowało go na 9. pozycji wśród najcieplejszych lat od połowy XX wieku. Sumaryczny wzrost temperatury w Polsce od 1951 roku szacuje się na ponad 2,0 °C, przy czym najszybsze ocieplenie – przekraczające 2,4 °C – dotyka Pojezierza, Podkarpacie i Karpaty (IMGW-PIB 2026). W 2024 roku uśredniony opad dla kraju wyniósł 607,8 mm (99,4% normy), co formalnie kwalifikowało ten rok jako „przeciętny", mimo że lokalnie notowano anomalie od poniżej 500 mm do ponad 1000 mm (IMGW-PIB 2025). Jednak już rok 2025 obnażył brutalną prawdę o postępującym deficycie wody – średni opad roczny spadł do zaledwie 546 mm (89,31% normy), spychając Polskę w ramy oficjalnego „roku suchego" według klasyfikacji Kaczorowskiej (IMGW-PIB, 2026). Dla roślin oznacza to drastyczne zmiany. Z jednej strony, w horyzoncie do 2100 roku zredukowana zostanie liczba dni mroźnych i przymrozkowych w chłodnej porze roku. Z drugiej strony, okres wegetacyjny wydłuża się w tempie błyskawicznym – tylko między 1971 a 2012 rokiem zyskał średnio 20 dni, co zmusza do całkowitej redefinicji tradycyjnego kalendarza agrotechnicznego. Największym wyzwaniem dla współczesnej produkcji roślinnej nie jest jednak sama temperatura, lecz całkowite załamanie się dotychczasowej struktury opadów. Zanikają zbawienne dla gleby opady ciągłe oraz drobne (poniżej 1,0 mm), a ich miejsce zajmują drastycznie wydłużające się okresy bezopadowe (sięgające nawet 5 dni na dekadę) przerywane gwałtownymi ulewami o charakterze nawalnym (powyżej 50 mm na dobę) (IOŚ-PIB, 2020). Gwałtowne zjawiska pogodowe – od huraganowych wiatrów i gradu po susze – bezpośrednio determinują efektywność produkcji rolniczej. Szczególnie wrażliwym elementem produkcji roślinnej są trwałe użytki zielone, których wzrost i akumulacja biomasy pozostają silnie uzależnione od temperatury, dostępności wody oraz rozkładu opadów w okresie wegetacyjnym. Zmiany warunków pogodowych wpływają bezpośrednio na produkcyjność łąk i pastwisk. Niedobór wody i rozkład opadów w okresie wegetacyjnym należą do kluczowych czynników ograniczających plon (Golińska i in. 2016b). Analiza danych meteorologicznych z Wielkopolski wykazała, iż wzrost temperatury powietrza (szczególnie w czerwcu i sierpniu) w latach 1985–2014, był związany ze zmniejszeniem plonu suchej masy użytków zielonych, wskazując na istotne znaczenie narastającego stresu cieplnego i wodnego dla produkcyjności tych zbiorowisk (Goliński i in. 2018).

Poszukiwanie gatunków roślin zdolnych do funkcjonowania w warunkach stresowych staje się jednym z kluczowych kierunków badań. Wśród traw szczególną uwagę zwracają kostrzewy (*Festuca* spp.), które łączą wysoką odporność środowiskową z istotnym znaczeniem użytkowym. Rodzaj kostrzewa obejmuje 621 gatunków o zróżnicowanej morfologii i różnych strategiach adaptacyjnych (Royal Botanic Gardens 2026). Kostrzewy są zazwyczaj roślinami wieloletnimi, o budowie kępowej lub luźnokępowej. Charakteryzują się dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym oraz zdolnością do efektywnego wykorzystania zasobów wodnych i pokarmowych. Rodzaj ten należy w Polsce do grupy traw o największym znaczeniu gospodarczym (Golińska 2013). Żywotność niektórych kostrzew zwiększa się wraz ze wzrostem liczby chromosomów. Gatunki mogą tworzyć krzyżówki w obrębie rodzaju jak i między rodzajami. Pomiędzy gatunkami kostrzew występują różnice morfologiczne oraz znaczne zróżnicowanie we wzroście i rozwoju. Pod względem genetycznym gatunki tego rodzaju wykazują polimorfizm kariotypu, spotykane są gatunki diploploidalne, tetraploidalne, heksaploidalne, oktoploidalne i dekapolidalne. (Sulinowski 1982). Gatunki kostrzew spotykane w Polsce występują na łąkach niżowych (do 300m n.p.m), na łąkach pogórza (300-500m n.p.m.) oraz na łąkach górskich powyżej 500m n.p.m. (Lutyńska 1993). Według atlasu-roślin.pl we florze Polski znajduje się 18 taksonów należących do rodzaju kostrzewa. W krajowym rejestrze COBORU zarejestrowanych jest: 10 odmian kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis* Huds.), 31 odmian kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.), 20 odmian kostrzewy trzcinowej *(Festuca arundinacea* Schreb.), 6 odmian kostrzewy szczeciniastej (*Festuca trachyphylla* (Hack.), 1 odmiana kostrzewy nitkowanej (*Festuca filiformis* Pourr) oraz 1 odmiana kostrzewy owczej (*Festuca ovina* L.) (COBORU 2026).

Genetyka i hodowla kostrzew

Początki hodowli traw w dzisiejszym pojęciu miały miejsce na ziemiach polskich w drugiej połowie XIX wieku. Jednak wyraźny rozwój polskiej

hodowli traw nastąpił po I wojnie światowej. Do 1929 roku wyhodowano 31 odmian populacyjnych, a do 1939 aż 89. W ubiegłym wieku wyhodowano 276 odmian. Szczególnie dużą efektywność hodowli osiągnięto, poza okresem międzywojennym, w ostatnim dwudziestoleciu XX wieku, wyhodowano ponad 30% wszystkich odmian (Martyniak 2004). Efektywna hodowla traw uwzględnia zarówno potencjalne możliwości produkcyjne w określonych warunkach glebowych i klimatycznych, jak i wartość pokarmową i sposób użytkowania. Takie podejście pozwala na wyselekcjonowanie materiałów wyjściowych o dużej zmienności genotypowej, co jest podstawą do wyhodowania nowych i lepszych traw pastewnych. Badania z zakresu genetyki stosowanej można by umownie podzielić na dwa etapy. Pierwszy z nich to prace dążące do zwiększenia efektywności zmienności genotypowej. Drugi to opracowanie metod gromadzenia najkorzystniejszych genów w możliwie małej populacji, która następnie staje się odmianą. Naturalnym źródłem zmienności w obrębie gatunku są dziko rosnące ekotypy. Szczególnie cenne są ekotypy traw pochodzące z różnych regionów Polski, ponieważ są najlepiej przystosowane do lokalnych warunków glebowych i klimatycznych (Góral i Góral 1987). Bioróżnorodność zarówno międzygatunkowa jak i wewnątrzgatunkowa, stanowiła w przeszłości obok wiedzy i umiejętności hodowców oraz warsztatu twórczego, decydujący czynnik sukcesów polskiej hodowli traw – od wczesnego zbieractwa nasion dzikich ekotypów, do hodowli twórczej tj. selekcja masowa, hodowla rekombinacyjna i mutacyjna (Martyniak 2003). W związku z sukcesywnym zawężaniem naturalnej i antropogenicznie kształtowanej bioróżnorodności siedlisk, problem wykorzystania zasobów genowych, zwłaszcza pochodzących z form dzikich, ma szczególne znaczenie. Jak podają Martyniak i Martyniak (2010) wśród krajowych odmian rodzaju kostrzewa wyhodowanych w XX wieku z ekotypów o znanej lokalizacji i pochodzeniu, można wyróżnić: 7 odmian kostrzewy czerwonej, 8 odmian kostrzewy łąkowej, 4 odmiany kostrzewy owczej, 4 odmiany kostrzewy różnolistnej (*Festuca heterophylla*) oraz 3 odmiany kostrzewy trzcinowej. Znaczenie ekotypów w polskiej hodowli kostrzew wyartykułowano również we wcześniejszych pracach (Martyniak i in 2009; Martyniak i Prończuk 2004). Wśród 62 polskich odmian kostrzew wyhodowanych w ubiegłym wieku, 40,3% stanowiły odmiany o pochodzeniu ekotypowym (Tab. 1.).

Temat przydatności ekotypów w hodowli nowych odmian kostrzewy czerwonej został także przytoczony w pracach Prończuka i współautorów (rok publikacji). Autorzy publikacji zaznaczają, iż, badany przez nich ekotyp Luba był przykładem trawy dobrze wyselekcjonowanej do procesów hodowlanych, z uwagi na uzyskanie mieszańców lepszych od odmiany wzorcowej Nimba. Niemniej podkreślają wadliwość ekotypu Luba jako bezpośredniego materiału do utworzenia odmiany, ze względu na złe wiązanie nasion (Prończuk i Sawicki 2004). W in-

Tabela 1
Table 1

Geneza odmian traw uprawianych w XX wieku według gatunków
Origin of grass cultivars grown in the 20th century by species

Gatunek Species	Liczba odmian / Number of varieties								
	wyhodowane developed	źródła pochodzenia / sources of origin				metody hodowli breeding methods		proweniencja provenance	
		ekotypy ecotypes	materiał handlowy commercial material	odmiany varieties	rody lines	selekcja selection	krzyżowanie crossing	krajowe domestic	zagraniczne foreign
Kostrzewa łąkowa (*Festuca pratensis*)	22	8	3	6	1	10	7	14	8
Kostrzewa trzcinowa (*Festuca arundinacea*)	10	5	—	5	1	5	5	7	7
Kostrzewa czerwona (*Festuca rubra*)	19	3	3	7	1	8	6	7	10
Kostrzewa owcza (*Festuca ovina*)	10	8	—	1	—	8	1	7	2
Kostrzewa różnolistna (*Festuca heterophylla*)	1	1	—	—	—	1	—	1	—

Źródło/Source: Martyniak & Martyniak (2010) – modyfikowane/modificated

nej publikacji autorzy zbadali odporność 43 ekotypów kostrzewy czerwonej na główne choroby tj. pleśń śniegowa powodowana przez (*Microdochium nivale*), plamistość liści powodowana przez grzyby z rodzaju (*Drechslera* i *Colletotrichum graminicola*), głownia plamista powodowana przez *Entyloma dactylidis* oraz czarcie kręgi powodowana przez *Basidiomycetes* spp. Przeprowadzone doświadczenie wykazało małą przydatność badanych ekotypów jako bezpośredniego materiału hodowlanego, ponieważ pod względem odporności na choroby oraz wartości trawnikowej, badane ekotypy nie przewyższyły popularnych odmian znajdujących się ówcześnie na rynku (Prończuk i Prończuk 2004).

Zagadnienie przydatności ekotypów kostrzewy trzcinowej do przydatności w hodowli zbadali m.in. Sawicki i Dąbrowska (rok 2004). W jednym z artykułów autorzy opisują doświadczenie z wykorzystaniem 16 ekotypów w latach 1999–2002. W czasie prowadzonej uprawy monitorowano: plon suchej masy, liczbę pędów wegetatywnych i generatywnych, wysokość roślin, długość kwiatostanów, przezimowanie, odporność na choroby, długość i szerokość blaszki liściowej, początek kłoszenia, początek kłoszenia oraz walory ozdobne. Wyniki przeprowadzonego doświadczenia wykazały dużą zmienność ekotypów pod względem badanych cech, z czego plony suchej masy były skorelowane ze wszystkimi badanymi cechami. Dwa wyselekcjonowane ekotypy plonowały lepiej od odmiany wzorcowej z kolei cztery na statystycznie zbliżonym poziomie. We wcześniejszym artykule zbadano 21 ekotypów z kolekcji w Elizówce, porównując otrzymane wyniki z odmianą wzorcową. Zakres badań dotyczył: plony zielonej masy, liczbę pędów generatywnych i wegetatywnych, wysokość roślin, długość kwiatostanów, długość i szerokość blaszki liścia odziomkowego i flagowego, początku kłoszenia i kwitnienia, przezimowania oraz porażenia chorobami. Wyniki badań wykazały ponownie dużą zmienność w obrębie badanych cech tj. plonowanie, liczba pędów, cechy morfologiczne i fenologiczne oraz odporności. Tylko jeden ekotyp nieistotnie lepiej plonował od odmiany wzorcowej (Sawicki 1993). Zróżnicowanie cech biologicznych ekotypów kostrzewy trzcinowej badały także Kryszak i Grynia (1993). W przeprowadzonym przez autorki doświadczeniu w latach 1986–1991 zbadano szczegółowo 15 ekotypów uwzględniając następujące cechy: fazy rozwojowe z szerszym uwzględnieniem kwitnienia, plon zielonej masy i suchej masy nadziemnej, strukturę plonu, powierzchnię liści oraz masę korzeniową. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, iż zróżnicowanie w fazie kwitnienia jest w dużej mierze uwarunkowane warunkami meteorologicznymi. Około 30% ekotypów charakteryzowało się ustabilizowanymi cechami.

Wśród metod hodowli roślin pastewnych stosowanych również w odniesieniu do traw można wymienić: chów wsobny oraz heterozję, poliploidyzację, hodowlę mutacyjną oraz wykorzystanie mieszańców międzygatunkowych i międzyrodzajowych (Góral i Góral 1987). Chów wsobny prowadzi do zwiększenia homozygotyczności, co może skutkować ujawnieniem zarówno cech korzystnych, jak i negatywnych (np. depresji wsobnej). W przypadku traw obcopylnych znaczenie chowu wsobnego jest ograniczone, jednak bywa stosowane w tworzeniu materiałów wyjściowych do dalszego krzyżowania. Heterozja (wybujałość mieszańców) odgrywa większą rolę praktyczną – mieszańce często przewyższają formy rodzicielskie pod względem plonowania, wigoru oraz odporności. W badaniach nad trawami wykazano, że mieszańce międzygatunkowe i międzyrodzajowe mogą wykazywać wyraźną przewagę plonowania i trwałości. Wnioski z badań wskazują, że efekt heterozji jest szczególnie istotny w warunkach stresowych, choć jego utrzymanie w kolejnych pokoleniach bywa trudne (Boller i Kopecký 2020). Poliploidalność jest jednym z kluczowych mechanizmów wykorzystywanych w hodowli traw. W przypadku mieszańców *Lolium* × *Festuca* często stosuje się formy tetraploidalne, które wykazują korzystne cechy agronomiczne, takie jak wyższe plonowanie i większa tolerancja na stresy. Jednocześnie badania wskazują, że w allopoliploidach mogą występować: zmiany liczby chromosomów, rearanżacje genomowe oraz niestabilność dziedziczenia. Mimo tych ograniczeń poliploidyzacja stanowi ważne narzędzie zwiększania plastyczności adaptacyjnej (Cheng i in. 2022). Mutacje stanowią podstawowe źródło zmienności genetycznej wykorzystywanej w hodowli. W przypadku traw mogą być indukowane w celu uzyskania nowych cech, takich jak odporność na choroby lub zmieniona architektura rośliny. Hodowla odpornościowa, oparta m.in. na selekcji naturalnej zmienności i mutacji, jest jednym z głównych sposobów ograniczania chorób roślin (Gołębiak i Gąsior 2001; Gadaleta i Soriano 2023).

Współczesna hodowla traw pastewnych, w tym gatunków rodzaju kostrzewa, opiera się na wykorzystaniu zmienności genetycznej oraz kontrolowanym krzyżowaniu mieszańców międzygatunkowych i międzyrodzajowych w celu uzyskania form o wysokiej produktywności i odporności na stresy środowiskowe. Gatunki rodzaju życica (*Lolium* L.) i kostrzewa, w tym życica wielokwiatowa (*Lolium multiflorum* Lam.), życica trwała (*Lolium peren-*

ne L.), kostrzewa łąkowa oraz kostrzewa trzcinowa należą do grupy najważniejszych traw pastewnych. Odznaczają się wieloma uzupełniającymi cechami. Życice charakteryzują się wysoką jakością paszy. Natomiast kostrzewy odznaczają się trwałością i odpornością na stresy środowiskowe, w tym stresy abiotyczne i biotyczne (Tab. 2). Mieszańce międzyrodzajowe *Lolium* × *Festuca* łączą w swoich genotypach cechy gatunków rodzicielskich. Połączenie komplementarnych cech obu rodzajów możliwe jest przez amfiploidyzację (połączenie całych genomów) bądź introgresję (przeniesienie genów z jednego gatunku do drugiego) (Leśniewska-Bocianowska i in. 2001; Zwierzykowski i in. 2001; Kachlicka i in. 2001; Łyszczarz 2001). Zagadnienie

Tabela 2
Table 2

Kluczowe cechy dziedziczone w kompleksie *Lolium* × *Festuca*
Key traits inherited in the *Lolium* × *Festuca* complex

Cecha / Trait	*Lolium* spp.	*Festuca* spp.
Wartość paszowa Feed value	wysoka / high	umiarkowana / moderate
Plonowanie Yield	wysokie / high	stabilne / stable
Tempo wzrostu Growth rate	szybkie / fast	wolniejsze / slower
Odporność na suszę Drought tolerance	niska / low	wysoka / high
Odporność na mróz Frost resistance	umiarkowana / moderate	wysoka / high
Trwałość Persistence	niższa / lower	wysoka / high
System korzeniowy Root system	płytszy / shallower	głęboki / deep

Źródło/Source: Leśniewska-Bocianowska i in. 2001; Zwierzykowski i in. 2001; Kachlicka i in. 2001; Łyszczarz 2001 – opracowanie własne/ own work

przydatności w hodowli i uprawie mieszańców międzygatunkowych u traw z rodzaju życic i kostrzew, poruszał już w 1969 r. prof. Sulinowski, podkreślając zwiększoną żywotność oraz bujność otrzymywanych mieszańców (Sulinowski 1969). Pierwsze stabilne formy uzyskano w latach dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku poprzez krzyżowania i amfiploidyzację, a następnie selekcję cytogenetyczną. Przeprowadzane w Polsce badania nad mieszańcami amfitetraploidalnymi (kostrzewy łąkowej jako formy matecznej i życicy wielokwiatowej jako formy ojcowskiej) doprowadziło to do rejestracji odmian takich jak 'Felopa' i 'Sulino', które charakteryzowały się wysokim plonem i dobrą jakością paszową (Zwierzykowski i Naganowska 1994; Jokś i in. 1998; Zwierzykowski i in. 1993).

Badania genomowe kostrzyc (*Festulolium*) z 2006 r. wykazały złożoną strukturę genomu tego mieszańca, obejmującą rekombinacje i reorganizacje chromosomów, wpływającą na ekspresję cech użytkowych. W badaniach Kopecký i in (2006) wykorzystano genomową hybrydyzację in situ (GISH) do analizy składu genomowego ponad 600 roślin z niemal wszystkich dostępnych komercyjnie odmian kostrzyc. Wyniki ujawniły zaskakująco duży zakres zmienności w proporcjach genomów rodzicielskich i stopniu rekombinacji międzygenomowej. GISH może być użytecznym narzędziem wspomagającym hodowlę kostrzyc i dostarczać danych do bardziej szczegółowego opisu zarejestrowanych odmian. Odmiany z kompleksu *Lolium* × *Festuca* należą współcześnie do najważniejszych traw użytkowych, a ich cechy – wysoka jakość paszy życic oraz trwałość i odporność kostrzew – stanowią podstawę współczesnych programów hodowlanych. Badania cytogenetyczne Majki i in. w 2019 r. wykazały, iż hybrydyzacja odległych genomów prowadzi do niestabilności chromosomowej, zmian strukturalnych oraz zaburzeń dziedziczenia. Pomimo tego, odpowiednia selekcja umożliwia uzyskanie stabilnych form o wysokiej wartości użytkowej. Aktualne badania nad genetyką kostrzew do celów hodowlanych wskazują na konieczność rozwoju genomiki i sekwencjonowania całogenomowego. W 2025 roku naukowcy z IGR–PAN oraz z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu opublikowali pierwszy długi odczyt genomu kostrzewy sinej, charakteryzującego się poliploidią, dużym rozmiarem genomu i wysoką zawartością sekwencji powtarzalnych. Badany allotetraploid kostrzewy sinej wyróżniał się szczególną tolerancją na suszę. Wyniki badań pozwoliły wyodrębnić pierwszy genom referencyjny z adnotacjami dla gatunków kostrzew, stanowiący podstawowe źródło informacji dla genomiki funkcjonalnej, badań porównawczych i udoskonalania traw pastewnych. Wnioski wskazują, że przyszłość hodowli kostrzew opiera się na integracji klasycznych metod z genomiką i bioinformatyką (Pawłowicz i in. 2025).

Zastosowanie praktyczne gatunków rodzaju *Festuca*

Rodzaj kostrzewa. obejmuje liczne gatunki traw o szerokim spektrum przystosowań ekologicznych i znaczącym potencjale użytkowym. Kostrzewy odgrywają istotną rolę w rolnictwie, zarówno jako komponent zasiewów łąkowych i pastwiskowych, jak i źródło wartościowej paszy dla przeżuwaczy (Tab. 3a oraz 3b). Siano zawierające m.in. kostrzewy jest ważnym elementem żywienia letniego i zimowego zwierząt gospodarskich (tj. bydło, owce, kozy oraz konie), ponieważ zawiera wiele cennych

Tabela 3a
Table 3a

Wybrane parametry odmian wzorcowych kostrzew pastewnych w 1988 r.
Selected parameters of benchmark cultivars of forage fescues in 1988

Gatunek / Species			*F. rubra*	*F. pratensis*	*F. arundinacea*
Odmiana / Cultivar			Budzyńska	Skrzeszowicka	Brodzyńska
Właściwości użytkowe / Functional properties	potencjalna plenność / potential yield		8,5 t/ha	10,0 t/ha	13,0 t/ha
	wczesność / earliness		średnio-wczesna / medium-early	średnio-wczesna / medium-early	średnio-wczesna / medium-early
	zimnotrwałość / winter hardiness		dobra / good	średnia / medium	dobra / good
	dynamika odrastania / regrowth dynamics	wiosną / in spring	duża / high	duża / high	duża / high
		latem / in summer	mała / low	dobra / good	średnia / medium
	walory jakościowe / quality attributes		średnie / medium	średnie / medium	niskie / low
	zawartość białka / protein content		12%	12,50%	11%
	poziom strawności / digestibility level		71%	73%	60%
Przydatność uprawowa / Cultivation suitability	użytek / grassland	trwały / sustained	bardzo duża / very high	bardzo duża / very high	bardzo duża / very high
		przemienny / alternate	nieprzydatna / unsuitable	duża / high	mała / low
	sposób użytkowania / usage method	kośny / for mowing	mała / low	bardzo duża / very high	bardzo duża / very high
		pastwiskowy / pasture	bardzo dobra/ very good	mała / low	nieprzydatna / unsuitable
Cechy specjalne (wyróżniające) / Special (distinctive) features			trwałość i wypasanie / persistence and suitability for grazing	plenność i wypasanie / yield and suitability for grazing	plenność / yieldng

Źródło: Grzyb (1988) – modyfikowane

Tabela 3b
Table 3b

Charakterystyka użytkowa współczesnych odmian reprezentatywnych kostrzew pastewnych lata 2024-2025
Performance characteristics of contemporary representative cultivars of forage fescues (2024–2025)

Gatunek / Species			*F. rubra*	*F. pratensis*	*F. arundinacea*
Odmiana / Cultivar			Anielka	Amelka	Rahela
Właściwości użytkowe / Functional properties	potencjalna plenność / potential yield		8,5-9,5 t/ha	10,5-12,0 t/ha	13,0-15,0 t/ha
	wczesność / earliness		średnio wczesna / medium-early	średnio wczesna / medium-early	średnio późna / medium-late
	zimnotrwałość / winter hardiness		bardzo dobra/ very good	bardzo dobra/ very good	dobra / good
	dynamika odrastania / regrowth dynamics	wiosną / in spring	duża / high	bardzo duża / very high	bardzo duża / very high
		latem / in summer	średnia / medium	dobra / good	bardzo dobra / very good
	walory jakościowe / quality attributes		dobre / good	bardzo dobre / very good	dobre / good
	zawartość białka / protein content		ok. 12%	ok. 13%	ok. 11–12%
	poziom strawności / digestibility level		ok. 70%	ok. 73%	ok. 66–69%
Przydatność uprawowa / Cultivation suitability	użytek / grassland	trwały / sustained	bardzo duża / very high	bardzo duża / very high	bardzo duża / very high
		przemienny / alternate	dobra / good	bardzo dobra/ very good	dobra / good
	sposób użytkowania / usage method	kośny / for mowing	dobra / good	bardzo dobra/ very good	bardzo dobra/ very good
		pastwiskowy / pasture	bardzo dobra / very good	dobra / good	bardzo dobra/ very good
Cechy specjalne (wyróżniające) / Special (distinctive) features			wysoka trwałość darni, dobra tolerancja udeptywania / high turf durability, good tolerance to trampling	wysoka wartość pokarmowa, szybkie odrastanie i dobra zimotrwałość / high nutritional value, rapid regrowth, and good winter hardiness	bardzo wysoka plenność, odporność na suszę i intensywne użytkowanie / very high yield potential, resistance to drought, and tolerance to intensive use

Źródło / Source: opracowanie własne na podstawie List Opisowych Odmian (2024–2025) oraz Krajowego Rejestru Odmian COBORU / own work based on the Descriptive Lists of Varieties (2024–2025) and the National Register of Varieties maintained by COBORU

składników mineralnych niezbędnych dla prawidłowego rozwoju zwierząt (Tab. 4; Tab. 5). Dodatkowo wzbogacają dietę trzody chlewnej oraz gryzoni hodowanych na futro (Kostuch i Nazaruk 2003). Kostrzewy obok upraw na cele paszowe jak i nasienne, zajmują ważną pozycję w płodozmianie. Wzbogacają glebę w masę organiczną, której dostarczają korzenie, rozłogi podziemne oraz obumarłe części pędów nadziemnych. Zwiększają również jakość kompleksu sorpcyjnego gleby oraz poprawiają jej właściwości fizyczne oraz chemiczne (Kozłowski i in. 2000).

Kostrzewa łąkowa jest wieloletnią, wysoką trawą luźnokępkową, osiągającą zwykle 40–120 cm wysokości. Źdźbła są słabo ulistnione, wzniesione lub łukowato podnoszące się. Liście są płaskie, ciemnozielone, stosunkowo długie i wiotkie, o szerokości około 3–5 mm; pochwy liściowe są otwarte, a u ich nasady występują charakterystyczne brązowe, strzępiące się pochwy odziomkowe. Cechą diagnostyczną gatunku są nagie, szpiczaste uszka liściowe oraz bardzo krótki, z boku słabo widoczny języczek liściowy. Kwiatostan stanowi luźna, wiechowata, zwykle 10–20 cm długości wiecha, która podczas kwitnienia rozpierzcha się, a po kwitnieniu ponownie się ścieśnia. Kłoski są wielokwiatowe, zawierają zwykle kilka kwiatów, a plewki dolne są najczęściej bezostne lub posiadają bardzo krótką ość (Falkowski 1982, Rutkowski 1998). Kostrzewa łąkowa należy do najcenniejszych traw pastewnych i charakteryzuje się szerokim zakresem zastosowania, obejmującym użytkowanie kośne i pastwiskowe, zarówno na trwałych, jak i przemiennych użytkach zielonych, a także wykorzystanie w mieszankach traw pastewnych. Jej wartość użytkowa wynika przede wszystkim z wysokiej wartości pokarmowej, dobrej smakowitości oraz zdolności do tworzenia wartościowej biomasy przeznaczanej na siano lub inne formy paszy objętościowej (Góral i Góral 1987). Kostrzewa łąkowa charakteryzuje się ponadto wysoką jakością uzyskiwanej paszy. W doświadczeniach Sosnowskiego najlepszą jakość surowca paszowego spośród badanych gatunków uzyskano m.in. dla kostrzewy łąkowej, ocenianej na podstawie względnej wartości pokarmowej paszy (Sosnowski 2012). Gatunek dobrze funkcjonuje na stanowiskach dostatecznie wilgotnych i jest zdolny do tolerowania zarówno okresowych niedoborów wody, jak i krótkotrwałego nadmiernego uwilgotnienia, jednak ze względu na stosunkowo niewielką konkurencyjność jego udział w mieszankach powinien być dostosowany do warunków siedliskowych i pozostałych komponentów runi (Domański i Kryszak 2004).

Kostrzewa czerwona jest wieloletnią trawą o wysokości najczęściej 30–100 cm, tworzącą luźne lub zwarte kępy i wyróżniającą się obecnością podziemnych rozłogów. Źdźbła są delikatne, wyprostowane lub podnoszące się, a liście wąskie, równowąskie, zwykle szczeciniasto zwinięte, o średnicy około 0,5–1 mm. Pochwy liściowe są gładkie, natomiast języczek jest bardzo krótki; uszka liściowe są niewyraźne lub nieobecne, co stanowi istotną cechę przy oznaczaniu gatunku. Kwiatostanem jest wiecha, która może być rozpierzchła lub bardziej skupiona, z licznymi wielokwiatowymi kłoskami. Plewka dolna jest zakończona krótką ością. Gatunek charakteryzuje się przy tym bardzo dużą zmiennością morfologiczną. W obrębie gatunku wyróżnia się formy rozłogowe, półrozłogowe oraz kępowe, różniące się przede wszystkim długością i obecnością rozłogów, zwartością kęp, wielkością

Tabela 4
Table 4

Średnie zawartości składników mineralnych w suchej masie kostrzew w dwóch siedliskach (1976-1977)
Average mineral content in the dry matter of fescues across two habitats (1976–1977)

Gatunek Species	Zawartość [%] Content [%]					
	P	K	N	Ca	Mg	Na
F. pratensis	0,43	2,17	2,64	0,72	0,25	0,07
F. rubra	0,43	1,82	2,63	0,74	0,2	0,06

Źródło / Source: Grzyb i Sapek (1983) – modyfikowane / modificated

Tabela 5
Table 5

Zakres zawartości makroelementów w tkankach kostrzewy trzcinowej
Range of macroelement concentrations in tall fescue tissues

Gatunek Species	Zawartość [%] Content [%]				
	P	K	N	Ca	Mg
F. arundinacea	1,3 - 6,2	11,8 - 40,0	9,5 - 27,3	2,7 - 14,8	1,5 - 5,1

Źródło / Source: Roberts i in. (1988) – modyfikowane / modificated

liści oraz cechami kwiatostanu. (Falkowski 1982, Rutkowski 1998). Kostrzewa czerwona jest jednym z podstawowych i najbardziej rozpowszechnionych gatunków traw stosowanych na trawniki w Polsce. Obecna jest zarówno w runi użytków zielonych jak i w zbiorowiskach trawiastych nie wykorzystywanych w celach paszowych (Kozłowski i Goliński 1997). Gatunek ten ze względu na dużą zmienność cech, a przede wszystkim różnice w rozłogowości, ze względów praktycznych, podzielono na trzy podgatunki: kostrzewę czerwoną kępowa (*Festuca rubra* L. subsp. *commutata* Gaud.), kostrzewę czerwoną późnorozłogową (*Festuca rubra* L. subsp. *trichophylla* Gaud.) oraz kostrzewę czerwoną rozłogową (*Festuca rubra* subsp. *rubra* Hack.) (Prończuk i Prończuk 2004). Kostrzewę czerwoną charakteryzuje silny systemem korzeniowy oraz niskie wymagania glebowe oraz wodne. Cechą szczególną tego gatunku, w aspekcie właściwości biologicznych, jest łatwość utrzymywania się w trudnych warunkach siedliskowych, a przede wszystkim wysoka trwałość (Sawicki 1994). Jest jednym z podstawowych składników mieszanek pastwiskowych na gleby słabsze oraz okresowo suche. Kostrzewa czerwona. jest wyjątkowo odporna na niesprzyjające warunki klimatyczne: znosi surowe, bezśnieżne zimy, jak i długotrwałą okrywę śnieżną oraz spóźnione przymrozki wiosenne. Bardzo dobrze toleruje dłuższe okresy suszy i jest mało wrażliwa na zacienienie (Janicka i Harkot 2004).

Kostrzewa trzcinowa jest wysoką, wieloletnią trawą, tworzącą zwarte, silne kępy i osiągającą zwykle około 70–120 cm wysokości. Źdźbła są grube, sztywne i wzniesione, a liście liczne, szerokie, ciemnozielone i wyraźnie unerwione, z charakterystycznym jasnym nerwem środkowym. Pochwy liściowe są otwarte, języczek krótki, natomiast uszka liściowe są wyraźne i omszone, co stanowi istotną cechę diagnostyczną gatunku Kwiatostanem jest stosunkowo duża, rozgałęziona wiecha, zwykle do około 20 cm długości; kłoski są wielokwiatowe i bezostne lub bardzo krótko zakończone. Gatunek charakteryzuje się rozbudowanym systemem korzeniowym i wysoką tolerancją na zróżnicowane warunki siedliskowe (Falkowski 1982, Rutkowski 1998). Charakteryzuje się bardzo dobrą tolerancją na suszę i intensywne użytkowanie. Jest to gatunek o dużej odporności na czynniki stresowe , natomiast jego wartość pastewna często jest niższa niż u innych traw, głównie ze względu na większy udział włókna. Jest jedną z najlepiej plonujących traw pastewnych. Odznacza się dobrym rozkładem plonu zarówno na wiosnę jak i jesień (Sawicki 1993). W naszym kraju kostrzewa trzcinowa nie jest trawą powszechnie uprawianą na użytkach zielonych. Przyczyną tego jest jej mała smakowitość i strawność, spowodowana dużą zawartością lignin i celulozy, a także znacznego poziomu krzemu. Do zalet tego gatunku zalicza się następujące cechy: wysokie plony, szybkie odrastanie, zimozieloność, odporność na stresowe warunki termiczne i wilgotnościowe (Kozłowski i in. 1998). Do wad tego gatunku należy m.in. stosunkowo mała trwałość w mieszankach łąkowych i pastwiskowych (Klęczek 1993). Kostrzewa trzcinowa ma także zastosowanie w bioenergetyce. Sawicki i Kościk (2003) wymieniają ten gatunek jako przydatny do pozyskiwania energii. Trawa ta nadaje się do uprawy na wszystkie typy gleb, z wyjątkiem gleb suchych i podmokłych, dobrze znosi przygryzanie i przydeptywanie przez zwierzęta (Lipiński 1981).W Polsce stosowana jest w mieszankach na łąki trwałe (położone głównie na glebach torfowych) oraz w mieszankach na trawniki. Gatunek ten ma również zastosowanie w zadarnianiu obszarów specjalnych (Kozłowski i Kukułka 1991; Grynia i Kryszak 1993).

Wśród gatunków i odmian przeznaczonych do celów pastewnych i niepastewnych, wiele z nich ma zastosowanie w hodowli dla tak zwanych celów specjalnych tj. zadarnianie poboczy dróg, autostrad, lotnisk, skarp rowów i nasypów, zwałowisk pokopalnianych, nieużytków i odłogów (Lutyńska 1993). Gatunki rodzaju kostrzewa, tj. kostrzewa trzcinowa, kostrzewa różnolistna, kostrzewa czerwona, kostrzewa owcza oraz kostrzewa łąkowa mają zastosowanie w ochronie gleb oraz rekultywacji terenów zdegradowanych (np. tereny pohutnicze, odpady ze spalania węgla w elektrociepłowniach, składowiska fosfogipsów) (Wolski i Grabowski 2016). Przywrócenie szaty roślinnej na takich terenach jest jednym z podstawowych zadań rekultywacji, ponieważ to rośliny inicjują procesy glebotwórcze w podłożu bezglebowym. Niektóre gatunki kostrzew wykazują pewną specjalizację (przywiązanie) do określonego typu podłoża (Tab. 6). Uprawa traw, w tym także kostrzew, jest zalecana dla produkcji rolniczej gleb stopnia III zanieczyszczonych metalami ciężkimi (Kabata-Pendias i in 1993). Dodatkowo gatunki kostrzew wraz z innymi gatunkami traw oraz roślin bobowatych odgrywają rolę tzw. „roślin pionierskich" w biologicznej rekultywacji terenów zdegradowanych. Na etapie wprowadzania roślin pionierskich uzupełnienie mieszanki o gatunki traw, zwiększa ich przydatność rekultywacyjną. Specyfika biologii traw sprawia, że odgrywają one znamienną rolę w terenach trudnych, zarówno wśród roślin pionierskich jak i w późniejszych stadiach sukcesyjnych. Darniotwórcze gatunki kostrzew peł-

Tabela 6
Table 6

Przydatność wybranych gatunków kostrzew (*Festuca* spp.) do rodzajów terenów zdegradowanych
Suitability of selected fescue species (*Festuca* spp.) for various types of degraded land

Teren do rekultywacji / gatunki kostrzew (*Festuca* spp.) Areas for land reclamation / fescue species (*Festuca* spp.)	Nieużytki przemysłowe Industrial wasteland	Zwałowiska podróżnicze Mine waste dumps	Masa popiołowo-żużlowa Ash and slag material	Popioły wzbogacone osadami ściekowymi Ashes enriched with sewage sludge	Hałdy fosfogipsu Phosphogypsum heaps	Skarpy drogowe Road embankments	Wały przeciwpowodziowe Flood embankments	Tereny zdegradowane chemicznie Chemically degraded land
F. arundinacea (kostrzewa trzcinowa)	+			+ (w siewie czystym / in a pure stand)	+	+		+
F. heterophylla (kostrzewa różnolistna)						+		
F. ovina (kostrzewa owcza)	+	+ (w pierwszym roku / in the first year)				+		
F. pratensis (kostrzewa łąkowa)							+	
F.rubra (kostrzewa czerwona)	+	+ (w dalszych latach / in later years)	+		+	+	+	

Źródło / Source: Wolski i Grabowski 2016 – opracowanie własne / own study

nią w takich mieszankach rolę przeciwerozyjną ze względu na to, iż posiadają dobrze rozwinięty system korzeniowy (Karczewska 2012). Umocnienia trawiaste z udziałem takich kostrzew są często bardziej odporne na różnego rodzaju uszkodzenia mechaniczne gleby, jak i na erozję wodną. Natomiast na terenach suchych i ubogich ograniczają erozję wietrzną gleb (Kostuch i Nazaruk 2003). Kostrzewy wykształcając mocną i zwartą ruń, kształtują mikroklimat danego zbiorowiska, a w konsekwencji klimat terenów przyległych. Zwarta ruń trawiasta chroni glebę przed nadmiernym przegrzewaniem (Falkowski 1970). W warunkach runi bardziej zwartej, dłużej i w większych ilościach utrzymuje się dwutlenek węgla w warstwie przydarniowej. Tworząc zwartą ruń, trawy (w tym także kostrzewy) przyczyniają się do wzmożonego oddychania gleby, czyli bardziej intensywnego oddychania mikroorganizmów glebowych oraz podziemnych organów wyższych (Kozłowski i in. 2000).

Rośliny rodzaju kostrzewa znajdują zastosowanie w kształtowaniu krajobrazu, zarówno w pół-naturalnych zbiorowiskach trawiastych, jak i na terenach silnie przekształconych przez człowieka. Trawy te, dzięki trwałości, zdolności do wielokrotnego odrastania, stosunkowo niewielkim wymaganiom siedliskowym oraz dużej zdolności przystosowawczej, pełnią istotną funkcję ekologiczną, krajobrazową i estetyczną, a także znajdują zastosowanie w tworzeniu muraw i terenów rekreacyjnych (Kozłowski i in. 2000). W przypadku rodzaju kostrzewa szczególne znaczenie w kształtowaniu muraw ma kostrzewa czerwona, której podgatunki i odmiany są cenione za wysoką wartość trawnikową, obejmującą m.in. estetyczny wygląd murawy, jej zadarnienie, delikatność liści, wolne odrastanie po koszeniu, przezimowanie i utrzymywanie zielonej barwy. W wieloletnim doświadczeniu Prończuka i in. (2003), obejmującym 30 odmian i rodów kostrzew wykazano istotne zróżnicowanie gatunków i odmian pod względem tych cech, co potwierdza możliwość doboru materiału do określonego sposobu użytkowania terenów zieleni. W badaniach krajowych Prończuk (1994) wyróżnił trzy grupy traw pod względem przydatności na trawniki: podstawowe, uzupełniające i specjalne; do grupy podstawowych zaliczył kostrzewy czerwone, kostrzewy owcze i kostrzewę różnolistną zakwalifikował do grupy uzupełniającej, natomiast kostrzewę trzcinową do grupy specjalnej. Gatunki uzupełniające i specjalne mogą być wykorzystywane m.in. w warunkach ograniczonej dostępności światła, na stanowiskach ubogich i suchych oraz na murawach przeznaczonych do określonych zastosowań rekreacyjnych i sportowych. Przydatność kostrzew do intensywnie użytkowanych muraw sportowych wynika z ich zdolności do tworzenia niskiej, zwartej i stosunkowo elastycznej darni, odpornej na udeptywanie

i rozrywanie. Badania Grabowskiego i wsp. (2006) nad mieszankami traw gazonowych potwierdziły znaczenie właściwego doboru gatunków i odmian dla jakości murawy sportowej. Z kolei badania Żyłki i wsp. (2001) wskazały, że spośród dwóch podstawowych typów kostrzewy czerwonej formy kępowe charakteryzowały się najwyższą jakością trawnika, podczas gdy formy silnie rozłogowe wykazywały większą zdolność do produkcji nasion, co pokazuje, że poszczególne typy kostrzewy czerwonej mogą mieć odmienne znaczenie użytkowe. Tym samym kostrzewy mogą być wykorzystywane zarówno do tworzenia reprezentacyjnych i rekreacyjnych powierzchni trawiastych, jak i do zadarniania miejsc, w których istotne znaczenie mają małe wymagania pielęgnacyjne, trwałość i tolerancja na trudniejsze warunki siedliskowe.

Kostrzewy, podobnie jak inne trawy ozdobne, stanowią wartościowy element kompozycji ogrodowych i terenów zieleni, a ich walory dekoracyjne wynikają przede wszystkim ze zróżnicowanego pokroju, faktury oraz barwy liści i kwiatostanów. W obrębie rodzaju kostrzewa szczególnie duże znaczenie dekoracyjne mają niskie gatunki i odmiany tworzące zwarte kępy, charakteryzujące się atrakcyjnym zabarwieniem liści, takie jak kostrzewa sina (*Festuca glauca* Vill.) czy kostrzewa owcza. Badania Kwietniewskiego (2006) wykazały przydatność odmian kostrzewy owczej do zakładania trawników ozdobnych, przy czym o ich wartości użytkowej decydowały m.in. zwartość darni, barwa, delikatność liści, zimotrwałość oraz ogólny wygląd murawy. Do grupy kostrzew uprawianych na cele ozdobne należą także: kostrzewa różnolistna, kostrzewa miotlasta (*Festuca gautieri* (Hack.) K. Richt.) oraz kostrzewa prosowata (*Festuca paniculata* (L.) Schinz & Thell). Gatunki te bardzo dobrze sprawdzają się na rabatach jako rośliny okrywowe i obwódkowe oraz w kompozycjach roślinnych ogródków skalnych (Majtkowska i Majtkowski 2005). Szczególnie interesującym kierunkiem współczesnego wykorzystania kostrzew jest stosowanie ich w warunkach miejskich i na zielonych dachach. Dla przykładu badania Hamar-Farkas i wsp. (2024) wykazały, że odmiana Uchte kostrzewy sinej może być przydatna do ekstensywnych założeń dachowych ze względu na tolerancję suszy i stosunkowo dobrą adaptację do ograniczonej dostępności wody. W tym kontekście kostrzewy mogą być postrzegane nie tylko jako element dekoracyjny, lecz również jako rośliny umożliwiające tworzenie bardziej odpornych na stres środowiskowy kompozycji zieleni.

Zainteresowanie wykorzystaniem traw wieloletnich jako surowca energetycznego pojawiło się w Europie już w latach 80. i 90. XX wieku, w kontekście poszukiwania alternatyw dla paliw kopalnych oraz zagospodarowania gruntów marginalnych. Wśród gatunków analizowanych pod kątem możliwości wykorzystania biomasy na cele energetyczne uwagę zwracała kostrzewa trzcinowa, charakteryzująca się relatywnie wysoką produkcyjnością oraz dobrą wartością użytkową. Murawski i wsp. (2015), analizując biomasę dziewięciu gatunków traw i turzyc pochodzącą z ekstensywnie użytkowanych łąk w Wielkopolsce, wykazali, że gatunek osiągał średni plon suchej masy 6,0 $t \cdot ha^{-1}$, przy wartości energetycznej biomasy 16,1 $MJ \cdot kg^{-1}$ s.m., cieple spalania 17,1 $MJ \cdot kg^{-1}$ s.m. i zawartości popiołu 7,1 $g \cdot kg^{-1}$ s.m. Pierwsze systematyczne badania nad wartością energetyczną biomasy traw koncentrowały się na analizie ich wartości opałowej, składu chemicznego oraz możliwości wykorzystania w procesach spalania i współspalania. W pracy Danielewicza i wsp. (2015a) wykazano, że biomasa wybranych traw, charakteryzuje się wartością opałową porównywalną do niektórych niskokalorycznych węgli, co stanowiło istotny argument za ich wykorzystaniem energetycznym. W Polsce badania nad wykorzystaniem biomasy traw energetycznych, rozpoczęły się intensywnie na początku XXI wieku, równolegle z implementacją polityk Unii Europejskiej promujących odnawialne źródła energii. Szczególny nacisk położono na: ocenę plonowania biomasy w różnych warunkach siedliskowych, analizę właściwości fizykochemicznych biomasy oraz porównanie parametrów energetycznych biomasy i paliw kopalnych. W badaniach porównawczych biomasy i węgla wykazano, że biomasa traw cechuje się niższą zawartością siarki i popiołu, co przekłada się na mniejszą emisję zanieczyszczeń podczas spalania, mimo nieco niższej wartości opałowej (Lalak i in. 2016). Wyniki te potwierdziły zasadność traktowania biomasy traw jako paliwa alternatywnego, szczególnie w systemach współspalania. Równolegle rozwijano badania nad właściwościami włókien lignocelulozowych kostrzew w kontekście przemysłu papierniczego i biokompozytów. Wykazano, że skład chemiczny biomasy (wysoka zawartość celulozy i hemiceluloz) predysponuje ją do wykorzystania jako surowca włóknistego (Danielewicz i in. 2015b). Żurek i Martyniak (2012) wskazują, że wieloletnie trawy mogą stanowić wartościowy surowiec do pozyskiwania energii odnawialnej, przede wszystkim ze względu na zdolność do wieloletniego użytkowania, produkcji znacznej ilości biomasy oraz możliwość wykorzystania gruntów o mniejszej przydatności do tradycyjnej produkcji rolniczej. W ostatnich latach rośnie zainteresowanie wykorzy-

staniem biomasy traw jako komponentu biokompozytów. W badaniu Janiszewskiej i wsp. (2022) wykazano, że biomasa wieloletnich traw, w tym kostrzewy trzcinowej, może stanowić alternatywny surowiec lignocelulozowy do częściowego zastępowania drewna w produkcji płyt wiórowych. Zastosowanie biomasy traw wpływało na właściwości fizyczno-mechaniczne oraz zawartość formaldehydu wytwarzanych płyt, przy czym reakcja zależała od gatunku trawy i jej szlaku fotosyntetycznego. W artykule autorstwa Sobola i in. (2022) oceniono parametry energetyczne 23 odmian należących do siedmiu gatunków traw pastewnych i gazonowych, w tym kostrzewy czerwonej, kostrzewy łąkowej oraz kostrzewy owczej. Autorzy wykazali znaczne zróżnicowanie wartości energetycznej biomasy zarówno pomiędzy gatunkami, jak i pomiędzy odmianami w obrębie tego samego gatunku. Zawartość popiołu w badanym materiale wynosiła średnio 5,73-8,31%, natomiast wartość opałowa (LHV) mieściła się w zakresie 15,43-17,45 MJ kg^{-1} s.m. Szczególnie korzystne parametry pod względem przydatności do spalania uzyskano dla kostrzewy owczej, natomiast wyniki wskazały jednocześnie, że nawet odmiany tego samego gatunku mogą znacząco różnić się cechami decydującymi o ich wartości energetycznej.

Agrotechnika uprawy *Festuca*

W Polsce badania nad agrotechniką traw z rodzaju kostrzewa rozwijają się od kilku dekad i stanowią istotny element badań nad produkcyjnością oraz trwałością użytków zielonych. W początkowym okresie szczególną uwagę poświęcano wpływowi nawożenia mineralnego i sposobu użytkowania runi, w tym częstotliwości koszenia, na występowanie i skład chemiczny kostrzewy łąkowej oraz innych gatunków traw (Filipek i Kasperczyk 1982). Równolegle rozwijano badania nad zmiennością genotypową i ekotopową kostrzew, wskazując na istotne zróżnicowanie cech morfologicznych i biologicznych mogących stanowić podstawę selekcji hodowlanej (Sawicki 1999). W latach 90. coraz większego znaczenia nabierała również ocena trwałości odmian oraz ich reakcji na zróżnicowane warunki siedliskowe i pratotechniczne, czego przykładem są badania kostrzewy łąkowej prowadzone przez Kasperczyka i Filipka (1993) oraz ocena wartości gospodarczej odmian i rodów kostrzew (Kochanowska-Bukowska i Łyszczarz, 1997). Na przełomie XX i XXI wieku zakres badań rozszerzono o analizę plonowania w zależności od częstotliwości koszenia, intensywności odrastania oraz przydatności poszczególnych odmian do określonych sposobów użytkowania (Harkot i Czarnecki 2000; Domański 2004). Równolegle rozwijały się badania nad produkcją nasienną kostrzew, w których wykazano istotne znaczenie nawożenia, zwłaszcza azotowego, dla wysokości plonu nasion kostrzewy czerwonej (Goliński 2000). W kolejnych latach coraz większą uwagę zwracano na wykorzystanie kostrzew w mieszankach trawiasto-motylkowatych, podsiew i renowację runi oraz dostosowanie składu mieszanek do warunków siedliskowych i sposobu użytkowania (Czyż i in. 2012). Istotnym kierunkiem stały się również badania fizjologicznej reakcji traw na warunki wodne i pogodowe, obejmujące m.in. fotosyntezę, transpirację i efektywność wykorzystania wody w mieszankach z udziałem kostrzewy łąkowej (Olszewska i Grzegorczyk 2008). Szerszą zmianę podejścia do technologii produkcji roślinnych surowców paszowych podsumował Goliński (2008), wskazując na przejście od koncentracji wyłącznie na maksymalizacji plonu w kierunku integrowania nawożenia, pielęgnacji, renowacji, doboru gatunków i odmian, jakości paszy oraz ochrony zasobów środowiska. Współcześnie agrotechnika trwałych użytków zielonych jest zatem coraz częściej rozpatrywana w ujęciu wielofunkcyjnym, uwzględniającym równocześnie produkcję biomasy, trwałość i jakość runi, efektywne gospodarowanie wodą, ochronę gleby i różnorodności biologicznej (Jankowska-Huflejt i Domański 2008; Gabryszuk i in. 2021; Szkutnik 2012a, 2012b).

Kostrzewa łąkowa najlepiej rozwija się na glebach żyznych, zasobnych w składniki pokarmowe i odpowiednio uwilgotnionych, natomiast jej produkcyjność ogranicza się na stanowiskach suchych. Gatunek ten wykazuje również stosunkowo małą tolerancję na zacienienie, dlatego w warunkach uprawy polowej istotne znaczenie ma wybór odpowiedniego stanowiska i zapewnienie młodym roślinom korzystnych warunków świetlnych. W badaniach krajowych wykazano, że nawożenie mineralne oraz częstotliwość użytkowania istotnie wpływają na występowanie i skład chemiczny kostrzewy łąkowej, co wskazuje na znaczenie właściwego kształtowania warunków nawożenia i sposobu użytkowania dla wartości produkcyjnej gatunku (Filipek i Kasperczyk 1982). Znaczenie sposobu użytkowania potwierdzili również Laihonen i in. (2022), którzy w dwuletnim doświadczeniu z kostrzewą łąkową wykazali, że wysokość koszenia wpływała zarówno na produkcję biomasy nadziemnej, jak i rozwój systemu korzeniowego. W drugim roku badań plon skumulowany roślin koszonych na wysokości 15 cm oraz pozostawionych bez ko-

szenia był odpowiednio o 38% i 44% większy niż u roślin koszonych na 5 cm, natomiast najniższa wysokość koszenia ograniczała biomasę korzeni. W praktyce rolniczej kostrzewa łąkowa może być uprawiana zarówno w siewie czystym, jak i w mieszankach z innymi trawami oraz roślinami bobowatymi, przy czym dobór komponentów powinien uwzględniać ich termin kłoszenia, tempo rozwoju i wymagania siedliskowe. Badania prowadzone w Polsce wykazały istotne zróżnicowanie plonowania odmian kostrzewy łąkowej w siewach czystych i mieszankach, co potwierdza znaczenie doboru odmiany oraz zgodności fenologicznej komponentów przy projektowaniu mieszanek łąkowych (Borawska-Jarmułowicz i in. 2016). Sosnowski i wsp. (2015), w dwuletnim doświadczeniu obejmującym cztery odmiany kostrzewy łąkowej uprawiane na glebie mineralnej i organicznej, wykazali istotne zróżnicowanie plonu suchej masy zarówno między stanowiskami, jak i odmianami. Średni roczny plon kostrzewy łąkowej na glebie mineralnej był o 23,5% większy niż na glebie organicznej, a spośród badanych odmian najwyższą produkcyjnością charakteryzowała się ‘Amelka’ (16,3 t s.m.·ha^{-1}), podczas gdy najniższy średni plon uzyskano dla ‘Limosa’ (14,8 t s.m.·ha^{-1}). W doświadczeniach dotyczących podsiewu łąki na glebie organicznej wykazano natomiast, że udział kostrzewy łąkowej w runi oraz jej produkcyjność zależały od udziału wysiewanego gatunku i poziomu nawożenia, co wskazuje na możliwość kształtowania składu i wydajności runi poprzez właściwy dobór technologii podsiewu i nawożenia (Czyż i in. 2012). Istotnym czynnikiem determinującym produkcyjność kostrzewy łąkowej jest również dostępność wody. Badania Olszewskiej (2009) wykazały, że ograniczenie wilgotności gleby istotnie modyfikowało procesy fizjologiczne i plonowanie odmian kostrzewy łąkowej, natomiast Staniak (2016) potwierdziła zmniejszenie plonu suchej masy pod wpływem długotrwałego deficytu wody oraz zróżnicowaną podatność odmian na suszę. W świetle tych wyników współczesna agrotechnika kostrzewy łąkowej powinna być ukierunkowana nie tylko na zapewnienie wysokiej produkcyjności poprzez odpowiednie nawożenie i sposób użytkowania, ale także na ograniczanie skutków niedoboru wody oraz dobór odmian i mieszanek dostosowanych do lokalnych warunków siedliskowych.

Kostrzewa czerwona jest gatunkiem o stosunkowo małych wymaganiach siedliskowych, dobrze przystosowanym do gleb słabszych i okresowo wysychających, co zwiększa jej przydatność do zakładania trwałych muraw w warunkach, w których bardziej wymagające gatunki traw mogą słabiej funkcjonować. Wyróżnia się również dobrą tolerancją na niskie temperatury, suszę oraz częściowe zacienienie, natomiast nadmierne nawożenie, szczególnie azotem, może powodować ograniczenie jej udziału w runi wskutek konkurencji ze strony silniej reagujących gatunków nitrofilnych (COBORU 2025). W produkcji nasiennej szczególnego znaczenia nabiera właściwe ustalenie obsady roślin, ponieważ badania Martyniak (2006) wykazały, że stosowane tradycyjnie ilości wysiewu mogły prowadzić do nadmiernego zagęszczenia plantacji; optymalna obsada zależała przy tym od typu biologicznego odmiany oraz masy tysiąca nasion. W warunkach trawnikowych istotne znaczenie ma również właściwe zaopatrzenie roślin w wodę i składniki pokarmowe. Doświadczenia Jankowskiego i in. (2011a) wykazały, że zastosowanie hydrożelu, w połączeniu z odpowiednim nawożeniem, wpływało na zwiększenie liczby pędów odmian trawnikowych kostrzewy czerwonej. Ponadto stwierdzili również korzystny wpływ hydrożelu na rozwój systemu korzeniowego traw, w tym zwiększenie biomasy korzeniowej kostrzewy czerwonej, szczególnie w warunkach okresowego niedoboru wody (Jankowski i in. 2011 b). Gatunek ten dodatkowo bardzo dobrze sprawdza się zarówno w siewie czystym, jak i w mieszankach trawnikowych, przy czym poszczególne formy biologiczne różnią się zdolnością do tworzenia darni, reakcją na koszenie i konkurencyjnością wobec pozostałych komponentów (Martyniak i Prończuk, 2003). W mieszankach formy rozłogowe mogą przyczyniać się do szybszego wypełniania ubytków w darni, natomiast formy kępowe charakteryzują się wysoką jakością estetyczną i delikatnym ulistnieniem, co umożliwia ich wykorzystanie w murawach wymagających wysokich walorów dekoracyjnych (Prończuk i in. 2003). Dobór odmiany powinien zatem uwzględniać nie tylko potencjał wzrostowy, lecz również typ biologiczny, przeznaczenie murawy, intensywność koszenia, dostępność wody oraz poziom nawożenia. Potwierdzają to wyniki wieloletnich badań polskich, w których wykazano istotne różnice pomiędzy odmianami kostrzewy czerwonej pod względem cech trawnikowych i nasiennych, co wskazuje na możliwość dostosowania materiału odmianowego do określonych warunków użytkowania (Martyniak i Prończuk 2003).

Kostrzewa trzcinowa charakteryzuje się szeroką tolerancją siedliskową i dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym, co sprzyja wykorzystaniu zasobów wody z głębszych warstw gleby i częściowo warunkuje jej przydatność do uprawy na stanowiskach okresowo narażonych na niedobór wody (Staniak i Kocoń 2015). Przy odpowiedniej dostępności

wody i składników pokarmowych gatunek wykazuje wysoki potencjał produkcyjny, przy czym plonowanie może być istotnie modyfikowane przez warunki siedliskowe, poziom nawożenia oraz właściwości odmianowe. W produkcji nasiennej istotnym elementem technologii jest termin i sposób siewu, a także właściwe ustalenie obsady roślin. Badania obejmujące zróżnicowane odmian kostrzewy trzcinowej wskazują, że reakcja roślin na te czynniki jest zależna od ich genotypu. Dlatego parametry siewu powinny być dostosowane do konkretnej odmiany i warunków uprawy (Szczepanek, 2013). Nawożenie, szczególnie azotem, pozostaje jednym z podstawowych czynników kształtujących plonowanie kostrzewy trzcinowej, jednak efektywność nawożenia jest związana z warunkami siedliskowymi i dostępnością wody. Współczesne doświadczenia wskazują ponadto na możliwość wykorzystania nawozów organicznych, w tym bioodpadu z pofermentu biogazowni jako uzupełnienia lub alternatywy dla nawożenia mineralnego w wieloletniej uprawie traw, przy czym efekt plonotwórczy tego rozwiązania był szczególnie widoczny w pierwszych latach użytkowania (Martyniak i in. 2022). W użytkowaniu pastewnym termin zbioru i częstotliwość koszenia powinny być dostosowane do zakładanego kierunku użytkowania, ponieważ dynamika wzrostu oraz produkcja biomasy kostrzewy trzcinowej zmieniają się w trakcie sezonu, a kolejne odrosty mogą mieć odmienne znaczenie zarówno pod względem wielkości plonu, jak i jakości uzyskiwanej biomasy. W mieszankach łąkowych i pastwiskowych kostrzewa trzcinowa może stanowić trwały i konkurencyjny komponent; w wieloletnim doświadczeniu w Falentach jej udział w runi w dziewiątym roku użytkowania osiągnął 41,7%, a gatunek wyróżniał się trwałością na tle części pozostałych komponentów mieszanek (Wróbel i in., 2003). Również nowsze badania prowadzone na glebach organicznych wykazały wysoką produkcyjność mieszanek z udziałem kostrzewy trzcinowej oraz większą odporność tego gatunku na niskie temperatury i wiosenne nadmierne uwilgotnienie w porównaniu z życicą trwałą (Kitczak i in. 2023). Gospodarka wodna stanowi jeden z kluczowych czynników determinujących produktywność gatunku; przegląd badań dotyczących traw pastewnych wskazuje na istotne znaczenie deficytu wody dla procesów fizjologicznych i plonowania, natomiast doświadczenia prowadzone bezpośrednio na kostrzewie trzcinowej wykazały, że jej odporność na suszę jest związana nie tylko z rozwojem systemu korzeniowego, lecz również z efektywnym funkcjonowaniem metabolizmu korzeni (Perlikowski i in, 2020). Dodatkowo wykazano, że zastosowanie krzemu w warunkach deficytu wody może modyfikować cechy fizjologiczne i morfometryczne gatunku, wskazując na możliwość wykorzystania zabiegów wspomagających jako elementu strategii ograniczania skutków suszy (Mastalerczuk i Borawska-Jarmułowicz 2021). Ostatecznie efektywna agrotechnika kostrzewy trzcinowej powinna uwzględniać współdziałanie stanowiska, technologii siewu i nawożenia, sposobu użytkowania oraz właściwości odmianowych, ponieważ poszczególne genotypy mogą odmiennie reagować na stres wodny i warunki prowadzenia uprawy.

Współczesne opracowania zagraniczne na temat użytkowania trwałych użytków zielonych wskazują, że sposób ich użytkowania powinien być dostosowany do potencjału siedliska. Schils i in. (2022), na podstawie przeglądu 696 badań europejskich wykazali, że intensyfikacja użytkowania trwałych użytków zielonych zwiększa produkcję i jakość paszy, ale może ograniczać różnorodność biologiczną i część funkcji środowiskowych. Jednocześnie zwiększanie różnorodności gatunkowej runi sprzyjało wzrostowi jej wielofunkcyjności bez wyraźnego pogorszenia produkcyjności. Częstotliwość koszenia jest jednym z podstawowych czynników kształtujących zarówno wielkość plonu, jak i jego rozkład w sezonie. W badaniach przeprowadzonych na ponad 1,3 mln działek trwałych użytków zielonych w Niemczech Schulz i in. (2024) wykazali, że intensyfikacja koszenia wiązała się ze wzrostem produkcji biomasy, jednak odbywała się kosztem różnorodności gatunkowej runi. Autorzy oszacowali, że zmniejszenie częstotliwości koszenia o jeden pokos powodowało przeciętny spadek produkcji suchej biomasy o około 20%, jednocześnie sprzyjając zwiększeniu bogactwa gatunkowego. Użytkowanie pastwiskowe również wymaga precyzyjnego zarządzania intensywnością i terminem wypasu. W opracowaniu Milazzo i in. (2023) wykazano, że wpływ użytkowania pastwiskowego na produktywność i funkcjonowanie trwałych użytków zielonych zależy od: sposobu zarządzania wypasem (w szczególności jego intensywności), terminu, obsady zwierząt oraz czasu pomiędzy kolejnymi wypasami. Istotnym elementem doskonalenia technologii jest także zwiększanie udziału roślin bobowatych w runi, ponieważ ich zdolność do biologicznego wiązania azotu może ograniczać zapotrzebowanie na nawożenie mineralne, a jednocześnie sprzyjać utrzymaniu wysokiej produktywności i jakości paszy. W artykule Malisch i in. (2024) wskazano, że wielogatunkowe mieszanki użytków zielonych, szczególnie zawierające rośliny bobowate, mogą

zwiększać efektywność wykorzystania składników pokarmowych dzięki biologicznemu wiązaniu azotu i ograniczeniu zapotrzebowania na mineralne nawozy azotowe. W warunkach narastającej zmienności opadów szczególnego znaczenia nabiera również racjonalna gospodarka wodna. W badaniach Reynaert i in. (2024) wykazano, że wydłużanie okresów suchych i mokrych, przy zachowaniu tej samej całkowitej sumy opadów, prowadziło do zmniejszenia wilgotności gleby, pogorszenia kondycji roślin i spadku ich produktywności, przy czym skala tych zmian zależała od właściwości gleby oraz badanego gatunku i odmiany. Szczególnie istotne było stwierdzenie, że gleby trwałych użytków zielonych o podwyższonej zawartości węgla organicznego częściowo ograniczały negatywne skutki zmienności opadów, przede wszystkim w odniesieniu do jakości biomasy, natomiast ich wpływ na stabilizację plonu był zależny od tekstury gleby. Wśród badanych genotypów kostrzewy trzcinowej odmiana 'FERMINA' charakteryzowała się najwyższą produkcyjnością w warunkach bardziej utrwalonych okresów mokrych i suchych, co wskazuje na znaczenie różnic genotypowych w zdolności do utrzymywania wzrostu przy zmiennej dostępności wody. Doskonalenie agrotechniki trwałych użytków zielonych w Polsce obejmuje obecnie nie tylko zwiększanie produkcji biomasy, lecz także poprawę jej wartości paszowej, trwałości runi, efektywności wykorzystania składników pokarmowych oraz odporności zbiorowiska na zmienność warunków środowiskowych. W badaniach prowadzonych w zachodniej Polsce w latach 2022–2024 wykazano, że produktywność trwałych użytków zielonych była silnie zależna od przebiegu warunków pogodowych, a odpowiednio zbilansowane nawożenie mineralne i organiczne pozwalało utrzymywać względnie wysoką produkcję suchej masy przy jednoczesnym ograniczaniu strat składników pokarmowych (Paszkiewicz-Jasińska i in. 2025). Z punktu widzenia współczesnej agrotechniki oznacza to przejście od maksymalizacji pojedynczego parametru produkcyjnego do projektowania technologii, które łączą odpowiednią częstotliwość koszenia lub intensywność wypasu, obecność roślin bobowatych, racjonalne nawożenie i gospodarowanie wodą, umożliwiając utrzymanie wysokiej oraz stabilnej produkcyjności trwałych użytków zielonych przy jednoczesnym zachowaniu ich funkcji środowiskowych (Wróbel i in. 2025).

Fenologia gatunków rodzaju *Festuca* a klimat

Fenologia roślin stanowi czuły wskaźnik zmian warunków środowiskowych, ponieważ terminy kolejnych faz rozwojowych są kształtowane m.in. przez temperaturę powietrza, warunki wodne oraz uwarunkowania genetyczne. Szczególne znaczenie ma obserwacja kłoszenia i kwitnienia traw pastewnych, gdyż przebieg tych faz może odzwierciedlać długookresowe zmiany warunków termicznych, a jednocześnie wpływać na termin zbioru biomasy i organizację produkcji nasiennej. W warunkach Polski obserwowane zmiany fenologiczne wskazują na postępujące wydłużanie sezonu wegetacyjnego, co może modyfikować warunki rozwoju i reprodukcji roślin trawiastych. Szwed i in. (2025), analizując niemal 80-letni materiał obserwacyjny z 35 stanowisk fenologicznych w Polsce, wykazali coraz wcześniejsze rozpoczynanie sezonu wegetacyjnego przy jednoczesnym niewielkim opóźnianiu jego zakończenia. W konsekwencji długość sezonu wegetacyjnego wzrosła, osiągając obecnie ponad 240 dni w zachodniej Polsce oraz około 220–230 dni w centralnej części kraju i na Wyżynie Lubelskiej, przy czym zmiany wykazywały wyraźne zróżnicowanie przestrzenne i były słabsze na wybrzeżu oraz w północno-wschodniej Polsce. Goliński i wsp. (2015), analizując 50-letni okres w warunkach centralnej Polski, wykazali, że zmiany temperatury i warunków opadowych istotnie oddziaływały na plonowanie użytków zielonych, przy czym wpływ warunków pogodowych zależał od właściwości siedliska. Szczególnie istotnym czynnikiem ograniczającym produkcję był niedobór wody i jego rozkład w sezonie wegetacyjnym, a pogłębianie się warunków suszowych wiązało się ze zmniejszeniem plonu suchej masy. Wyniki te zostały rozwinięte przez Golińską i in. (2016a), którzy na podstawie doświadczenia prowadzonego w RGD Brody w latach 1997–2014 wykazali, że zarówno warunki pogodowe, wyrażone wskaźnikiem SPI, jak i nawożenie istotnie wpływały na plon suchej masy łąki świeżej w pierwszym i drugim odroście. Żurek (2004), analizując 3415 krajowych ekotypów kostrzewy łąkowej, wiechliny łąkowej (*Poa Pratensis* L.) oraz kupkówki pospolitej (*Dactylis glomerata* L.) z lat 1973–2003, stwierdził tendencję do wcześniejszego kłoszenia traw wraz ze wzrostem temperatury. W przypadku

kostrzewy łąkowej średnie przyspieszenie terminu kłoszenia wynosiło 0,22 dnia rocznie, czyli około 6,7 dnia w ciągu analizowanych 31 lat, jednak trend ten nie był statystycznie istotny. Wyniki te znalazły potwierdzenie w szerszej analizie Żurka (2005), który podkreślił przydatność długoterminowych obserwacji fenologicznych krajowych ekotypów traw pastewnych do monitorowania zmian klimatycznych i wskazał na znaczenie różnic genetycznych w reakcji poszczególnych gatunków na zmieniające się warunki pogodowe. Znaczenie fenologii wykracza jednak poza samo monitorowanie zmian klimatu, ponieważ termin osiągania kolejnych faz rozwojowych może być powiązany z cechami produkcji nasiennej. Zmiany warunków klimatycznych mogą jednak wpływać nie tylko na długość sezonu wegetacyjnego, ale również na produktywność użytków zielonych.

Współczesne badania europejskie potwierdzają, że obserwowane wcześniej w doświadczeniach krajowych zależności mają szerszy wymiar. Analiza 31 stanowisk użytków zielonych w Europie na podstawie danych MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) z lat 2001–2021 wykazała tendencję do wcześniejszego rozpoczęcia sezonu wegetacyjnego. Na 83,9% stanowisk stwierdzono przyspieszenie terminu rozpoczęcia sezonu wegetacyjnego (SOS), przy czym na stanowiskach, na których trend był istotny statystycznie, średnie tempo przyspieszenia wynosiło 0,76 dnia·rok^{-1}. Początek maksimum sezonu wegetacyjnego (POS) występował wcześniej na 67,7% analizowanych stanowisk, a na stanowiskach z istotnym trendem tempo jego przyspieszenia wynosiło 0,56 dnia·rok^{-1}. Stwierdzone zmiany były często związane ze wzrostem temperatur zimowych i wiosennych. Jednocześnie wykazano zróżnicowanie przestrzenne analizowanych trendów – największe przesunięcia terminów SOS i POS w kierunku wcześniejszego występowania obserwowano na stanowiskach położonych na większych szerokościach geograficznych i na mniejszych wysokościach nad poziomem morza (Bellini i in., 2023). Wyniki dotyczące wpływu zmian warunków klimatycznych na produktywność użytków zielonych wpisują się w szersze obserwacje dotyczące funkcjonowania systemów trawiastych w regionie umiarkowanym Europy. Huyghe i in.(2014), analizując użytki zielone w krajach Europy Zachodniej i Środkowej, w tym w Polsce, wskazali na znaczne zróżnicowanie ich powierzchni, potencjału produkcyjnego oraz sposobu użytkowania wynikające m.in. z warunków klimatycznych i glebowych.

Na tle obserwowanych zmian klimatycznych reakcja fenologiczna kostrzew powinna być rozpatrywana nie tylko w odniesieniu do wzrostu temperatury, lecz także do zmieniających się warunków wodnych i częstszego występowania ekstremów pogodowych. Wzrost temperatury może przyspieszać pojawianie się wiosennych faz rozwojowych traw, jednak tempo i kierunek tych zmian zależą od współdziałania temperatury, dostępności wody oraz cech fizjologicznych i genetycznych roślin. Badania prowadzone zarówno w Polsce jak i w Europie wskazują, że wcześniejsze rozpoczęcie sezonu wegetacyjnego nie musi prowadzić do jego rzeczywistego wydłużenia, ponieważ wzrost atmosferycznego zapotrzebowania ewaporacyjnego może przyspieszać jesienne przechodzenie roślin w stan spoczynku, skracając okres aktywnej wegetacji (Rahmati i in., 2023). W badaniach Żurka i in. (2018), obejmujących 15 genotypów kostrzewy trzcinowej, kostrzewy łąkowej oraz kostrzewy czerwonej. oceniano cechy fenologiczne (termin początku kłoszenia i kwitnienia), morfologiczne (m.in. wysokość roślin, długość i szerokość liścia, długość kwiatostanu oraz liczbę pędów generatywnych), indeks zawartości chlorofilu oraz komponenty plonu nasion. Badania prowadzono w czterech lokalizacjach w Polsce w ciągu dwóch kolejnych lat i wykazano istotny wpływ roku, lokalizacji oraz genotypu na większość analizowanych cech. Analiza regresji wielokrotnej wskazała ponadto, że szerokość liścia i liczba pędów generatywnych były istotnymi dodatnimi predyktorami plonu nasion we wszystkich trzech gatunkach, natomiast u kostrzewy łąkowej i kostrzewy czerwonej znaczenie predykcyjne miał również plon nasion z pojedynczego kwiatostanu. Podobne zależności obserwowano w doświadczeniach na zarządzanych użytkach zielonych, gdzie ocieplenie wyraźnie przyspieszało wiosenne zazielenienie i wzrost, natomiast połączenie ocieplenia, podwyższonego stężenia CO_2 i suszy prowadziło do jeszcze silniejszych przesunięć fenologicznych oraz wcześniejszego ograniczenia aktywności roślin w okresie letnim (Joseph i in., 2025). Wyniki te wskazują, że wydłużanie sezonu kalendarzowego nie powinno być utożsamiane ze stałym zwiększaniem okresu produkcji biomasy, ponieważ korzyści wynikające z wcześniejszego rozpoczęcia wzrostu mogą być ograniczane przez stres wodny i termiczny w późniejszych częściach sezonu. Zjawisko to ma znaczenie również dla traw rodzaju kostrzewa, dla których termin przejścia do faz generatywnych może determinować zarówno czas akumulacji biomasy, jak i przebieg reprodukcji. Współczesne badania kostrzewy czerwonej potwierdziły istotne

przesunięcia terminu kwitnienia w odpowiedzi na cieplejsze warunki wiosenne. W badaniu Iwanycki Ahlstrand i in. (2023) obejmującym wieloletnie dane fenologiczne zebrane na podstawie okazów zielnikowych wykazano, że gatunek ten kwitł wcześniej wraz ze wzrostem temperatury wiosennej, co potwierdza dużą wrażliwość jego rozwoju generatywnego na warunki termiczne.

W warunkach postępującego ocieplenia klimatu znaczenie zależności między cechami fenologicznymi, fizjologicznymi i produkcyjnymi kostrzew będzie prawdopodobnie wzrastać. Szósty Raport Oceny IPCC z 2023r. wskazuje, że w Europie wraz ze wzrostem temperatury zwiększa się częstość i nasilenie ekstremów cieplnych, a równoczesne występowanie wysokiej temperatury i niedoboru wody stanowi istotne zagrożenie dla produkcji rolniczej oraz funkcjonowania ekosystemów. W Europie Zachodniej i Centralnej prognozowany jest również wzrost ryzyka występowania susz rolniczych i ekologicznych, przy czym jego skala zależy od poziomu przyszłego ocieplenia i przyjętego scenariusza klimatycznego (IPCC 2021, IPCC 2022). Szczególne znaczenie ma możliwość współwystępowania suszy i wysokiej temperatury, które mogą prowadzić do ograniczenia produktywności i pogorszenia jakości pastwisk oraz zwiększać presję środowiskową na rośliny pastewne. Z punktu widzenia hodowli kostrzew zmiany warunków klimatycznych mogą mieć zarówno korzystne, jak i niekorzystne znaczenie dla przebiegu ich rozwoju i produkcyjności. Wzrost temperatury oraz wydłużanie okresu wegetacyjnego może sprzyjać wcześniejszemu rozpoczynaniu i wydłużeniu aktywności wzrostowej roślin, a w sprzyjających warunkach również zwiększać możliwości wykorzystania potencjału produkcyjnego wybranych genotypów. Jednocześnie wcześniejsze występowanie kolejnych faz fenologicznych może prowadzić do niedopasowania cyklu rozwojowego roślin do zmieniającego się przebiegu warunków środowiskowych, szczególnie w przypadku występowania okresów wysokiej temperatury i niedoboru wody w późniejszych fazach wzrostu.

Tolerancja na stresy abiotyczne u kostrzew

W warunkach nasilających się zmian klimatycznych, obejmujących częstsze okresy niedoboru wody, podwyższone temperatury oraz większą zmienność warunków siedliskowych, istotnym zagadnieniem hodowli traw pastewnych i gazonowych jest poznanie mechanizmów umożliwiających utrzymanie wzrostu, prawidłowej funkcjonalności fizjologicznej oraz sprawną regenerację po ustąpieniu stresu (Perlikowski i in., 2023). Dotychczasowe badania prowadzone na gatunkach rodzaju kostrzewa, ze szczególnym uwzględnieniem kostrzewy trzcinowej, łąkowej i czerwonej wskazują na znaczne zróżnicowanie reakcji zarówno na poziomie gatunkowym, jak i genotypowym (Perlikowski i in., 2016). Odpowiedź na stres jest przy tym kształtowana przez ścisłe współdziałanie cech części nadziemnej, związanych m.in. z wydajnością aparatu fotosyntetycznego (Lechowicz i in., 2020b) oraz z metabolizmem układu korzeniowego (Perlikowski i in., 2020). Istotną rolę odgrywa tu zdolność roślin do dynamicznych zmian funkcjonalnych, w tym do reorganizacji proteomu i metabolomu zarówno w trakcie trwania suszy, jak i w procesie reaktywacji po ponownym nawodnieniu (Kosmala i in., 2012a).

Wczesne badania nad suszą u kostrzew koncentrowały się na funkcjonowaniu części nadziemnej, w szczególności na statusie wodnym, fotosyntezie, stabilności błon i odpowiedzi antyoksydacyjnej (Olszewska 2009). Kosmala i in. (2012b) porównali genotypy kostrzewy trzcinowej o kontrastowej tolerancji suszy. Genotyp bardziej odporny utrzymywał wyższy poziom pobierania wody i względnej zawartości wody w tkankach, wykazywał mniejsze uszkodzenia błon oraz lepszą wymianę gazową i fotosyntezę. W genotypie wrażliwym spadkowi zawartości wody towarzyszyło ograniczenie transpiracji i asymilacji CO_2 oraz zwiększenie wycieku elektrolitów. Zróżnicowanie akumulacji białek chloroplastowych potwierdziło, że odpowiedź na suszę obejmuje również przebudowę funkcjonalną aparatu fotosyntetycznego. Znaczenie jednego z jego elementów, białka PsbO stabilizującego kompleks wydzielający tlen fotosystemu II, analizowali Pawłowicz i in. (2012). W przypadku kostrzewy trzcinowej wykazano, że większa stabilność PSII u genotypu bardziej tolerancyjnego na suszę nie wynikała ze zwiększonej akumulacji PsbO, natomiast degradacja tego białka w warunkach deficytu wody była związana z destabilizacją kompleksu wydzielającego tlen. Znaczenie utrzymania sprawności aparatu fotosyntetycznego badali Pawłowicz i in. (2017), wskazując, że susza zmieniała poziom transkryptów akwaporyn PIP i TIP, a reakcja zależała od genotypu. U kostrzewy trzcinowej zmiany PIP1;2, PIP2;1 i TIP1;1 towarzyszyły zmianom gospodarki wodnej i funkcjonowania fotosyntezy. Znaczenie reakcji fotosyntetycznej i antyoksydacyjnej potwierdziły późniejsze badania. Lechowicz i wsp. (2020b), prowadząc doświadczenia na formach introgresyjnych

życicy wielokwiatowej × kostrzewy trzcinowej, wykazali, że forma bardziej tolerancyjna na suszę wcześniej i silniej akumulowała kwas abscysynowy, utrzymywała większą stabilność błon oraz bardziej zrównoważony metabolizm reaktywnych form tlenu. Jednocześnie wykazano dostosowanie cyklu Calvina do ograniczonej dostępności CO_2. Istotne było przy tym, że podstawowe parametry wymiany gazowej nie różnicowały wyraźnie badanych form, co wskazuje na znaczenie skoordynowania wielu procesów, a nie pojedynczej cechy. W podobnym porównaniu kostrzewy trzcinowej i kostrzewy sinej Lechowicz i in. (2020a) stwierdzili zbliżoną odpowiedź fizjologiczną na suszę i ponowne nawodnienie, lecz odmienne mechanizmy regulacji cyklu Calvina i systemu antyoksydacyjnego. Kolejny kierunek badań dotyczył roli tlenku azotu. Perlikowski i in. (2022) wykazali, że susza zwiększała poziom tego gazu w liściach kostrzewy trzcinowej i sinej. Ograniczenie jego poziomu prowadziło początkowo do opóźnienia zamykania aparatów szparkowych i zwiększenia fotosyntezy, lecz przy silniejszym stresie zwiększało akumulację ROS, przepuszczalność błon i pogarszało regenerację po nawodnieniu. Wynik ten pokazuje, że chwilowe utrzymanie wyższej aktywności fotosyntetycznej nie musi oznaczać większej tolerancji stresu. Perlikowski i wsp. (2025) potwierdzili znaczenie tej regulacji podczas suszy i ponownego nawodnienia: ograniczenie poziomu NO zwiększało początkowo asymilację CO_2 i pobieranie wody, ale przy silniejszym stresie wiązało się z większą akumulacją H_2O_2, obniżeniem aktywności peroksydazy askorbinianowej i nasileniem peroksydacji lipidów.

System korzeniowy stanowi drugi, komplementarny komponent odpowiedzi na deficyt wody. Perlikowski i wsp. (2019), badając formy introgresyjne życicy wielokwiatowej × kostrzewy trzcinowej o kontrastowej odporności na suszę, wykazali, że bardziej odporna forma charakteryzowała się głębszą penetracją gleby przez korzenie i odmiennym metabolizmem korzeni. W korzeniach tej formy obserwowano większą akumulację m.in. proliny, sacharozy i maltozy oraz zmianę stosunku fosfatydylocholiny do fosfatydyloetanoloaminy. Zależności te wskazywały na znaczenie jednoczesnego pozyskiwania wody i metabolicznego dostosowania tkanek korzeniowych. Perlikowski i wsp. (2020), analizując dwa genotypy kostrzewy trzcinowej, potwierdzili, że sama zdolność wytwarzania długiego systemu korzeniowego nie wyjaśnia poziomu tolerancji suszy. Genotyp bardziej odporny wyróżniał się efektywniejszym funkcjonowaniem metabolizmu korzeni, a analizy metabolomu, lipidomu i fitohormonów wskazywały na szerokie przeprogramowanie procesów. Znaczenie procesów zachodzących poza samym systemem korzeniowym rozszerzono o analizę tkanki korony. Perlikowski i wsp. (2022) wykazali, że genotypy o większej tolerancji suszy gromadziły w koronie większe ilości metabolitów pierwotnych, szczególnie węglowodanów, natomiast u form mniej odpornych obserwowano większą akumulację fosfolipidów związaną z odbudową błon po stresie. Wyniki wskazywały więc, że zarówno przeżycie w czasie suszy, jak i późniejsza regeneracja są związane ze sposobem gospodarowania metabolitami i lipidami. W ujęciu całościowym badania części podziemnej wskazują, że głębsza penetracja gleby może zwiększać możliwości pozyskiwania wody, lecz jej wykorzystanie wymaga zachowania aktywności metabolicznej korzeni, stabilności błon oraz właściwego poziomu związków związanych z regulacją potencjału osmotycznego.

Wysoka temperatura jest słabiej rozpoznanym stresorem u kostrzew niż susza i niska temperatura. Hu i in. (2015), badając dwa genotypy kostrzewy trzcinowej o różnej tolerancji cieplnej, wykazali, że wcześniejszy krótkotrwały epizod wysokiej temperatury uruchamiał mechanizm pamięci stresu. Aklimatyzowane rośliny utrzymywały podwyższoną ekspresję genów HSP, większą stabilność błon i mniejsze zaburzenia funkcjonowania fotosystemu II podczas kolejnego stresu cieplnego, czemu towarzyszyły zmiany profilu metabolitów liści. Znaczenie stresu kombinowanego pokazali Chandregowdy i in. (2022), wykazując, że zarówno ocieplenie, jak i susza ograniczały produkcję biomasy, natomiast ich połączenie dodatkowo zwiększało straty węgla związane z oddychaniem korzeni i silniej ograniczało wzrost oraz odrastanie po cięciu. Chandregowda i wsp. (2023) potwierdzili również plastyczność systemu korzeniowego podczas współwystępowania suszy i ocieplenia, obserwując wytwarzanie cieńszych korzeni o większej długości właściwej oraz zmiany związane z alokacją węgla. W przypadku niskiej temperatury polskie badania dostarczyły znacznie szerszej podstawy eksperymentalnej. Rapacz i in. (2004), badając formy mieszańcowe kostrzewy łąkowej × życicy wielokwiatowej o zróżnicowanej zimotrwałości, wykazali związek większej odporności na mróz z efektywniejszą aklimatyzacją aparatu fotosyntetycznego i ograniczeniem uszkodzeń fotosystemu II. Kosmala i in. (2009) stwierdzili następnie różnice w profilu białkowym liści kostrzewy łąkowej już we wczesnych etapach aklimatyzacji do chłodu; spośród około 800 analizowanych białek 41 różniło się akumulacją między geno-

typami, a znaczna część była związana z fotosyntezą. Kolejne badania Kosmali i in. (2019), prowadzone na formach introgresywnych życicy trwałej × kostrzewy trzcinowej, rozszerzyły te obserwacje o poziom molekularny. Autorzy analizowali profile akumulacji transkryptu Cor14b oraz białek COR14b i Wcor80 u form różniących się potencjałem mrozoodporności. W formie o wyższej mrozoodporności stwierdzono wyższy poziom akumulacji COR14b, natomiast poziom Wcor80 zmieniał się w trakcie aklimatyzacji i przez większość analizowanego okresu był wyższy u formy bardziej odpornej. Jurczyk i in. (2012) wykazali natomiast, że ekspresja CBF6, FpCor14b i LOS2 zależała nie tylko od temperatury, ale również od światła i pory dnia, wskazując na złożoną regulację odpowiedzi na chłód. Kolejne doświadczenia pokazały, że reakcja na niską temperaturę zależy także od współwystępujących warunków wodnych. Jurczyk i wsp. (2016) wykazali, że krótkotrwałe zalanie podczas aklimatyzacji do chłodu modyfikowało zachowanie aparatów szparkowych i aktywność fotochemiczną fotosystemu II kostrzewy łąkowej. Augustyniak i in. (2018) stwierdzili w bardziej mrozoodpornej formie introgresyjnej życicy wielokwiatowej × kostrzewy trzcinowej efektywniejszą aklimatyzację aparatu fotosyntetycznego oraz udział białek związanych z metabolizmem i homeostazą redoks. W późniejszych badaniach wykazano większą stabilność błon, lepszą aklimatyzację aparatu fotosyntetycznego, wyższą efektywność wykorzystania wody i silniejszy potencjał antyoksydacyjny u formy bardziej mrozoodpornej (Augustyniak i in., 2020). Najnowsze badania Górnej i wsp. (2026) wskazały na szczególne znaczenie plastyczności reakcji podczas aklimatyzacji, deaklimatyzacji i ponownej aklimatyzacji. Bardziej odporny genotyp kostrzewy trzcinowej utrzymywał większą stabilność błon dzięki silniejszej przebudowie lipidów, a ponowna aklimatyzacja umożliwiała częściowe odzyskanie mrozoodporności po okresie deaklimatyzacji.

Ograniczona dostępność światła, zasolenie, metale ciężkie i wiatr również mogą modyfikować funkcjonowanie kostrzew. Prończuk i wsp. (2001) wykazali zróżnicowaną reakcję traw gazonowych, w tym kostrzewy czerwonej, na zacienienie, a późniejsze obserwacje Prończuk i Żurek (2008) potwierdziły zależność wartości użytkowej od warunków świetlnych. Wherley i wsp. (2005) wykazali u kostrzewy trzcinowej wpływ zarówno natężenia, jak i składu spektralnego światła na morfogenezę, rozwój liści i krzewienie. W przypadku zasolenia Hadam i Karaczun (2011) stwierdzili u kostrzewy czerwonej ‘Raisa’ wyraźne pogorszenie kiełkowania i kondycji darni wraz ze wzrostem zasolenia, którego nie kompensował dodatek hydrożelu. Wcześniejsze badania Pawluśkiewicz (2000), obejmujące osiem podstawowych gatunków i odmian traw gazonowych, wskazały natomiast na zróżnicowanie tolerancji na zasolenie już w fazie kiełkowania i początkowego wzrostu. W przypadku kostrzewy czerwonej odm. ‘Nimba’ zasolenie podłoża odpowiadające przewodności elektrolitycznej 4-8 mS cm^{-1} nie powodowało wyraźnych zaburzeń kiełkowania, natomiast przy zasoleniu przekraczającym 8 mS cm^{-1} proces ten był już silnie ograniczony. Pawłowicz i in. (2018) wykazali natomiast u kostrzewy trzcinowej różnice genotypowe w reakcji na NaCl, obejmujące m.in. funkcjonowanie fotosystemu II, zawartość wody, akumulację jonów i przebudowę proteomu chloroplastów. Najnowsze badania Wang i in. (2026) rozszerzyły to podejście o analizę funkcjonowania systemu korzeniowego u kostrzewy czerwonej w porównaniu z życicą trwałą i halofitem mannicą nadmorską (*Puccinellia maritima*). W warunkach zasolenia u kostrzewy czerwonej obserwowano przejściowe zaburzenia przepływu jonów w korzeniach, w tym zwiększoną utratę K^+, po której następowała częściowa stabilizacja. Jednocześnie u gatunku tego obserwowano ograniczoną akumulację soli w liściach, czego odzwierciedleniem była relatywnie niska osmolarność liści nawet przy wysokim zasoleniu. Reakcję na stres związany z obecnością metali ciężkich w glebie badali Żurek i in. (2014). Autorzy wykazali, że kostrzewa trzcinowa ‘Rahela’ charakteryzowała się wysoką akumulacją Cd i Zn, a jednocześnie utrzymywała wysoki plon biomasy i stosunkowo dobrą stabilność aparatu fotosyntetycznego. Wskazuje to na potencjał tego gatunku do zastosowań fitoremediacyjnych, choć wysoka akumulacja metali wymaga odrębnej oceny pod kątem użytkowania rolniczego. W przypadku wiatru badania Grace i Russell (1977) wykazały zmiany anatomiczne i wodne liści kostrzewy trzcinowej, m.in. zwiększenie liczby aparatów szparkowych, większy udział struktur wzmacniających oraz zmianę właściwości mechanicznych. W kolejnym badaniu potwierdzili oni wpływ wiatru na wydłużanie liści, przewodność dyfuzyjną i fotosyntezę, wskazując, że wiatr może działać także jako bezpośredni bodziec mechaniczny ograniczający wzrost (Grace i Russell 1978).

Porównanie kostrzewy trzcinowej i czerwonej wskazuje na częściowo odmienne strategie adaptacyjne. Kostrzewa czerwona charakteryzuje się mniejszymi wymaganiami siedliskowymi i znaczeniem w warunkach mniej zasobnych oraz w użytkowaniu gazonowym, jednak nie oznacza to większej odporności na silny deficyt wody. W doświadcze-

niu Taleb i in. (2023), obejmującym 28 genotypów siedmiu gatunków traw klimatu chłodnego, kostrzewa trzcinowa osiągała wyższą produkcję suchej masy, przeżywalność, regenerację i trwałość niż kostrzewa czerwona. Spadek przeżywalności przy umiarkowanym i silnym stresie wynosił odpowiednio 11 i 22% u kostrzewy trzcinowej oraz 24 i 36% u kostrzewy czerwonej. Jednocześnie obserwowano znaczne zróżnicowanie genotypowe w obrębie gatunków. Zhang i in. (2013) wykazali natomiast, że wśród dziewięciu odmian kostrzew drobnolistnych kostrzewa czerwona 'Slender' i kostrzewa trzcinowa 'Stonewall' należały do materiałów o wysokiej tolerancji zasolenia, podczas gdy wzrost stężenia NaCl ograniczał kiełkowanie, biomasę siewek i rozwój korzeni. Wyniki te wskazują, że odporność nie może być oceniana wyłącznie na podstawie przynależności gatunkowej. Współczesne badania pokazują, że tolerancja kostrzew na stresy abiotyczne wynika ze współdziałania wielu mechanizmów i różni się pomiędzy gatunkami oraz genotypami. W warunkach suszy istotne są gospodarka wodna, fotosynteza, system antyoksydacyjny i funkcjonowanie korzeni; w odpowiedzi na niską temperaturę znaczenie mają aklimatyzacja, stabilność błon i ochrona aparatu fotosyntetycznego, natomiast wysoka temperatura może dodatkowo nasilać skutki ograniczonej dostępności wody. Zasolenie, zacienienie, metale ciężkie i wiatr wprowadzają kolejne ograniczenia, modyfikując gospodarkę wodną, jonową, fotosyntezę oraz wzrost.

Wnioski i perspektywy badawcze

Analiza literatury wskazuje, że gatunki rodzaju kostrzewa mają istotny potencjał jako rośliny dostosowane do zróżnicowanych warunków siedliskowych, jednak ich reakcje na zmiany środowiska nie są jednorodne. Kostrzewa trzcinowa wyróżnia się wysokim potencjałem produkcyjnym, rozbudowanym systemem korzeniowym oraz zdolnością do utrzymywania wzrostu i regeneracji w warunkach deficytu wody, podczas gdy kostrzewa czerwona ma mniejsze wymagania siedliskowe i duże znaczenie w użytkowaniu gazonowym oraz na stanowiskach mniej zasobnych. Badania porównawcze potwierdzają jednak znaczne zróżnicowanie genotypowe w obrębie obu gatunków, dlatego odporność nie powinna być oceniana wyłącznie na podstawie przynależności gatunkowej (Taleb i in., 2023; Zhang i in., 2013).

Istotnym zasobem dla dalszego postępu hodowlanego pozostaje zmienność genetyczna zgromadzona w ekotypach, odmianach i materiałach mieszańcowych. Historia polskiej hodowli pokazuje duże znaczenie rodzimych ekotypów w tworzeniu odmian kostrzew oraz możliwość łączenia komplementarnych cech rodzajów życic i kostrzew poprzez amfiploidyzację i introgresję (Martyniak, 2004; Martyniak i Martyniak, 2010; Leśniewska-Bocianowska i in., 2001; Zwierzykowski i in., 2001). Współczesne badania wskazują równocześnie na użyteczność analiz cytogenetycznych i genomowych oraz coraz większe znaczenie sekwencjonowania genomowego. Opracowanie genomu allotetraploidalnej kostrzewy sinej stwarza podstawy do rozwoju genomiki funkcjonalnej i bardziej precyzyjnej selekcji cech adaptacyjnych (Kopecký i in., 2006; Majka i in., 2019; Pawłowicz i in., 2025).

W warunkach zmian klimatu szczególnego znaczenia nabiera fenologia. W Polsce obserwuje się wcześniejsze rozpoczynanie sezonu wegetacyjnego i jego wydłużanie, jednak wydłużenie okresu aktywności roślin nie musi prowadzić do proporcjonalnego wzrostu produktywności. Badania wskazują, że produktywność użytków zielonych jest jednocześnie silnie zależna od dostępności wody, rozkładu opadów oraz temperatury (Szwed i in., 2025; Goliński i in., 2015, 2018; Golińska i in., 2016a). Dalsze badania fenologiczne kostrzew powinny więc łączyć terminy kłoszenia i kwitnienia z plonem, cechami fizjologicznymi oraz reakcją genotypów na stres wodny i termiczny, zwłaszcza że wcześniejszy rozwój może zmieniać długość poszczególnych faz oraz relacje między wzrostem wegetatywnym i reprodukcją (Żurek, 2004, 2005; Żurek i in, 2018; Bellini i in., 2023; Iwanycki Ahlstrand i in., 2023).

Dotychczasowe doświadczenia nad suszą pokazują, że tolerancja jest wynikiem współdziałania części nadziemnej i podziemnej. U kostrzewy trzcinowej genotypy bardziej odporne lepiej utrzymywały status wodny, fotosyntezę, stabilność błon i zdolność regeneracji, a na poziomie molekularnym obserwowano zróżnicowanie akwaporyn, metabolizmu korzeni i odpowiedzi antyoksydacyjnej (Kosmala i in., 2012a 2012b; Pawłowicz i in., 2017; Lechowicz i in., 2020 a, b; Perlikowski i in., 2020, 2022, 2023, 2025). Jednocześnie badania Olszewskiej (2009) i Staniak (2016) wykazały zróżnicowanie reakcji odmian kostrzewy łąkowej i zależność plonu od poziomu deficytu wody. Wyniki te wskazują na potrzebę oceny wielu komplementarnych cech, a nie opierania selekcji na pojedynczym parametrze fizjologicznym.

Reakcja kostrzew na temperaturę również ma charakter dynamiczny. Badania polskich zespołów wykazały znaczenie aklimatyzacji fotosystemu II, zmian proteomu i ekspresji genów podczas chłodu

oraz rolę systemu antyoksydacyjnego w uzyskiwaniu mrozoodporności (Rapacz i in., 2004; Kosmala i in., 2009; Jurczyk i in., 2012 2016; Augustyniak i in., 2018, 2020). Najnowsze wyniki Górnej i in. (2026) wskazują ponadto, że mrozoodporność kostrzewy trzcinowej zmienia się podczas aklimatyzacji, deaklimatyzacji i ponownej aklimatyzacji, a istotnym elementem tej plastyczności jest przebudowa lipidów błonowych. W przypadku wysokiej temperatury liczba badań bezpośrednio na kostrzewach jest mniejsza, lecz doświadczenia wskazują na znaczenie pamięci stresu, HSP oraz interakcji suszy i ocieplenia (Hu i in., 2015; Chandregowda i in., 2022, 2023; Joseph i in., 2025).

Pozostałe stresy abiotyczne dodatkowo różnicują przydatność gatunków i odmian. Zacienienie wpływa na wzrost i cechy użytkowe, zasolenie zaburza gospodarkę wodną i jonową, metale ciężkie mogą być tolerowane i jednocześnie akumulowane przez wybrane genotypy, a wiatr oddziałuje zarówno mechanicznie, jak i poprzez bilans wodny (Prończuk i in., 2001; Wherley i in., 2005; Pawluśkiewicz, 2000; Hadam i Karaczun, 2011; Pawłowicz i in., 2018; Żurek i in., 2014; Grace i Russell, 1977, 1978; Wang i in., 2026). Wyniki te potwierdzają, że ocena tolerancji powinna być prowadzona w odniesieniu do konkretnego stresora oraz warunków siedliskowych.

W agrotechnice kluczowe znaczenie ma dostosowanie stanowiska, nawożenia, intensywności użytkowania, technologii siewu i składu mieszanek do właściwości gatunku i odmiany. Badania kostrzewy łąkowej wykazały zróżnicowanie plonowania między odmianami i stanowiskami oraz wpływ wysokości koszenia na plon i biomasę korzeni (Borawska-Jarmułowicz i in., 2016; Sosnowski i in., 2015; Laihonen i in., 2022). W warunkach zmieniających się opadów coraz większe znaczenie ma również racjonalne gospodarowanie wodą i składnikami pokarmowymi oraz ograniczanie konfliktu między maksymalizacją plonu a trwałością i funkcjami środowiskowymi użytków zielonych (Schils i in., 2022; Schulz i in., 2024; Reynaert i in., 2024; Paszkiewicz-Jasińska i in., 2025).

Istotną luką badawczą pozostaje niewielka liczba wieloletnich badań łączących cechy fenologiczne, korzeniowe, fizjologiczne i produkcyjne w warunkach zmiennej temperatury i dostępności wody. Dotychczasowe wyniki wskazują, że ocieplenie i susza mogą modyfikować cechy korzeni oraz alokację węgla, jednocześnie ograniczając produkcję (Chandregowda i in., 2023), a współwystępowanie stresów może silniej zmieniać sezonową dynamikę rozwoju roślin niż pojedyncze czynniki (Joseph i in., 2025). Na produktywność wpływa także zmienność długości okresów suchych i mokrych, zależnie od właściwości gleby i genotypu (Reynaert i in., 2024). Wyniki te wskazują na potrzebę prowadzenia wieloletnich badań polowych oraz programów hodowlanych integrujących cechy fenologiczne, korzeniowe, fizjologiczne i produkcyjne, z uwzględnieniem stresów występujących sekwencyjnie lub jednocześnie. Jest to szczególnie istotne w związku z obserwowanymi w Polsce zmianami przebiegu sezonu wegetacyjnego (Szwed i in., 2025).

Z punktu widzenia praktycznego perspektywicznym kierunkiem jest również łączenie metod klasycznej hodowli z genomiką, fenotypowaniem oraz selekcją wspomaganą markerami. Zmienność obserwowana między ekotypami i odmianami, a także w mieszańcach życic i kostrzew, stwarza możliwość poszukiwania materiałów łączących wysoką produktywność i jakość z trwałością oraz tolerancją stresów. Kostrzewy mogą dzięki temu znaleźć zastosowanie nie tylko w produkcji pasz i nasion, lecz także w trwałych murawach, rekultywacji, ochronie gleby i zagospodarowaniu terenów narażonych na stres środowiskowy (Wolski i Grabowski, 2016; Henschke, 2013, 2014; Janiszewska i in., 2022).

Podsumowując, dalszy rozwój hodowli kostrzew w Polsce powinien uwzględniać jednocześnie zmiany klimatyczne, specyfikę siedliska, sposób użytkowania i zróżnicowanie genotypowe. Największym wyzwaniem nie jest już samo uzyskanie wysokiej produktywności, lecz zapewnienie jej stabilności w warunkach coraz bardziej zmiennego przebiegu temperatury i opadów. Szczególnie istotne będzie zatem poszukiwanie genotypów zdolnych do utrzymania funkcjonowania i regeneracji po stresie oraz do dynamicznego dostosowania się do zmian środowiska, przy zachowaniu wymaganej wartości użytkowej.

Literatura

Atlas roślin.pl (2024). *Festuca* (kostrzewa). https://www.atlas-roslin.pl/gatunki/Festuca.htm — data dostępu 22.08.2026.

Augustyniak A., Perlikowski D., Rapacz M., Kościelniak J., Kosmala A. (2018). Insight into cellular proteome of *Lolium multiflorum/Festuca arundinacea* introgression forms to decipher crucial mechanisms of cold acclimation in forage grasses. Plant Science, 272, 22–31. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.04.002

Augustyniak A., Pawłowicz I., Lechowicz K., Izbiańska-Jankowska K., Arasimowicz-Jelonek M., Rapacz M., Perlikowski D., Kosmala A. (2020). Freezing tolerance of *Lolium multiflorum*/*Festuca arundinacea* introgression forms is associated with the high activity of antioxidant system and adjustment of photosynthetic activity under cold acclimation. International Journal of Molecular Sciences, 21(16), 5899. https://doi.org/10.3390/ijms21165899

Bellini E., Moriondo M., Dibari C., Leolini L., Staglianò N., Stendardi L., Filippa G., Galvagno M., Argenti G. (2023). Impacts of climate change on European grassland phenology: A 20-year analysis of MODIS satellite data. Remote Sensing, 15(1), 218. https://doi.org/10.3390/rs15010218

Boller B., Kopecký D. (2020). Triploid forage grass hybrids *Festuca apennina* × Festuca pratensis display extraordinary heterosis for yield characteristics. Euphytica, 216, 143. https://doi.org/10.1007/s10681-020-02680-0

Borawska-Jarmułowicz B., Mastalerczuk G., Janicka M. (2016). Ocena cech biologicznych oraz plonowania wybranych odmian *Dactylis glomerata*, *Festuca pratensis* i *Phleum pratense* w siewach czystych i mieszankach. Łąkarstwo w Polsce, 19, 35–50.

Cheng, A., Mohd Hanafiah, N., Harikrishna, J. A., Eem, L. P., Baisakh, N., & Mispan, M. S. (2022). A reappraisal of polyploidy events in grasses (Poaceae) in a rapidly changing world. Biology, 11(5), 636. https://doi.org/10.3390/biology11050636

Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. (2024). Lista opisowa odmian roślin rolniczych 2024. Bobowate, soja, wiechlinowate i inne pastewne. COBORU https://coboru.gov.pl/Publikacje_COBORU/Listy_opisowe/LOO_bobowate_soja_wiechlinowate_2024.pdf?utm — data dostępu 22.08.2026.

Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. (2025). Lista opisowa odmian roślin rolniczych 2025. Bobowate, soja, wiechlinowate i inne pastewne. COBORU. https://coboru.gov.pl/Publikacje_COBORU/Listy_opisowe/LOO_Bobowate_2025.pdf?utm — data dostępu 27.08.2026.

Centralny Ośrodek Badania Odmian Roślin Uprawnych. (2026). Gatunki, których odmiany wpisane są do Krajowego Rejestru (KR). https://coboru.gov.pl/pl/kr/kr_gat — data dostępu 22.08.2026.

Chandregowda M., H., Tjoelker M. G., Power S. A., Pendall E. (2022) Drought and warming alter gross primary production allocation and reduce productivity in a widespread pasture grass. Plant, Cell & Environment, 45, 2271–2291. https://doi.org/10.1111/pce.14334

Chandregowda M., Tjoelker M. G. Pendall E., Zhang H., Churchill A. C., Power S. A. (2023) Belowground carbon allocation, root trait plasticity, and productivity during drought and warming in a pasture grass, Journal of Experimental Botany, 74(6) 2127–2145. https://doi.org/10.1093/jxb/erad021

Czyż H., Kitczak T., Stelmaszyk A. (2012). Utility of *Festuca pratensis* and *Trifolium pratense* for sowing of meadow sward on organic soil. Folia Pomeranae Universitatis Technologiae Stetinensis, Agricultura, Alimentaria, Piscaria et Zootechnica, 300(24) 33–42.

Danielewicz D., Surma-Ślusarska B., Żurek G., Martyniak D. (2015a). Selected grass plants as biomass fuels and raw materials for papermaking. Part I. Calorific value and chemical composition. BioResources, 10(4), 8539–8551.

Danielewicz D., Surma-Ślusarska B., Żurek G., Martyniak D., Kmiotek M., Rybka K. (2015b). Selected grass plants as biomass fuels and raw materials for papermaking. Part II. Pulp and paper properties. BioResources, 10(4), 8552–8564.

Domański, P. J. (2004). Ocena plonowania odmian *Festuca pratensis* i *Festuca rubra* przy różnej częstotliwości koszenia. Łąkarstwo w Polsce, 7, 87-94.

Domański P.J, Kryszak A. (2004) The value of foreign cultivars of *Festuca pratensis* Huds. in Polish conditions. In Land use systems in grassland dominated regions: Proceedings of the 20th General Meeting of the European Grassland Federation, str. 419–421.

Falkowski M. (1970). Trwałość użytków zielonych w zależności od warunków przyrodniczych i gospodarczych. W: M. Falkowski (red.), Łąkarstwo (str. 24–44). Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.

Falkowski M. (Red.) (1982). Trawy polskie. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, str.221-257.

Filipek J. i Kasperczyk M. (1982). Wpływ poziomu nawożenia mineralnego i częstotliwości koszenia na występowanie i skład chemiczny kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis* L.) i wiechliny łąkowej. Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie. Rolnictwo, 173, 89–103.

Gabryszuk M., Barszczewski J., Wróbel B. (2021). Characteristics of grasslands and their use in Poland. Journal of Water and Land Development, 51, 243–249. https://doi.org/10.24425/jwld.2021.139035

Gadaleta A., Soriano J. M. (2023). New breeding technologies in grasses. International Journal of Molecular Sciences, 24(8), 7295.

Goliński P. (2000). Czynniki determinujące plonowanie plantacji nasiennych *Festuca rubra*. Łąkarstwo w Polsce, 3, 31-41.

Goliński P. (2008). Aktualne trendy w technologiach produkcji roślinnych surowców paszowych. Pamiętnik Puławski, 147, 67–82.

Goliński P., Czerwiński M., Golińska B. (2015). Effect of climate change in 50-years period on grassland productivity in central Poland. W: A. K. Roy i in. (red.), Sustainable Use of Grassland Resources for Forage Production, Biodiversity and Environmental Protection. Extended Abstracts of the 23rd International Grassland Congress, New Delhi (Abstract ID 286).

Goliński P., Czerwiński M., Jørgensen M., Mølmann J. A. B., Golińska B., Taff, G. (2018). Relationship between climate trends and grassland yield across contrasting European locations. Open Life Sciences, 13(1), 589–598. https://doi.org/10.1515/biol-2018-0070

Golińska B. (2013). Reakcja wybranych genotypów *Festuca rubra* i *Festuca ovina* na ekstensywne użytkowanie trawnikowe. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego, str.5–16; 101–111.

Golińska B., Czerwiński M., Goliński P., Blecharczyk A., Sawińska, Z. (2016a). Wpływ zmian klimatycznych na produkcyjność łąk świeżych na tle ich zróżnicowanego nawożenia. Fragmenta Agronomica, 33(4), 18–28.

Golińska B., Czerwiński M., Goliński P. (2016b). Produkcyjność użytków zielonych w Wielkopolsce w aspekcie zmian warunków pogodowych w ostatnim 30-leciu. Łąkarstwo w Polsce, 19, 95–107.

Gołębiak B., Gąsior E. (2001). Przydatność kostrzewy trzcinowej, kostrzewy Brauna, tymotki łąkowej oraz życicy trwałej na zakażenie przez grzyby z rodzaju Fusarium. Biuletyn Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 474, 193–196.

Góral S., Góral M. (1987). Trawy w uprawie polowej (wyd. 2). Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. str.1-127.

Górna J., Perlikowski D., Alseekh S., Rapacz M., Fernie A. R., Wójcik-Jagła M., Kosmala A. (2026). Remodeling of leaf lipidome during cold acclimation, de-acclimation, and re-acclimation influences frost tolerance of *Festuca arundinacea*. Plant and Cell Physiology. https://doi.org/10.1093/pcp/pcag073

Grabowski K., Grzegorczyk S., Kwietniewski H. (2006). Przydatność 10 mieszanek traw do obsiewu boisk sportowych. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Rolnictwo, 545, 93–102.

Grace J., Russell G. (1977). The effect of wind on grasses: III. Influence of continuous drought or wind on anatomy and water relations in *Festuca arundinacea* Schreb. Journal of Experimental Botany, 28(2), 268–278. https://doi.org/10.1093/jxb/28.2.268

Grace J., Russell G. (1978). The effect of wind on grasses: V. Leaf extension, diffusive conductance and photosynthesis in the wind tunnel. Journal of Experimental Botany, 29(5), 1249–1258. https://doi.org/10.1093/jxb/29.5.1249

Grynia M., Kryszak A. (1993). Zróżnicowanie cech biologicznych wybranych ekotypów *Festuca arundinacea* Schreb. Biuletyn Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 188, 113–122.

Grzyb S. (1988). Mieszanki na łąki i pastwiska trwałe (wyd. 2). Falenty: Instytut Melioracji i Użytków Zielonych, Materiały Instruktażowe nr 53, 11–14.

Grzyb S., Sapek, A. (1983). Zawartość składników mineralnych w roślinach łąkowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 276, 65–71.

Hadam A. i Karaczun Z. (2011). Wpływ zasolenia na wzrost i rozwój traw gazonowych utrzymywanych w podłożu z dodatkiem hydrożelu. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 259, 113–120. https://doi.org/10.37317/biul-2011-0061

Hamar-Farkas D., Kisvarga S., Ördögh M., Orlóci L., Honfi P., Kohut I. (2024). Comparison of *Festuca glauca* ‚Uchte' and *Festuca amethystina* ‚Walberla' varieties in a simulated extensive roof garden environment. Plants, 13(16), 2216. https://doi.org/10.3390/plants13162216

Harkot W., Czarnecki Z. (2000). Intensywnosc odrastania polskich odmian traw gazonowych na glebie mineralnej o zniszczonej mechanicznie wierzchniej warstwie. Łąkarstwo w Polsce, 3, 59-64.

Henschke M. (2013). Znaczenie traw ozdobnych i ich wykorzystanie w terenach zieleni. Szkółkarstwo, 6, 34–38.

Henschke, M. (2014). Trawy ozdobne w miastach. Poradnik architekta krajobrazu. Wydawnictwo Plantpress.

Hu T, Liu S-Q, Amombo E, Fu J-M (2015) Stress memory induced rearrangements of HSP transcription, photosystem II photochemistry and metabolism of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) in response to high-temperature stress. Front. Plant Sci. 6:403. https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2015.00403/full — data dostępu 07.09.2026.

Huyghe C., De Vliegher A., Goliński P. (2014). European grasslands overview: Temperate region. Grassland Science in Europe, 19, 29–40.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf — data dostępu 06.09.2026.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_FullReport.pdf — data dostępu 06.09.2026.

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. IPCC. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Iwanycki Ahlstrand N., Elvery H. M., Primack R. B. (2023). Grass flowering times determined using herbarium specimens for modeling grass pollen under a warming climate. Science of the Total Environment, 885, 163824. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163824

Janicka M., Harkot W. (2004). Biologiczne i fizjologiczne właściwości traw. W: M. Rogalski (red.), Łąkarstwo. Poznań: Wydawnictwo Krupisz, str.52-70.

Janiszewska D., Żurek G., Martyniak D., Bałęczny W. (2022). Lignocellulosic biomass of C3 and C4 perennial grasses as a valuable feedstock for particleboard manufacture. Materials, 15(18), 6384. https://doi.org/10.3390/ma15186384

Jankowska-Huflejt H., Domański P. J. (2008). Aktualne i możliwe kierunki wykorzystania trwałych użytków zielonych w Polsce. Woda–Środowisko–Obszary Wiejskie, 8(2b/24), 31–49.

Jankowski K., Sosnowski J., Jankowska J. (2011a). Effect of hydrogel and different types of fertilizers on the number of turf shoots in lawns created by monocultures of red fescue (*Festuca rubra* L.) cultivars and its mixtures. Acta Agrobotanica, 64(3),109–118. https://pdfs.semanticscholar.org/24b9/0ebeeee47a8060f7e904bc5723c71486a9eb.pdf—data dostępu 27.08.2026.

Jankowski, K., Jankowska, J., Sosnowski, J. (2011b). Rooting properties of lawn grasses established on the basis of red fescue in the aspect of the applied hydrogel. Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura, 10(4), 69–78.

Jokś, W., Nowak, T., Jokś, E., & Zwierzykowski, Z. (1998). Charakterystyka botaniczna i rolnicza polskich odmian *Festulolium*. W: Materiały Krajowej Konferencji „*Festulolium* – osiągnięcia i perspektywy". Poznań, str.6-11.

Joseph, L. S. K., Cremonese, E., Migliavacca, M., Schaumberger, A., Bahn, M. (2025). Warming, elevated CO_2 and drought in combination amplify shifts in canopy greenness dynamics in managed grassland. Agriculture, Ecosystems & Environment, 378, 109304. https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109304

Jurczyk, B., Rapacz, M., Budzisz, K., Barcik, W., & Sasal, M. (2012). The effects of cold, light and time of day during low-temperature shift on the expression of CBF6, FpCor14b and LOS2 in *Festuca pratensis*. Plant Science, 183, 143–148. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.08.004

Jurczyk, B., Rapacz, M., Pociecha, E., Kościelniak, J. (2016). Changes in carbohydrates triggered by low temperature waterlogging modify photosynthetic acclimation to cold in *Festuca pratensis*. Environmental and Experimental Botany, 122, 60–67. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.09.003

Kabata-Pendias A., Motowicka-Terelak T., Piotrowska M., Terelak H., Witek, T. (1993). Ocena stopnia zanieczyszczenia gleb i roślin metalami ciężkimi i siarką: Ramowe wytyczne dla rolnictwa. Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa. str. 1-20.

Kachlicka D., Kaczmarek Z., Mejza I., Jokś W., Zwierzykowski Z. (2001). Wielozmienna analiza statystyczna dwuletniego doświadczenia z odmianami *Festulolium*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 474, 177–186.

Kochanowska-Bukowska Z., Łyszczarz, R. (1997). Ocena gospodarcza odmian i rodów *Festuca pratensis* Huds., *Festuca arundinacea* Schreb., *Festuca rubra* L. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 451, 197–204.

Karaczun Z. M., Obidzińska G., Żarska B. (2015). Rolnictwo w dobie zmian klimatu: Wybrane zagadnienia. Warszawa: Wydawnictwo SGGW, str. 30–51.

Karczewska, A. (2012). Ochrona gleb i terenów zdegradowanych (wyd. 2 rozszerz.). Wrocław: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, str.1-390.

Kasperczyk M., Filipek, J. (1993). Trwałość kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis*) odmiany Skrzeszowicka w różnych warunkach siedliskowych i pratotechnicznych. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 188, 25–31.

Kitczak T., Jänicke H., Bury M., Jarnuszewski G. (2023). Intensive meadows on organic soils of temperate climate—Useful value of grass mixtures after the regeneration. Agriculture, 13(6), 1126. https://doi.org/10.3390/agriculture13061126

Klęczek Cz. (1993). Plonowanie i wartość dwugatunkowych mieszanek odmian kostrzewy łąkowej oraz odmian kostrzewy trzcinowej z koniczyną białą. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 188, 95–100.

Kosmala A., Bocian A., Rapacz M., Jurczyk B., Zwierzykowski Z. (2009). Identification of leaf proteins differentially accumulated during cold acclimation between *Festuca pratensis* plants with distinct levels of frost tolerance. Journal of Experimental Botany, 60(12), 3595–3609. https://doi.org/10.1093/jxb/erp205

Kosmala A., Augustyniak A., Perlikowski D., Pawłowicz I., Zwierzykowski W., Płażek A., Paszkowski, E (2019) Identyfikacja genów związanych z ekspresją zimotrwałości i tolerancji suszy u form introgresywnych *Lolium multiflorum/Festuca arundinacea*. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 286, 379-382.

Kosmala A., Perlikowski D., Pawłowicz I., Rapacz M. (2012a). Changes in the chloroplast proteome following water deficit and subsequent watering in a high- and a low-drought-tolerant genotype of *Festuca arundinacea*. Journal of Experimental Botany, 63, 6161–6172. https://doi.org/10.1093/jxb/ers265

Kosmala A., Bocian A., Rapacz M., Jurczyk B., Zwierzykowski Z. (2012b). Changes in the chloroplast proteome following water deficit and subsequent watering in a high- and a low-drought-tolerant genotype of *Festuca arundinacea*. Journal of Experimental Botany, 63(17), 6161–6172. https://doi.org/10.1093/jxb/ers265

Kostuch R., Nazaruk M. (2003). Trawy – rośliny o możliwościach wszechstronnego użytkowania. Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie, 46(2), 77-80.

Kopecký D., Loureiro J., Zwierzykowski Z., Ghesquière M., Doležel J. (2006). Genome constitution and evolution in *Lolium* × *Festuca* hybrid cultivars (*Festulolium*). Theoretical and Applied Genetics, 113, 731–742.

Kozłowski S., Goliński P. (1997). Kostrzewa czerwona trawą pastewną? Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 451, 103–110.

Kozłowski S., Goliński B., Golińska B. (2000). Pozapaszowa funkcja traw. Łąkarstwo w Polsce, 3, 79–94.

Kozłowski S., Goliński P., Swędrzyński A. (1998). Trawy w barwnej fotografii i zwięzłym opisie ich cech. Inowrocław: Wydawnictwo Literackie PARNAS, str. 68–71.

Kozłowski S., Kukułka I. (1991). Ocena jakościowa polskich odmian kostrzewy trzcinowej. Biuletyn Oceny Odmian, 23, 199–213.

Grynia M., Kryszak A. (1993) Zróżnicowanie cech biologicznych wybranych ekotypów *Festuca arundinacea* Schreb. Biuletyn Hodowli i Aklimatyzacji Roślin Nr 188/1993 str.113-122

Kwietniewski H. (2006). Walory użytkowe odmian gazonowych *Festuca ovina* wysiewanych w siewie czystym i mieszankach na trawnikach ozdobnych. Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio E, Agricultura, 61, 389–396.

Laihonen M., Rainio K., Birge T., Saikkonen K, Heleander M., Fuchs B. (2022) Root biomass and cumulative yield increase with mowing height in *Festuca pratensis* irrespective of *Epichloë* symbiosis. Sci Rep 12, 21556. https://doi.org/10.1038/s41598-022-25972-y

Lalak J., Martyniak D., Kasprzycka A., Żurek G., Moroń W., Chmielewska M., Wiącek D., Tys J. (2016). Comparison of selected parameters of biomass and coal. International Agrophysics, 30(4), 475–482 https://doi.org/10.1515/intag-2016-0021

Lechowicz K, Pawłowicz I, Perlikowski D, Arasimowicz-Jelonek M, Majka J, Augustyniak A, Rapacz M, Kosmala A. (2020a) Two *Festuca* Species - *F. arundinacea* and - Differ in the Molecular Response to Drought, While Their Physiological Response Is Similar. International Journal of Molecular Sciences, 21(9):3174. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7246586/ — data dostępu 06.09.2026

Lechowicz, K., Pawłowicz, I., Perlikowski, D., Arasimowicz-Jelonek, M., Blicharz, S., Skirycz, A., Augustyniak, A., Malinowski, R., Rapacz, M., & Kosmala, A. (2020b). Adjustment of photosynthetic and antioxidant activities to water deficit is crucial in the drought tolerance of *Lolium multiflorum/Festuca arundinacea* introgression forms. International Journal of Molecular Sciences, 21(16):5639. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32781659/ — data dostępu 06.09.2026.

Leśniewska-Bocianowska A., Kosmala A., Skibińska M., Zwierzykowski Z. (2001). Zastosowanie genomowej hybrydyzacji in situ w badaniach genetycznych mieszańców oddalonych kompleksu *Lolium–Festuca*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 474, 37–46.

Lipiński J. (1981). Znaczenie kostrzewy trzcinowej w produkcji pasz w uprawie polowej. Biuletyn Oceny Odmian, 9(1–2), 277–284.

Lutyńska R. (1993). Prace hodowlane i badania nad gatunkami traw z rodzaju *Festuca* L. Biuletyn Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 188, 5–12.

Łyszczarz R. (2001). Ilościowe i jakościowe parametry oceny wybranych odmian kostrzewy łąkowej, życicy trwałej i *Festulolium*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 474, 225–233.

Majka J., Bzdęga K., Janiak A., Ćwiek-Kupczyńska H., Krajewski P., Książczyk T., Zwierzykowski Z. (2019). Cytogenetic and molecular genotyping in the allotetraploid *Festuca pratensis* × *Lolium perenne* hybrids. BMC Genomics, 20, 367. https://doi.org/10.1186/s12864-019-5766-2

Majtkowska G., Majtkowski W. (2005). Trawy ozdobne. W: Trawy i rośliny motylkowate drobnonasienne. Dodatek specjalny do dwutygodnika „Agro Serwis". Warszawa: Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, str. 35-60.

Malisch C. S., Finn J. A., Eriksen J., Loges R., Brophy C., Huguenin-Elie O. (2024). The importance of multi-species grassland leys to enhance ecosystem services in crop rotations. Grass and Forage Science, 79(2), 120–134. https://doi.org/10.1111/gfs.12670

Martyniak D. (2006). Reakcja odmian *Festuca rubra* L. na zróżnicowaną gęstość siewu w uprawie na nasiona i na trawniki. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 242, 267–276. https://doi.org/10.37317/biul-2006-0026

Martyniak D.Martyniak J. (2010). Wykorzystanie form dzikich w hodowli traw oraz możliwości reintrodukcji gatunków marginalnych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 555, 537-549

Martyniak D., Martyniak J., Żurek G. (2009). Ochrona i bioróżnorodność obszarów wiejskich a reintrodukcja gatunków traw marginalnych. W: Materiały I Kongresu Nauk Rolniczych. Puławy, str. 225–228.

Martyniak D., Prończuk S. (2003). Ocena odmian i rodów form kępowych i rozłogowych *Festuca rubra* L. z zastosowaniem wskaźnika wartości ogólnogospodarczej. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 225, 303–311. https://doi.org/10.37317/biul-2003-0217

Martyniak D., Prończuk S. (2004). Ocena i stopień wykorzystania kolekcji ekotypów kostrzewy czerwonej w hodowli nowych odmian gazonowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 497(2), 449–454.

Martyniak D., Wiewióra B., Żurek G. (2022). Wpływ bioodpadu z pofermentu biogazowni na plonowanie biomasy oraz skład chemiczny traw wieloletnich. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 297/298, 31–37. https://doi.org/10.37317/biul-2022-0005

Martyniak J. (2003). Trawy – historia hodowli i nasiennictwa na ziemiach polskich. W: J. Krzymuski (red.), Trawy – historia hodowli i nasiennictwa na ziemiach polskich. Poznań: ProDruk, str. 172–188; 341–360.

Martyniak J. (2004). Wykorzystanie ekotypów w polskiej hodowli traw w XX wieku. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 497, 709–720.

Mastalerczuk G., Borawska-Jarmułowicz B. (2021). Physiological and morphometric response of forage grass species and their biomass distribution depending on the term and frequency of water deficiency. Agronomy, 11(12), 2471. https://doi.org/10.3390/agronomy11122471

Milazzo F., Francksen R. M., Abdalla M., Ravetto Enri S., Zavattaro L., Pittarello M., Hejduk S., Newell-Price P., Schils R. L. M., Smith P., Vanwalleghem T. (2023). An overview of permanent grassland grazing management practices and the impacts on principal soil quality indicators. Agronomy, 13(5), 1366. https://doi.org/10.3390/agronomy13051366

Murawski M., Grzelak M., Waliszewska B., Knioła A., Czekała W. (2015). Wartość energetyczna i plonowanie łąk ekstensywnie użytkowanych. Fragmenta Agronomica, 32(2), 71–78.

Olszewska M. (2009). Reakcja odmian kostrzewy łąkowej (*Festuca pratensis* Huds.) i tymotki łąkowej (*Phleum pratense* L.) uprawianych na glebie organicznej na niedobór wody. Acta Scientiarum Polonorum. Agricultura, 8(1), 37–46.

Olszewska M., Grzegorczyk S. (2008). Wymiana gazowa i indeks zieloności liści *Trifolium repens*. uprawianej w mieszankach z *Festulolium braunii* i *Lolium perenne* w zależności od zróżnicowanego nawożenia azotem. Łąkarstwo w Polsce, 11, str.147-156.

Paszkiewicz-Jasińska A., Stopa W., Barszczewski J., Gryszkiewicz-Zalega D., Wróbel B. (2025). Nutrient balances and forage productivity in permanent grasslands under different fertilisation regimes in Western Poland conditions. Agronomy, 15(9), 2079. https://doi.org/10.3390/agronomy15092079

Pawluśkiewicz, B. (2000). Kiełkowanie i początkowy rozwój traw gazonowych w warunkach zasolenia i alkalizacji podłoża. Łąkarstwo w Polsce, 3, 119–128.

Pawłowicz I., Kosmala A., Rapacz M. (2012). Expression pattern of the psbO gene and its involvement in acclimation of the photosynthetic apparatus during abiotic stresses in *Festuca arundinacea* and *F. pratensis*. Acta Physiologiae Plantarum, 34, 1915–1924. https://doi.org/10.1007/s11738-012-0992-0

Pawłowicz I., Kopeć P., Kosmala A. (2025). The draft genome assembly and annotation of allotetraploid *Festuca glaucescens*. BMC Plant Biology, 25, 1590. https://doi.org/10.1186/s12870-025-07558-8

Pawłowicz I., Rapacz M., Perlikowski D., Gondek K., Kosmala A. (2017). Abiotic stresses influence the transcript abundance of PIP and TIP aquaporins in *Festuca* species. Journal of Applied Genetics, 58, 421–435. https://doi.org/10.1007/s13353-017-0403-8

Pawłowicz I., Waśkiewicz A., Perlikowski D., Rapacz M., Ratajczak D., Kosmala A. (2018). Remodeling of chloroplast proteome under salinity affects salt tolerance of *Festuca arundinacea*. Photosynthesis Research, 137(3), 475–492. https://doi.org/10.1007/s11120-018-0527-7

Perlikowski D., Kierszniowska S., Sawikowska A., Krajewski P., Rapacz M., Eckhardt Ä., Kosmala A. (2016). Remodeling of leaf cellular glycerolipid composition under drought and re-hydration conditions in grasses from the *Lolium-Festuca* complex. Frontiers in Plant Science, 7, 1027.

Perlikowski D., Augustyniak A., Masajada K., Skirycz,A., Soja A. M., Michaelis Ä., Wolter G., Kosmala A. (2019). Structural and metabolic alterations in root systems under limited water conditions in forage grasses of *Lolium-Festuca* complex. Plant Science, 283, 211–223. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.02.001

Perlikowski D., Augustyniak A., Skirycz A., Pawłowicz I., Masajada K., Michaelis Ä., Kosmala A. (2020). Efficient root metabolism improves drought resistance of *Festuca arundinacea*. Plant and Cell Physiology, 61(3), 492–504. https://doi.org/10.1093/pcp/pcz215

Perlikowski D., Lechowicz K., Pawłowicz I., Arasimowicz-Jelonek M., Kosmala A. (2022). Scavenging of nitric oxide up-regulates photosynthesis under drought in *Festuca arundinacea* and *F. glaucescens* but reduces their drought tolerance. Scientific Reports, 12, 6500. https://doi.org/10.1038/s41598-022-10299-5

Perlikowski D., Skirycz A., Marczak Ł., Lechowicz K., Augustyniak A., Michaelis Ä., Kosmala A. (2023). Metabolism of crown tissue is crucial for drought tolerance and recovery after stress cessation in *Lolium/Festuca* forage grasses. Journal of Experimental Botany, 74(1), 396–414. https://doi.org/10.1093/jxb/erac398

Perlikowski D., Lechowicz K., Blicharz S., Arasimowicz-Jelonek M., Czapiewska A., Pawłowicz I., Kosmala A. (2025). Nitric oxide regulates photosynthesis and the capacity of the antioxidant system under water deficit and rehydration in *Lolium multiflorum/Festuca arundinacea* introgression forms. Frontiers in Plant Science, 16, 1652482. https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1652482

Prończuk M., Prończuk S. (2004). Ocena ekotypów *Festuca rubra* L. pod względem odporności na główne choroby w użytkowaniu trawnikowym. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 497, 517–524.

Prończuk M., Prończuk M., Laudański Z., Prończuk S. (2003). Porównanie gatunków i odmian *Festuca* spp. w wieloletnim użytkowaniu trawnikowym. Biuletyn Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 225, 239–257.

Prończuk S. (1994). Stan hodowli i nasiennictwa traw gazonowych. Biuletyn Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 186, 125–133.

Prończuk S., Sawicki B. (2004). Próba wykorzystania ekotypów kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.) w procesie hodowli nowych odmian trawnikowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 497, 721–726.

Prończuk S., Żurek G. (2008). The effect of different environmental conditions on visual merit of turf grasses. Plant Breeding and Seed Science, 57, 35–44.

Prończuk S., Prończuk M., Żyłka D., Żebrowski J. (2001). Reakcja traw gazonowych na zacienienie. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 474, 91–101.

Rahmati, M., Graf, A., Poppe Terán, C., Amelung, W., Dorigo, W., Hendricks Franssen, H.-J., Montzka, C., Or, D., Sprenger, M., Vanderborght, J., Verhoest, N. E. C., Vereecken, H. (2023). Continuous increase in evaporative demand shortened the growing season of European ecosystems in the last decade. Communications Earth & Environment, 4, 236. https://doi.org/10.1038/s43247-023-00890-7

Rapacz M., Gasior D., Zwierzykowski Z., Lesniewska-Bocianowska A., Humphreys M. W., Gay A. P. (2004). Changes in cold tolerance and the mechanisms of acclimation of photosystem II to cold hardening generated by anther culture of *Festuca pratensis* × *Lolium multiflorum* cultivars. New Phytologist, 162(1), 105–114. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01024.x

Raport IMGW-PIB. (2025). Klimat Polski 2024. Państwowy Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. https://imgw.pl/wp-content/uploads/2025/07/RAPORT-IMGW-PIB-Klimat-Polski-2024.pdf — data dostępu 10.09.2026.

Raport IMGW-PIB. (2026). Klimat Polski 2024. Państwowy Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej. https://imgw.pl/wp-content/uploads/2026/07/IMGW-PIB-klimat-Polski-2025.pdf — data dostępu 22.08.2026.

Raport IOŚ-PIB. (2020). Zmiany temperatury i opadu na obszarze Polski w warunkach przyszłego klimatu do roku 2100. Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy. https://ios.edu.pl/wp-content/uploads/2022/12/raport-skrocony-260121.pdf — data dostępu 10.09.2026.

Reynaert S., D'Hose T., De Boeck J. H., Laorden D., Dult L., Verbruggen E., Nijs I. (2024). Can permanent grassland soils with elevated organic carbon buffer negative effects of more persistent precipitation regimes on forage grass performance? Science of the Total Environment, 918, 170623. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170623

Roberts J. A., Daniels W. L., Bell J. C., Martens C. (1988). Tall fescue production and nutrient status on Southwest Virginia mine soils. Journal of Environmental Quality, 17(1), 55–62.

Royal Botanic Gardens, Kew. – *Festuca tourn*. ex L. Plants of the World Online. https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:328907-2 — data dostępu 22.08.2026.

Rutkowski L. (1998). Klucz do oznaczania roślin naczyniowych Polski niżowej. Wydawnictwo Naukowe PWN, s. 556-568.

Sawicki B. (1993). Ocena niektórych cech rolniczych i biologicznych ekotypów kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.) z południowo-wschodniej Polski. Biuletyn Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 188, 123–130.

Sawicki B. (1994). Ekotypy kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L. subsp. *genuina* Hack.) z Wyżyny Lubelskiej jako źródło zasobów genetycznych. Genetica Polonica, 35A, 365–369.

Sawicki B., Dąbrowska A. (2004). Waloryzacja ekotypów kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 497, 561–567.

Sawicki B., Kościk K. (2003). Trawy i zbiorowiska trawiaste. W: B. Kościk (red.), Rośliny energetyczne (s. 111–135). Lublin: Akademia Rolnicza.

Sawicki J. (1999). Ocena ekotypów *Festuca pratensis* Huds. na podstawie cech morfologicznych i biologicznych. Łąkarstwo w Polsce, 02, 135-143.

Schils R. L. M., Bufe C., Rhymer C. M., Francksen R. M., Klaus V. H., Abdalla M., Milazzo F., Lellei-Kovacs E., ten Berge H., Bertora C., Chodkiewicz A., Damatirca C., Feigenwinter I., Fernandez-Rebollo P., Ghiasi S., Hejduk S., Hiron M., Janicka M., Pellaton R., Smith P., Whittingham M. J., Buchmann N., Newell Price P. (2022). Permanent grasslands in Europe: Land use change and intensification decrease their multifunctionality. Agriculture, Ecosystems & Environment, 330, 107891. https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107891

Schulz D., Stetter C., Muro J., Spekker J., Börner J., Cord A. F., Finger R. (2024). Trade-offs between grassland plant biodiversity and yields are heterogenous across Germany. Communications Earth & Environment, 5, 514. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01685-0

Sobol Ł., Wolski K., Radkowski A., Piwowarczyk E., Jurkowski M., Bujak H., Dyjakon A. (2022). Determination of energy parameters and their variability between varieties of fodder and turf grasses. Sustainability, 14(18), Article 11369. https://doi.org/10.3390/su141811369

Sosnowski J. (2012). Wpływ użyźniacza glebowego stosowanego w uprawie *Lolium perenne* L., *Dactylis glomerata* L. i *Festuca pratensis* Huds. na względną wartość pokarmową (RFV) paszy. Fragmenta Agronomica, 29(3), 136–143.

Sosnowski J., Jankowski K., Domański P., Herda D. (2015). Dry matter yield of different varieties of *Dactylis glomerata* and *Festuca pratensis*. Journal of Ecological Engineering, 16(3), 211–216. https://doi.org/10.12911/22998993/2959

Staniak M. (2016). The impact of drought stress on the yields and food value of selected forage grasses. Acta Agrobotanica, 69(2), 1663. https://www.researchgate.net/publication/304663996_The_impact_of_drought_stress_on_the_yields_and_food_value_of_selected_forage_grasses — data dostępu 27.08.2026.

Staniak M., Kocoń A. (2015). Forage grasses under drought stress in conditions of Poland. Acta Physiologiae Plantarum, 37, 116 https://doi.org/10.1007/s11738-015-1864-1

Sulinowski S. (1969). Zagadnienie mieszańców międzygatunkowych u traw z rodzajów *Lolium* i *Festuca*. Postępy Nauk Rolniczych, 2(116), 17–42.

Sulinowski S. (1982). Wybrane zagadnienia z genetyki i hodowli traw. W: M. Falkowski (red.), Trawy polskie. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, str. 55-62.

Szczepanek M. (2013). Agrotechniczne uwarunkowania rozwoju i plonowania zróżnicowanych odmian kostrzewy trzcinowej (*Festuca arundinacea* Schreb.) uprawianej na nasiona [Rozprawa habilitacyjna]. Wydawnictwo Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego, str. 1-125. https://dlibra.pbs.edu.pl/dlibra/publication/540/edition/532 — data dostępu 11.09.2026

Szkutnik Z., Kacorzyk P., Szewczyk W. (2012a) Zmiana zawartości białka ogólnego i włókna surowego w zależności od poziomu nawożenia i fazy rozwojowej traw. Łąkarstwo w Polsce ,15, 185-191.

Szkutnik, Z., Kacorzyk P, Kasperczyk M., Majcher-Los J. (2012b). Dynamika przyrostu plonu suchej masy i azotu ogólnego u traw. Łąkarstwo w Polsce, 15, 177-184.

Szwed M., Chmist-Sikorska J., Kępińska-Kasprzak M. (2025). The growing season of Poland in the changing climate based on phenological observations. International Journal of Biometeorology, 69, 3503–3514. https://doi.org/10.1007/s00484-025-03037-9

Taleb M. H., Majidi M. M., Pirnajmedin F., Mohammad S. A., Maibody M. (2023). Plant functional trait responses to cope with drought in seven cool-season grasses. Scientific Reports, 13, 5458. https://doi.org/10.1038/s41598-023-31923-y

Wang L., Yi J., Staal, M., Elzenga J. T. M. (2026). Integrated comparison of root ion flux dynamics, shoot ionic status, and root anatomy underlies contrasting salinity responses in grasses. Plant Physiology and Biochemistry, 234, 111340. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2026.111340

Wherley B. G., Gardner D. S., Metzger J. D. (2005). Tall fescue photomorphogenesis as influenced by changes in the spectral composition and light intensity. Crop Science, 45(4), 1358–1364. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.0562

Wolski K., Grabowski K. (2016). Trawy w rekultywacji terenów trudnych i zdegradowanych. W: Ogólnopolska Konferencja Naukowa „Ekosystemy trawiaste w kształtowaniu i ochronie środowiska". Urszulin, 1–3 czerwca 2016, str. 71–72.

Wróbel B., Jankowska-Huflejt H., Zastawny J. (2003). Trwałość i plonowanie traw pastewnych w fenologicznie zróżnicowanych mieszankach łąkowych. Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 225, 53–64. https://doi.org/10.37317/biul-2003-0191

Wróbel B., Zielewicz W., Paszkiewicz-Jasińska A. (2025) Improving Forage Quality from Permanent Grasslands to Enhance Ruminant Productivity. Agriculture, 15(13), 1438. https://doi.org/10.3390/agriculture15131438

Zhang Q., Zuk A., Rue K. (2013). Salinity tolerance of nine fine fescue cultivars compared to other cool-season turfgrasses. Scientia Horticulturae, 159, 67–71. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.04.033

Zwierzykowski Z., Jokś W., Naganowska, B. (1993). Mieszańce amfitetraploidalne *Festuca pratensis* Huds. × *Lolium multiflorum* Lam. [=×*Festulolium braunii* (K. Richter) A. Camus]. Biuletyn Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, 188, 61–69.

Zwierzykowski Z., Naganowska B. (1994). The use of *Lolium–Festuca* hybrids in breeding. Genetica Polonica, 35A, 11–17.

Zwierzykowski Z., Ponitka A., Ślusarkiewicz-Jarzina A., Zwierzykowska E. (2001). Androgeneza u amfidiploidalnych mieszańców F_1 i odmian *Festulolium*. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 474, 47–54.

Żurek G. (2004). Wpływ zmian klimatu na kłoszenie ekotypów trzech gatunków traw. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 497, 645–651.

Żurek G. (2005). Forage grass phenology in relation to climate change. IGC Proceedings (1977-2023). 22. https://uknowledge.uky.edu/igc/20/themeB/22 — data dostępu 06.09.2026.

Żurek G., Prokopiuk K., Martyniak D., Paszkowski E., Woźna-Pawlak U., Jurkowski M. (2018). Seed yield and its components in three *Festuca species*. Plant Breeding and Seed Science, 77, 15–31. https://doi.org/10.37317/pbss-2018-0002

Żurek G., Martyniak D. (2012). Energia odnawialna z biomasy traw wieloletnich – perspektywy i bariery. W: B. Mickiewicz (red.), Najnowsze osiągnięcia z zakresu OZE wraz z przedstawieniem barier we wdrażaniu wyników badań do praktyki gospodarczej oraz sugestiami ich rozwiązań. Koszalin: Wydawnictwo FENIKS str. 145–159.

Żurek G., Rybka K., Pogrzeba M., Krzyżak J., Prokopiuk K. (2014). Chlorophyll a fluorescence in evaluation of the effect of heavy metal soil contamination on perennial grasses. PLoS ONE, 9(3), e91475. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091475

Żyłka, D., Prończuk, S., Prończuk M. (2001). Porównanie kępowych i rozłogowych podgatunków kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L. s.s.) pod względem przydatności na użytkowanie trawnikowe i nasienne. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 474, 103–112.