

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Agroekologické aspekty pěstování silážního čiroku
v podmínkách České republiky**

Bakalářská práce

Autor práce: Cornelia Laflinová

Veřejná správa v zemědělství, rozvoji venkova a krajiny

Vedoucí práce: Ing. Pavel Fuksa, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Agroekologické aspekty pěstování silážního čiroku v podmínkách České republiky" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12. 4. 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Fuksovi, Ph.D. za veškerou pomoc, věnovaný čas, trpělivost a cenné rady. Velké díky patří i mé rodině za psychickou a materiální podporu během studia.

Agroekologické aspekty pěstování silážního čiroku v podmínkách České republiky

Souhrn

Tato bakalářská práce popisuje charakteristiku, produkci a využití čiroku, primárně však zhodnocuje ekologické požadavky a optimální agrotechnické postupy, které jsou pro úspěšné pěstování zásadní. Čirok na území ČR nachází uplatnění zejména v energetice pro produkci bioplynu, je však možné i zkrmování píce hospodářským zvířatům či využití zrna k potravinářským účelům. Důležité mimoprodukční funkce může plnit i jako meziplodina. Čirok v současné době není příliš pěstován, do budoucna však představuje, díky své toleranci k měnícím se klimatickým podmínkám, perspektivní plodinu s mnohostranným využitím.

Jedním z hlavních faktorů, který se podílí na úspěšném pěstování, je správné založení porostu, které je nutné načasovat optimálně tak, aby klíčící semena nebyla vystavena stresorům v podobě chladu a sucha. Minimální teplota půdy v době setí by měla být 10 °C. V nevyhovujících podmínkách je růst rostlin inhibován, vzcházení je zpomalené, porost je nevyrovnaný a je vystaven vyššímu riziku zaplevelení. V pokročilejších růstových fázích je však čirok poměrně nenáročnou plodinou, která nemá zásadní požadavky na půdu, vláhu ani teplotu, pokud se ovšem nejedná o výrazné extrémy v podobě dlouhých period sucha, nadměrně vysokých, či naopak nízkých teplot, které negativně ovlivňují především výnosy, ale i samotnou vitalitu rostlin, schopnost fotosyntézy či reprodukce.

Agrotechnika pěstování čiroku je v mnoha ohledech obdobná zde již známým způsobům pěstování kukuřice. V osevních postupech čiroky nevyžadují specifické předplodiny a lze je úspěšně pěstovat i na půdách bezorebně obhospodařovaných. Značnou výhodou čiroků je téměř ojedinělý výskyt chorob a škůdců. Obtížná je však regulace zaplevelení, a to jednak kvůli malému spektru registrovaných herbicidních přípravků, ale i kvůli optimálnímu načasování aplikace.

Při správné technice pěstování může být čirok zajímavou, ekonomicky výhodnou plodinou, která je schopna se kvalitou vyrovnat jiným, tradičně pěstovaným pícevinám a zároveň napomáhá plnit důležité mimoprodukční funkce v krajině. Pro náš region jsou perspektivní zejména ranější hybridy s rychlým nárůstem biomasy, jako je např. nově vyšlechtěná česká odrůda Ruzrok, která je vhodná jak pro energetické a píce účely, ale rovněž pro produkci zrna.

Klíčová slova: agrotechnika; změna klimatu; abiotické faktory; eroze; herbicidní ochrana

Agroecological aspects of silage sorghum cultivation in the conditions of the Czech Republic

Summary

This bachelor's thesis generally describes the characteristics, production and utilization of sorghum. The main part deals with evaluating the ecological requirements and the proper agrotechnical management, which are important for its successful cultivation. In the Czech Republic, sorghum is mainly used for biogas production, but another possibility is producing fodder or using the grain for food. It can also fulfill important non-production functions as a catch crop. Sorghum is currently not widely cultivated in the Czech Republic. However, due to its tolerance and adaptation to temperature and precipitation changes, it represents a promising crop with multiple uses in the future.

One of the main factors for successful cultivation is proper sowing management, which must be optimally timed so that germinating seeds are not exposed to cold and drought stress. The minimum soil temperature should be 10 °C. In unfavorable areas and conditions, plant growth is inhibited, development is slowed down, and there is a higher risk of weed occurrence. In the late growth stages, sorghum is a relatively undemanding crop that has no special requirements for soil, moisture, or temperature, unless there are significant extremes in the form of a prolonged drought and excessively high or low temperatures, which negatively affect yield, the plant vitality, the ability of photosynthesis or reproduction.

The agricultural management of growing sorghum is in many ways similar to growing corn. In cropping sequence, sorghum does not require specific pre-crops and can be successfully grown even in a no-till system. A significant advantage of sorghum is the almost rare occurrence of diseases and pests. However, weed control is difficult because of the small amount of registered herbicides but also because of the difficult timing of application.

Sorghum can be an interesting crop with many economic benefits, which is able to compete with other traditionally cultivated fodder crops and, at the same time, helps fulfill important non-production functions in the landscape. Especially promising for our region are early maturity hybrids with a rapid biomass increase, such as the newly bred Czech variety Ruzrok, which is appropriate for energy and fodder purposes, but also for grain production.

Keywords: agricultural management; climate change; abiotic factors; soil erosion; herbicide control

Obsah

1 Úvod	13
2 Cíl práce.....	14
3 Literární rešerše.....	15
3.1 Původ a význam čiroku	15
3.2 Charakteristika čiroku	16
3.2.1 Biologická a morfologická charakteristika	16
3.2.2 Formy čiroku.....	19
3.3 Využití čiroku v podmínkách ČR	22
3.3.1 Perspektiva pěstování v důsledku klimatických změn	22
3.3.2 Krmné účely	23
3.3.3 Energetické využití	26
3.3.4 Mimoprodukční uplatnění.....	29
3.4 Abiotické faktory.....	30
3.4.1 Teplota	30
3.4.2 Voda.....	31
3.4.3 Půda	32
3.5 Agrotechnika	34
3.5.1 Řazení v osevním postupu	34
3.5.2 Předseťová příprava půdy a ochrana před erozí	35
3.5.3 Setí	35
3.5.4 Výživa a hnojení	37
3.5.5 Regulace plevelů, chorob a škůdců.....	39
3.5.5.1 Plevelé.....	39
3.5.5.2 Choroby	42
3.5.5.3 Škůdci	43
3.5.6 Výnos, sklizeň a posklizňová úprava biomasy	44
4 Závěr	46
5 Literatura	48

1 Úvod

Čirok je jednoletá plodina s C_4 typem fotosyntézy z čeledi lipnicovitých (*Poaceae*), pěstovaná na orné půdě zejména v hlavním, ale i meziporostním období pro jednosečné i vícesečné využití. Jedná se o jednu z nejstarších známých obilnin, pocházející ze severní Afriky. Ve světovém měřítku představuje významnou, hojně pěstovanou zemědělskou plodinu, jejíž zrna slouží především v Africe a Asii jako potravina. Ve střední Evropě je čirok v posledních letech potenciálně vhodnou plodinou k pěstování, a to zejména kvůli změnám klimatu, zahrnujících nedostatečné či nerovnoměrné rozložení srážek a zvyšování průměrných ročních teplot. V současné době je ve zdejších podmínkách pěstován především na siláž ke krmným účelům či účelům energetickým, zejména jako komponent do bioplynových stanic; existuje však celá řada dalších možností využití (Hermuth 2020).

Schaffasz et al. (2019) uvádí, že vzhledem k nenáročnosti, tj. vyšší toleranci vůči suchu, nižší spotřebě vody během vegetačního období, vysoké adaptaci na ekologické podmínky a také odolnosti vůči některým chorobám a škůdcům, např. bázlivci kukuřičnému, může být čirok v mírných oblastech střední Evropy perspektivním doplňkem či alternativou k pěstování silážní kukuřice, a to zejména v suchých a teplých oblastech, kde jsou výnosy kukuřice limitovány. Čirok zároveň produkuje velké množství biomasy za minima použitých agrotechnických vstupů a jeho pěstování je tak ekonomicky nenáročné. Nežádoucími aspekty jsou však nízké teploty, trvale zamokřené půdy, či naopak dlouhé periody sucha, které inhibují růst a snižují výnosy (Casto et al. 2021).

Agrotechnické postupy pěstování čiroku jsou v mnoha ohledech podobné postupům pěstování kukuřice, nicméně nabídka sortimentu ve zdejších podmínkách není příliš rozsáhlá. Pro úspěšné pěstování je tedy zásadní výběr vhodné odrůdy a dodržování agrotechnických opatření tak, aby byl dosažen optimální výnos s vyhovující kvalitou biomasy. Mezi zásadní aspekty patří dodržování termínů výsevu, dobrá dostupnost půdních živin, ochrana porostu proti plevelům, a to zejména v raných růstových fázích, a v neposlední řadě pak dodržování správných postupů při sklizni, konzervaci a uchovávání biomasy (Theiß & Jäkel 2019).

I přes mnohé výhody pěstování v podmínkách České republiky se jedná v současnosti o relativně nedoceněnou plodinu. Z tohoto důvodu probíhá v posledních letech intenzivní šlechtění odrůd zejména na chladuvzdornost, vyšší výnos zrna a zlepšení kvality zrna i biomasy, tj. především snížení obsahu antinutričních látek, zvýšení obsahu mikroprvků a zlepšení stravitelnosti bílkovin a škrobu (Windpassinger 2015; Hermuth 2020).

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vypracovat literární rešerši, v níž budou zhodnoceny ekologické a agrotechnické aspekty pěstování silážního čiroku v podmínkách České republiky.

Literární přehled je zaměřen na biologické a morfologické charakteristiky aktuálně dostupných forem čiroku. Podrobně jsou popsány aspekty související s pěstováním této plodiny, tj. především abiotické faktory prostředí a specifika agrotechniky. Dále jsou diskutovány potenciální výhody pěstování čiroku jakožto doplňku či v některých oblastech možné náhrady za silážní kukuřici. Zhodnocen je i mimoprodukční význam, např. z pohledu protierozní ochrany půdy.

3 Literární rešerše

3.1 Původ a význam čiroku

Čirok představuje jednu z nejdéle a nejčteněji pěstovaných plodin, pocházející ze severovýchodu Afriky. Nejčasnější důkazy o planých formách čiroku existují již z doby zhruba 8000 let před naším letopočtem z oblasti Sahary; dle nejnovějšího archeobotanického zkoumání se však za centrum původu kultivace považují savany východního Súdánu ve čtvrtém tisíciletí před naším letopočtem, odkud se čirok dále rozšířil na území Indie a Číny. Doposud nejstarší známý domestikovaný druh z období 2000–1700 let př. n. l. pochází ze severozápadní Indie (Venkateswaran et al. 2019).

Na území České republiky byl čirok introdukován ve 20. letech 20. století a využíván byl primárně ke krmným účelům. Do poloviny 20. století bylo pak zastoupení pěstovaného čiroku na orné půdě vyšší než zastoupení kukuřice. Tato skutečnost se však krátce poté změnila a na významu čirok začíná opět nabývat až počátkem 21. století (Hermuth et al. 2016).

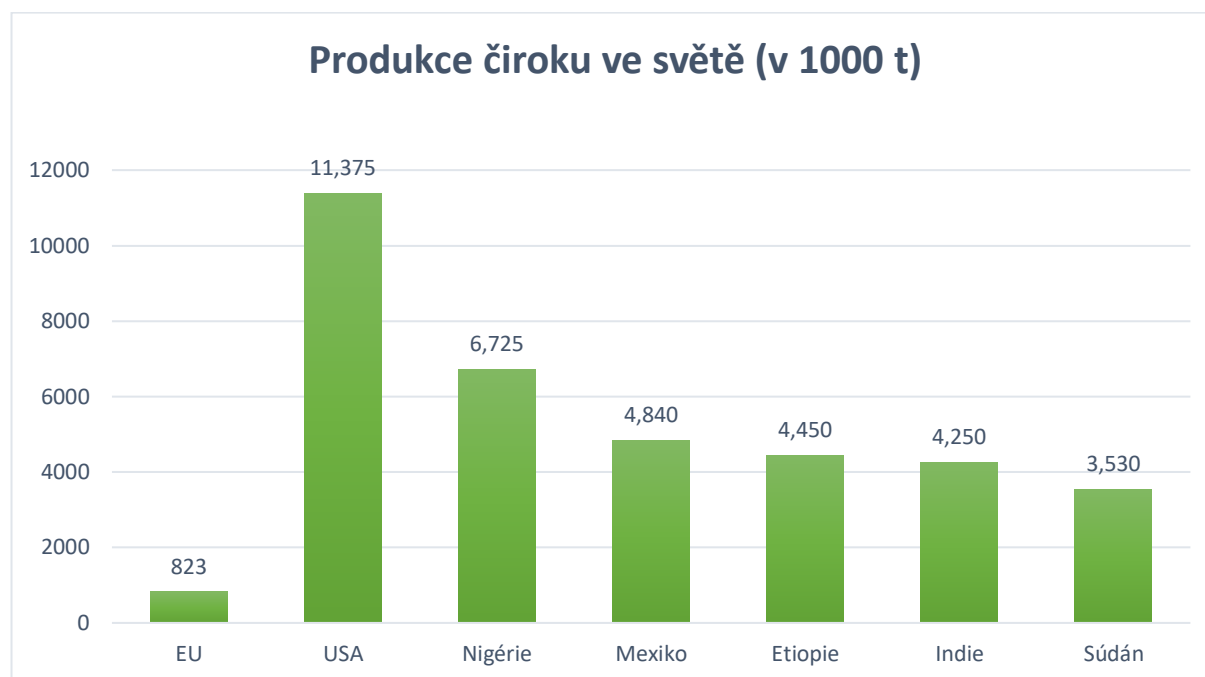
Vzhledem k vysoké adaptabilitě na suché a teplé klima se jedná o jednu z nejvýznamnějších plodin zejména v aridních a semiaridních oblastech Afriky a Asie, kde se pěstuje především pro potravinářské účely. V poslední době však začíná nabývat na významu i v mírnějších klimatických pásmech, kde snaha o zlepšení výnosnosti, adaptability a tolerance k dalším abiotickým stresům vedla k vyšlechtění mnoha odolných a vysoce výnosných hybridů. Do budoucna je však stále žádoucí směřovat šlechtění čiroků k ranosti, toleranci k chladu a v neposlední řadě ke snížení obsahu antinutričních látek (Hariprasanna & Patil 2015).

Škála využití čiroku je rozsáhlá. Ve zdejších podmínkách slouží biomasa čiroku především k výrobě siláže, která se zkrmuje skotu, či slouží jako energetická surovina do bioplynových stanic. Zrno lze využít nejen jako potravinu, své uplatnění nachází například i v pivovarnictví k výrobě sladu. Dále zrno může posloužit jako krmivo pro brojlery, nosnice či prasata (Hermuth 2020). Existuje celá řada dalšího možného využití – čirok cukrový je díky svému vysokému obsahu sacharidů vhodný především pro výrobu etanolu, dále pak pro výrobu sirupů či cukru (Appiah-Nkansah et al. 2019), čirok metlový se uplatňuje ve výrobě kartáčů či košťat (Berenji et al. 2011). Všeobecně mají čiroky fytosanitární účinky a potlačují patogeny jiných rostlin (Frydrych et al. 2020), zlepšují půdní strukturu a jsou schopny efektivně zabránit eutrofizaci odčerpáváním přebytečného dusíku v půdě (Svoboda & Haberle 2021).

Roční produkce zrna čiroku v Evropské unii (vypočtená z průměrů let 2021–2022) dle Ministerstva zemědělství Spojených států amerických (USDA 2023) dosahovala 823 000 tun.

Spojené státy, jakožto největší producent v současné době, dosáhly v porovnání průměrné produkce 11 375 000 tun; produkce v Nigérii, druhého největšího světového producenta, dosahovala 6 725 000 tun, třetí nejvyšší produkce dosáhlo Mexiko (4 840 000 t), dále Etiopie (4 450 000 t), Indie (4 250 000 t) a Súdán (3 530 000 t), jak je patrné z grafu č. 1.

Graf č. 1: Roční průměrná produkce zrna čiroku v EU v porovnání s největšími světovými producenty (USDA 2023)



3.2 Charakteristika čiroku

3.2.1 Biologická a morfologická charakteristika

Rod čirok (*Sorghum*) se řadí do čeledi lipnicovité (*Poaceae*). Jedná se o jednoděložné jednoleté i víceleté rostliny, které se vyznačují C₄ typem fotosyntézy (Hermuth et al. 2012).

Kulturní formy čiroku jsou, tak jako většina známých obilnin, jednoleté plodiny, kdežto plevelné formy, jako například čirok halabský (*Sorghum halepense* (L.) Pers.), mohou být i víceleté (Cox et al. 2018).

C₄ typ fotosyntézy se vyvinul zhruba u 60 rostlinných taxonů v důsledku poklesu CO₂ v atmosféře. Tento typ fotosyntézy je sice energeticky náročnější, obecně je však efektivnější, a to zejména v teplém a suchém prostředí, s vysokou intenzitou slunečního záření. Fixace CO₂ probíhá pomocí dvou odlišných typů buněk na dvou prostorově oddělených místech. Oxid uhličitý je vázán v buňkách mezofylu na fosfoenolpyruvát za vzniku čtyřuhlíkatého

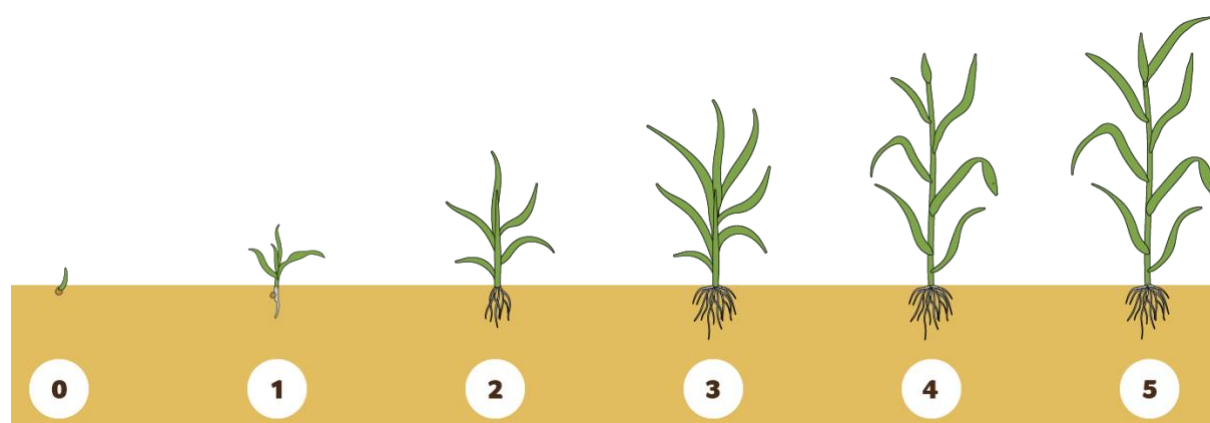
oxalacetátu. Ten je ve většině případů redukován na malát, který přechází do buněk cévního svazku. Zde je dekarboxylován a vstupuje do Calvinova cyklu. Díky tomuto mechanismu nedochází k energetickým ztrátám během fotorespirace. Zároveň C₄ rostliny dokáží efektivněji využívat vodu a dusík (Tao et al. 2020).

Morfologické znaky se u jednotlivých forem široků příliš neliší. Ve vyhovujících podmínkách dorůstají mohutného vzrůstu s hustým olistěním a latou (Hermuth et al. 2012). Vanderlip (1993) popsal následující fenologické fáze, které jsou graficky znázorněny na obrázcích č. 1 a 2):

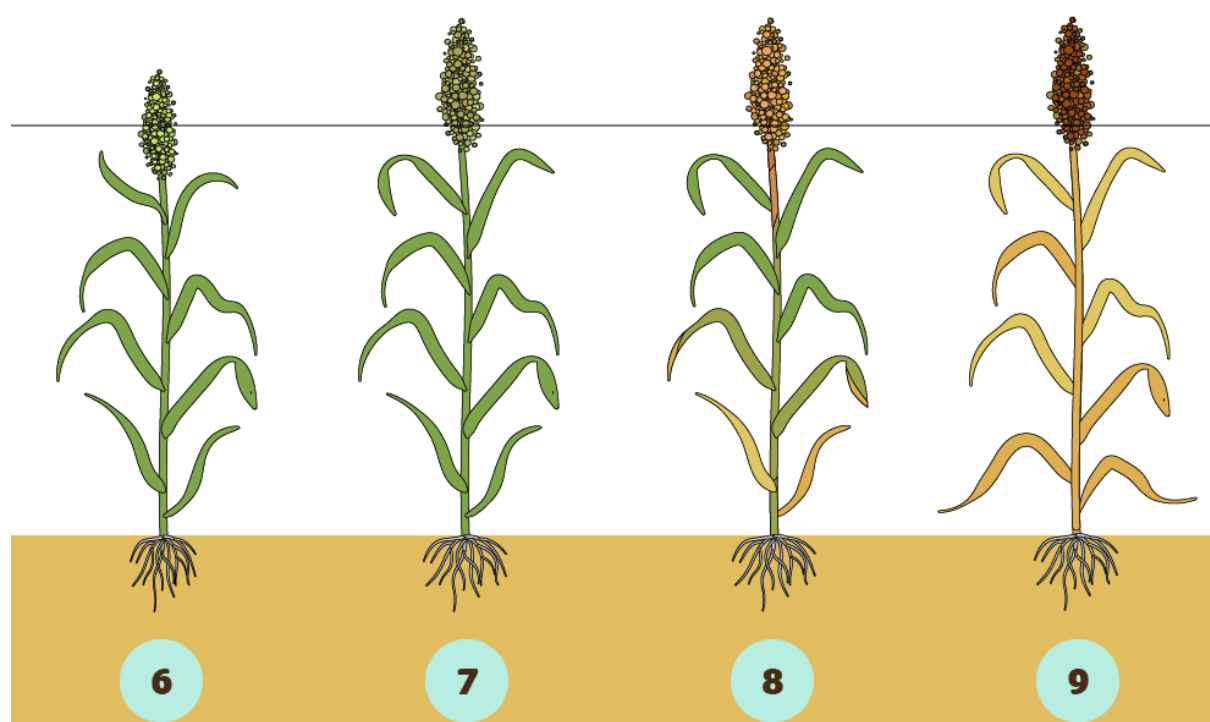
- **Fáze 0** – od zasetí po vzejití – obvykle trvá 5–10 dnů, odvíjí se však primárně od působících abiotických faktorů. Roli zde primárně hraje teplota půdy a vlhkost, dále však i hloubka zasetí, skruktura půdy a do jisté míry i vlastnosti semen. Žádoucí je co nejrychlejší vzejití, v opačném případě hrozí vyčerpání živin v endospermu.
- **Fáze 1** – fáze prvních 3 lístků – nastává 10–20 dnů po vzejití. Růstový bod se nachází stále pod povrchem půdy a z tohoto důvodu je rostlina vysoce odolná proti mechanickému poškození. Je však nutné hlídat zaplevelení, které by mohlo ohrozit její růst.
- **Fáze 2** – fáze 5 lístků – nastává 20–25 dnů po vzejití. V této fázi se silně rozvíjí kořenový systém i celková nadzemní biomasa. I v tuto dobu je rostlina stále odolná mechanickému poškození, avšak výskyt plevelů může být pro její růst vysoce rizikový.
- **Fáze 3** – diferenciacie růstového bodu – v této fázi, 30–40 dnů po vzejití, je definován potenciální konečný počet listů. Rostlina roste rychlým tempem a zároveň stoupá její potřeba živin. Růstový bod je nad povrchem půdy a začíná se tvořit lata.
- **Fáze 4** – viditelný praporcový list – v této fázi jsou téměř všechny listy, vyjma 3 až 4, rozvinuty, dochází k prodlužování stébla, zvětšování listové plochy a růstu laty. Zároveň v tuto dobu rostlina stále odebírá velké množství živin, jejichž dostupnost je v této fázi velmi žádoucí.
- **Fáze 5** – metání – nastává 50–60 dnů po vzejití, lata je téměř plně vyvinuta, avšak stále ukryta ve svinutém praporcovém listu, je definován počet semen, listová plocha dosáhla maxima. V tomto období by neměla být rostlina, zejména lata, vystavena stresorům, například v podobě herbicidů.

- **Fáze 6** – kvetení – v tuto dobu začíná reprodukční fáze, čiroky začínají kvést. Je dosaženo 50 % celkového vzrůstu, začíná se tvořit zrno, v rostlinách je akumulováno asi 60–80 % celkově přijímaných živin.
- **Fáze 7** – vosková zralost – v této chvíli se začíná tvořit a plnit zrno, které dosahuje až 50 % své suché hmotnosti. Stéblo ztrácí na úkor zrna svou hmotnost.
- **Fáze 8** – žlutá zralost – v této fázi zrno dosahuje až 75 % suché hmotnosti, příjem živin se zpomaluje až zastavuje, spodní listy žloutnou a usychají. Silný stres v tomto období již většinou nezpůsobí škody na výnosu.
- **Fáze 9** – fyziologická zralost – zrna dosahují konečné maximální hmotnosti a jsou plně zralá s vlhkostí 25–35 %.

Obrázek č. 1: Vegetativní fáze čiroku (eKonomics 2022)



Obrázek č. 2: Reprodukční fáze čiroku (eKonomics 2022)



Pro čirok je charakteristický až 2,5 m hluboký a rozsáhlý vláknitý kořenový systém, jehož délka a architektura ovlivňuje příjem vody a živin z různých hlubokých půdních vrstev (Theiß & Jäkel 2019). V době klíčení vyrůstá jeden primární kořen, laterální kořeny se tvoří až ve fázi růstu 2. listu a ve fázi růstu 4–5 listů se objevují kořeny nodální (Singh et al. 2010).

Čiroky tvoří až několik odnoží, jejichž délka se pohybuje v rozpětí 1,0–4,5 m v závislosti na odrůdě. Stébla jsou výrazně slabší než stébla kukuřice a jsou rozdělena nody na jednotlivá internodia, která vyplňuje dřev. Morfologické a anatomické vlastnosti stonku jsou klíčové například z hlediska poléhání rostlin (Theiß & Jäkel 2019). Hermuth et al. (2012) zmiňují, že počet internodií na hlavním stéble souvisí s délkou vegetačního období. Rané odrůdy čiroku mívají nižší počet (5–11), zatímco pozdní dosahují počtu až 20 internodií. Četnost odnožování se odvíjí od typu půdy a hustoty porostu. Čiroky odnožují ve větší míře na úrodných půdách a v řídkých porostech.

Listy jsou umístěny v závislosti na genotypu buď v převážně spodní části stébla, či rovnoměrně po celé jeho délce. Dosahují až 10 cm na šířku a 40 až 80 cm na délku. Zabarvení listů je šedozelené a je způsobené slabou voskovou vrstvou na jejich povrchu (Hermuth et al. 2012). Střední nerv, tedy žilnatina listu, která se táhne po celé jeho délce, mívá nejčastěji bělavou až zelenou barvu, avšak Brown Mid Rib hybridy (BMR hybridy) mají tuto žilnatinu zbarvenou hnědě, kdy tato barva je přítomna i v jiných částech rostliny, zejména ve stonku (Sattler et al. 2010).

Květenství čiroku – lata – vykazuje primární, sekundární a terciární větvení, kdy primární větve se směrem k vrcholu laty postupně zkracují a méně větví (Brown et al. 2006). Lata se skládá z klásků, které rostou párově. Jeden je přisedlý, fertilní a oboupohlavný, druhý na stopce a pouze samičí. V každém klásku se pak nachází dva kvítky; jeden fertilní a druhý sterilní (Rooney 2007).

Obilka čiroku má kulovitý tvar s délkou 4 mm a šířkou 2 mm a skládá se ze 3 částí – perikarp, endosperm a embryo, kdy endosperm tvoří největší část. Barva zrna může být bílá, šedá, červená či hnědá; to se odvíjí od barvy perikarpu a přítomnosti či absence testy. Hmotnost tisíce zrn (HTZ) se pohybuje nejčastěji v rozmezí 25–35 g (Hermuth et al. 2012).

3.2.2 Formy čiroku

Klasifikace je z důvodu rozsáhlé variability v rámci celého rodu nejednoznačná a komplikovaná (Wiersema & Dahlberg 2007). Rod čirok poprvé popsal Carl Linné roku 1753 pod názvem *Holcus*. V roce 1794 pak Conrad Moench oddělil od rodu *Holcus* rod *Sorghum*. V roce 1961 William Derek Clayton navrhl název *Sorghum bicolor* (L.) MOENCH,

který se využívá dodnes. Snowden v roce 1936 popsal 4 plevelné, 17 příbuzných planých a 31 kulturních druhů a mnoho dalších forem a variet; dnes se však používá klasifikace de Wetta a Huckabaye z roku 1967, kteří sloučili čirok jako jeden polymorfní druh – čirok dvoubarevný (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) se dvěma poddruhy a řadou variet a forem (Hariprasanna & Patil 2015). V praxi se pak čirok dělí podle Mansfelda (1952) na 4 variety dle jejich využití:

- 1) **Čirok zrnový** – dorůstá výšky 0,8–1,2 m a vyznačuje se mohutnou latou, výnosy zrna dosahují až 8 tun z hektaru. Pěstuje se především v Africe a Asii, kde zrno v různých úpravách slouží jako potravina. Rovněž se pěstuje pro výrobu škrobu či jako píce pro zvířata, a to jak na siláž, tak méně častěji i na zeleno. Zrnové čiroky se vyznačují dlouhým vegetačním obdobím. V podmínkách ČR jsou schopny v teplejších oblastech dozrát, avšak v některých případech se zrno musí dosoušet na požadovanou vlhkost 20–25 %. Cílem šlechtění je tedy zkrátit vegetační dobu a zároveň snížit obsah antinutričních látek v zrně (Hermuth et al. 2012)
- 2) **Čirok cukrový** – dorůstá výšky až 4 m a je schopen při vyhovující dostupnosti vláhy vyprodukovat 50–100 t.ha⁻¹ čerstvé biomasy, klasicky se jedná spíše o 20–30 t.ha⁻¹. Využití nachází jako píce s velmi dobrou nutriční hodnotou. Mimo jiné se díky vysokému obsahu zkrasitelných cukrů hojně využívá pro výrobu etanolu. Z 29 t biomasy je možné získat přes 14 500 l etanolu (Appiah-Nkansah et al. 2019).
- 3) **Čirok súdánský** (súdánská tráva) – dosahuje výšky cca 2,5 m, vytváří až 7 odnoží a ročně poskytuje několik sečí. Primární využití má jakožto píce buď na výrobu siláže či k přímé pastvě (Hermuth 2020). V současné době je kladen důraz na BMR (Brown Mid Rib) mutaci, tedy rostlinu, jejíž cévní svazky mají výraznou hnědou barvu. Tyto hybridy vznikly buď spontánně či chemickou mutagenezí a kromě čiroku jsou typické například pro kukuřici či proso a obecně se vyskytují pouze u C₄ rostlin. BMR hybridy obsahují až o 60 % méně ligninu, což vede k výraznému zlepšení stravitelnosti (Sattler et al. 2010).
- 4) **Čirok metlový** (čirok technický) – dosahuje výšky i přes 4 m, má dlouhou a pružnou latu, ze které se primárně vyrábí košťata. Berenji et al. (2011) mimo jiné uvádí i energetické a krmné využití, avšak u zkrmování skotem je třeba brát v úvahu vyšší obsah nežádoucích tříslovin v zrně.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský vydává každoročně aktualizovaný seznam odrůd pěstovaných rostlin na území České republiky. Tento seznam je zapsán ve Státní odrůdové knize, která zahrnuje všechny uznávané a registrované odrůdy, které mohou být uváděny do oběhu. K roku 2022 bylo dle ÚKZÚZ (2022b) ve Státní odrůdové knize zapsáno 8 odrůd čiroku, z toho 7 silážních a 1 zrnový; zároveň 1 silážní hybrid čiroku x čiroku súdánské trávy. Uvedeny jsou v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Seznam odrůd čiroku zapsaných ve Státní odrůdové knize (ÚKZÚZ 2022b)

Čirok	Název odrůdy	Rok zápisu
Na siláž	DUSORMIL HD19	2021
	Farmsugro 180	2014
	KWS Merlin	2015
	KWS Tarzan	2014
	N52K2562	2018
	Ruzrok	2016
	Sweet Caroline	2014
Na zrno	Colorado	2021
Čirok x čirok súdánská tráva	Název odrůdy	Rok zápisu
Na siláž	KWS Freya	2014

Ruzrok je první odrůdou zrnového čiroku, která byla vyšlechtěna na území České republiky Ing. Jiřím Hermuthem z Výzkumného ústavu rostlinné výroby. Vyznačuje se rychlým vegetativním růstem a raností. Z tohoto důvodu je schopna i v podmínkách ČR dozrát a vyprodukovat zrno, a to zhruba v rozpětí 5–6 t.ha⁻¹. Citlivá je však na nízké teploty, které ji mohou nenávratně poškodit, především v raných růstových fázích od klíčení do tvorby prvních listů. Z tohoto důvodu je žádoucí správné načasování setí (Hermuth 2019). Mezi hlavní výhody této odrůdy patří relativně vysoká rychlost růstu, vysoký vzrůst rostliny a celkově obdobné množství produkované biomasy v porovnání s dalšími, na území ČR pěstovanými hybridy. Ruzrok lze tedy pěstovat jako energetickou či krmnou plodinu, zejména v oblastech, kde kukuřice nedosahuje dostatečných výnosů (Hermuth & Kosová 2017).

3.3 Využití čiroku v podmínkách ČR

Čirok je plodinou s dobrou nutriční hodnotou, která je schopna vytvořit velké množství biomasy i v teplém období bez dostatečného množství srážek. Jeho pěstování vyžaduje minimum zemědělských vstupů, a proto je ekonomicky výhodnou alternativou k ostatním pěstovaným na orné půdě. Ve zdejších geografických podmínkách přináší i další výhody, kdy nejdůležitějším faktorem je především dobrá adaptabilita na měnící se klima během posledních několika let (Popescu 2020).

V ČR se čirok pěstuje primárně na biomasu. Cílem je vypěstovat rostliny, jejichž hmota obsahuje co nejvíce energie, která je dobře využitelná ve výživě hospodářských zvířat či při fermentaci v bioplynových stanicích. V poslední době roste taktéž produkce čiroku na zrno. Čirokové zrno má široké spektrum využití ve výživě drůbeže, prasat i skotu. Pozitivním aspektem je dobrá stravitelnost a nízký obsah mykotoxinů v porovnání s jinými obilninami. Ve srovnání se zrnem kukuřice pak čirok obsahuje méně tuku, více dusíkatých látek a obdobné množství vlákniny a škrobu. Taktéž je zrno vhodnou plodinou pro lidskou výživu. Neobsahuje lepek a je významným zdrojem bílkovin, vlákniny, vitamínů a minerálů. V neposlední řadě pak nachází využití i v pivovarnictví, kde čirokový slad dokáže nahradit slad z běžných obilnin – ječmene, pšenice či žita, zároveň se využívá pro snížení celkového obsahu gliadinu, který je součástí lepku (Hermuth 2020).

3.3.1 Perspektiva pěstování v důsledku klimatických změn

Lidská činnost, především spalování fosilních paliv, rozsáhlé odlesňování či intenzivní zemědělská produkce, má za následek nárůst koncentrace atmosférických skleníkových plynů, které vedou ke globálním změnám klimatu. Jedná se především o nárůst průměrné teploty nad pevninou, změnu frekvence a intenzity srážek či dlouhé periody sucha (Anderson et al. 2020). Dle MZe (2017) byl na území ČR pozorován nárůst teploty v jarním a letním období zhruba o 1 °C, na podzim o 0,6 °C a v zimě o 0,2–0,5 °C. Hodnota ročního úhrnu srážek se v zásadě nemění, avšak ke změně dochází v jejich rozložení během roku. Na jaře a v létě dochází k poklesu, naopak v zimě se četnost srážek zvyšuje. Tato skutečnost je v zemědělství zásadní, jelikož jsou rostliny vystavovány abiotickým stresům, zejména vyšším teplotám a poklesu zásoby půdní vláhy v období, kdy plodiny vodu nejvíce potřebují k růstu. Je tedy zřejmé, že v následujících letech bude třeba přizpůsobit zemědělskou produkci klimatickým změnám, zejména volbou vhodných plodin či jejich šlechtěním ke zvýšené odolnosti.

Čirok je díky C₄ typu fotosyntézy méně citlivou plodinou ke změnám klimatu a poskytuje stabilní výnosy i během období s malým úhrnem srážek (Getachew et al. 2016). C₄ rostliny při vysokých teplotách v porovnání s C₃ rostlinami efektivněji využívají oxid uhličitý a sluneční záření k tvorbě biomasy a lépe hospodaří s vodou (Way et al. 2014). V teplých a suchých oblastech, kde je třeba pokrýt potřebu krmiva pro hospodářská zvířata či zajistit potřebné množství substrátu k výrobě bioplynu, může být výroba čirokové siláže vhodnou alternativou či doplňkem k osvědčené kukuřičné siláži (Theiß & Jäkel 2019).

3.3.2 Krmné účely

Čirok je i během let s podprůměrnými srážkami schopen vyprodukovat větší množství biomasy než vojtěška setá, jetel luční, jetelotrávy, či ostatní tradičně pěstované píce, a proto se čiroková siláž začíná v poslední době stále více uplatňovat v chovu skotu (Vala 2021). Steinhöfel (2021) uvádí, že v suchém období může čirok sice dosáhnout většího výnosu než kukuřice, avšak kvalitou se může výrazně lišit. Značné kvalitativní rozdíly najdeme i mezi jednotlivými hybridy čiroků, jedná se například o vysoký obsah tuků a bílkovin u zrnových hybridů (Kriegshauser et al. 2006).

Z nutričního hlediska obsahuje čiroková siláž vysoký podíl hemicelulózy (více než 16 %), která určuje stravitelnost a energetickou hodnotu krmné dávky. Obecně platí, že čím je vyšší obsah hemicelulózy, tím roste hodnota neutrálně detergentní vlákniny (NDF) – tj. částečně stravitelné vlákniny. Krmivo má v tomto důsledku vyšší objemovost a dochází ke snížení příjmu zvířaty. Zvýšená hodnota NDF rovněž vede k horší stravitelnosti, a tedy potenciálnímu poklesu mléčné produkce dojníc. Uváděná hodnota stravitelnosti NDF je zhruba 56–59 %; stravitelnost organické hmoty se pohybuje v rozmezí 65–70 %, avšak záleží na konkrétní odrůdě čiroku, kdy dvousečné hybridy se hodnotami stravitelnosti mohou přibližovat kukuřičné siláži. Energetická hodnota obou typů siláží se pak také výrazně neliší. Zrnové hybridy čiroku sklizené napřímo při obsahu sušiny 28–30 % mají téměř srovnatelnou energetickou hodnotu se siláží kukuřičnou. Průměrná koncentrace netto energie pro laktaci (NEL) se pohybuje v rozmezí 5,5–5,7 MJ NEL na 1 kg sušiny. Vícesečné čiroky se obsahem dusíkatých látek (9–12 %) blíží kvalitě travních senáží, zde však záleží na úrovni hnojení dusíkatými hnojivy. Tyto odrůdy se vyznačují vysokou výnosností, dobrým obsahem bílkovin, zároveň ale obsahují nízký obsah sušiny (19–20 %) a rychle dřevnatí. Dobrá stravitelnost a nutriční ukazatele byly prokázány u hybridů BMR, které obsahovaly vyšší zastoupení dusíkatých látek a tuku a nižší obsah hrubé vlákniny (Doležal et al. 2022).

Fasching (2014) uvádí, že siláž ze zrnového čiroku obsahuje v porovnání s kukuřičnou siláží až o 10 % méně sušiny, poskytuje méně energie kvůli nízkému obsahu škrobu, koncentrace NEL je průměrně o $1,4 \text{ MJ.kg}^{-1}$ sušiny nižší, a naopak vyšší hodnota NDF až o 20 % (61 %) působí horší stravitelnost hmoty; čiroková siláž se tak nutričně nemůže vyrovnat siláži kukuřičné. Ovšem i zde autor zmiňuje proměnlivost hodnot napříč odrůdami. V provedeném pokusu v roce 2009 popisují Ettle et al. (2011) přednosti BMR odrůd, a to především lepší stravitelnost a vyšší obsah energie. Stravitelnost organické hmoty (SOH) BMR hybridu dosahovala 70 % a energetický obsah dosahoval hodnoty NEL $5,9 \text{ MJ.kg}^{-1}$ sušiny a těmito hodnotami se blížil hodnotám kukuřičné siláže. Na obdobných hodnotách SOH BMR hybridů se shodli i Doležal et al. (2022) a zároveň uvádí hodnoty NDF lehce přesahující 50 %.

Miron et al. (2007) porovnávali jednotlivé parametry a vlastnosti kukuřice, konvenčně pěstovaného čiroku a BMR hybridu. Mezi odrůdami byly značné rozdíly v hektarovém výnosu sušiny. U kukuřice byl zaznamenán nejvyšší výnos, tj. $17,8 \text{ t.ha}^{-1}$, nejnižší naopak u BMR hybridu – $10,8 \text{ t.ha}^{-1}$. Těmito hodnotám odpovídal obsah sušiny v čerstvé biomase. BMR hybrid obsahoval v době sklizně (vosková zralost) nejméně sušiny – 255 g.kg^{-1} zelené biomasy, kukuřice v porovnání obsahovala sušiny nejvíce – 357 g.kg^{-1} . Konvenčně pěstovaný čirok obsahoval v porovnání s BMR hybridem a kukuřicí nejvíce NDF (612 g.kg^{-1}), celulózy (307 g.kg^{-1}), a naopak nejméně hrubého proteinu ($50,7 \text{ g.kg}^{-1}$). Nejvíce popelovin ($90,2 \text{ g.kg}^{-1}$) a hemicelulózy (249 g.kg^{-1}) obsahoval BMR hybrid.

Astigarraga et al. (2014) porovnávali prostřednictvím pokusu vliv kvalitativních složek BMR hybridů a konvenčně pěstovaných hybridů čiroků na denní nádoj holštýnského skotu. Čirok v krmné dávce krav tvořil 65 %. U dojnic krmených BMR čirokem byl zaznamenán vyšší nádoj ($18,5 \text{ l.den}^{-1}$) oproti skupině dojnic krmených konvenčně pěstovaným čirokem ($17,8 \text{ l.den}^{-1}$) a vyšší obsah mléčných složek – tuků o 52 g.den^{-1} více a bílkovin o 36 g.den^{-1} více. Tato skutečnost je dána lepší stravitelností buněčné stěny BMR hybridů.

Fasching (2014) prováděl pokus s dojivostí krav, které byly krmeny různými typy siláží. Podíly siláží v krmné dávce představovaly 65 %. Ostatní složky krmiva byly zvoleny tak, aby obsah hrubého proteinu v celkové krmné dávce u všech variant dosahoval 16,5 %. Porovnávány byly siláže z konvenčně pěstovaného zrnového čiroku, dále BMR hybridu, kukuřice a vojtěšky. Nejnižší příjem sušiny byl pozorován u zrnového čiroku ($21,5 \text{ kg.den}^{-1}$), nejvyšší naopak při zkrmování silážní kukuřice ($25,3 \text{ kg.den}^{-1}$). Těmito výsledkům odpovídala i dojivost, která byla rovněž nejnižší u zrnového čiroku a nejvyšší u silážní kukuřice. V podílu mléčných složek však nebyly pozorovány rozdíly, kromě obsahu bílkovin, které byly výrazně více zastoupeny u dojnic krmených kukuřičnou siláží. Doležal et al. (2022) uvádí, že přidání čirokové siláže

do krmné dávky je vhodné z důvodu vysokého sytícího efektu a srovnatelného obsahu dusíkatých látek s travními senážemi. V provedeném pokusu mělo částečné nahrazení jetelotravní senáže za čirokovou siláž ($10 \text{ kg} \cdot \text{den}^{-1}$) pozitivní vliv jak na zasušené krávy, tak i na dojnice, u kterých byl prokázán pozitivní vliv na bachorový metabolismus, ale i na složení mléka. Především čirok cukrový, který obsahuje příznivé množství zkvasitelných cukrů, podporuje činnost mikroorganismů v bachoru a v tomto důsledku i tvorbu mikrobiálního proteinu.

Výsledky studie taktéž prokázaly, že přídavek čirokové siláže do krmné dávky pozitivně ovlivnil denní nádoj a složení mléka. Naměřené změny v užitkovosti a kvalitě mléka jsou uvedeny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2: Vliv nahrazení části jetelotravní senáže čirokovou siláží na produkci a kvalitu mléka (Doležal et al. 2022)

Hodnocené ukazatele	Krmná dávka	
	S čirokovou siláží	Bez čirokové siláže
Užitkovost ($\text{kg} \cdot \text{den}^{-1}$)	43,25	41,98
Laktóza (%)	4,87	4,85
Mléčný tuk (%)	3,90	3,71
Mléčná bílkovina (%)	3,41	3,39

Krmné využití nachází čirok taktéž u prasat a brojlerů. Kim et al. (2000) zmiňují, že měkký endosperm v obilce čiroku může pozitivně ovlivnit růst zvířat a zvýšit stravitelnost živin. Avšak Selle et al. (2010) naopak uvádí rizika výskytu antinutričních látek, především kafirinu a fytátu, které negativně ovlivňují stravitelnost bílkovin a škrobů a mohou způsobit nerovnoměrný růst zvířat a jejich nižší užitkovost.

Steinhöfel (2021) zmiňuje i potenciální riziko využívání čiroku ke krmným účelům, a to konkrétně z důvodu výskytu dhurrinu – tedy kyanogenního glykosidu, který se v rostlinách zvyšuje zejména při působení abiotických stresů, jako jsou nízké teploty, nedostatek slunečního svitu, ale i období sucha. Kyanovodík je nežádoucí; jedná se o vysoce toxickou látku, jejíž limit nesmí přesahovat $57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sušiny. Pokud je obsah vyšší, krmivo se nesmí zkrmovat ani být pro tyto účely uváděno na trh. Možné využití je pouze v bioplynových stanicích. K vyšším koncentracím kyseliny kyanovodíkové jsou náchylnější hybridy súdánských trav v porovnání s čiroky zrnovými, a taktéž mladé rostliny. Dle Cowana et al. (2020) je v období sucha

koncentrace kyanovodíku výrazně zvýšená pouze v nadzemní biomase; v kořenové části zůstává neměnná. Tato koncentrace však s růstovou fází klesá a zároveň je kyanovodík částečně odbouratelný při silážování, a to až o 50 %. Gruss et al. (2023) však poukazují na stabilitu dhurrinu i v suchých rostlinách nejméně po dobu 2 měsíců od sklizně. Navíc při opětovné rehydrataci v bacherové tekutině přežvýkavců dochází k jeho rychlému štěpení a uvolňování v podobě kyanovodíku. Potenciálním řešením toxicity by dle autorů mohla být hybridizace odrůdy inhibující biosyntézu dhurrinu.

V mnoha oblastech světa nachází čirok i pastevní uplatnění. Jedná se zejména o suché oblasti s vysokými teplotami, kde se jiným pícninám v pastevním období nedaří. Při výběru vhodného hybridu je nutné zohlednit nejen výnosnost, ale i jakost píce tak, aby docházelo k dobrovolnému přijímání zvířaty a maximalizaci jejich užítkovosti (Astigarraga et al. 2014). Taktéž struktura pastevního porostu ovlivňuje příjem potravy. Fonseca et al. (2012) zaznamenali nejvyšší podíl listů při výšce porostu 30 cm, tento podíl se v průběhu růstu snižoval, zatímco podíl stonků se zvyšoval. Podíl těchto morfologických složek se stabilizoval při výšce porostu 50 cm. Autoři popisali nejvyšší míru příjmu píce skotem při výšce porostu 50 cm; při výšce nad 60 cm docházelo ke snížení krátkodobého příjmu pastevního porostu. Zároveň by však nemělo docházet k vypásání porostu pod 50 cm z důvodu zhoršeného obrůstání rostlin.

3.3.3 Energetické využití

Jedním z hlavních alternativních zdrojů pro energetické využití patří biomasa. Ta se buď využívá k přímému spalování či k výrobě bioplynu. Čirok nachází uplatnění zejména v bioplynových stanicích (Petříková 2018).

Vzhledem k nutnosti snižování emisí skleníkových plynů narůstalo v poslední době množství bioplynových stanic, které jsou zdrojem obnovitelné energie – bioplynu. Tento nárůst přináší mnoho ekologických i ekonomických výhod a do budoucna má oproti fosilním pohonným hmotám vysoký potenciál (Kratochvílová et al. 2009).

Bioplyn vzniká rozkladem a přeměnou organického materiálu – substrátu, který lze rozdělit na odpadní a záměrně pěstovaný. Mezi odpadní substráty řadíme rostlinné zbytky ze zemědělské a lesní výroby, odpady z živočišné výroby, biologicky rozložitelné odpady, kaly z odpadních vod a odpady z průmyslových a potravinářských výrob. Zmíněnými odpadními a vedlejšími produkty však nelze pokrýt potřebu energetické biomasy, proto se musí většina zajistit záměrným pěstováním energetických plodin na orné půdě. Mezi takovou biomasu spadají např. kukuřice, čirok, tritikále a rychle rostoucí dřeviny; dále olejninu či okopaniny

(Michal 2005). Mimo zmíněné energetické využití mají tyto plodiny i využití nepřímé, a to redukci výskytu skleníkových plynů (Petříková 2018).

Bioplyn je hlavní produkt anaerobní digesce substrátu. Jeho složení se odvíjí od typu rozkládaného substrátu, primárně však hlavní složku tvoří metan a oxid uhličitý. Rozklad probíhá pomocí mikroorganismů ve čtyřech základních, na sebe navazujících fázích, kdy výchozí produkty každé fáze jsou substrátem pro následující skupinu rozkládajících mikroorganismů. První stadium se nazývá hydrolýza a probíhá ještě stále v aerobním prostředí. Zde jsou rozkládány makromolekulární organické látky (proteiny, lipidy a polysacharidy) na látky nízkomolekulární. V druhé fázi – acidogenezi – jsou monomery rozkládány na jednodušší organické látky (alkoholy a vyšší organické kyseliny). V této fázi je zároveň definitivně utvořeno anaerobní prostředí. Třetí fáze – acetogeneze – zahrnuje přeměnu oxidací výchozích produktů acidogeneze na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. Produktem poslední fáze – metanogeneze – jsou pak výše zmíněné hlavní složky bioplynu – metan a oxid uhličitý (Švehla et al. 2007).

V současnosti patří mezi nejvíce pěstované plodiny pro výrobu bioplynu v mírném klimatu střední Evropy kukuřice, která má nejvyšší potenciál výnosu sušiny a metanu, jakožto zdroje energie. Společně s kejdou tvoří primární složku substrátu. Čirok začíná v poslední době nabývat na významu především kvůli vyšší toleranci k vybraným abiotickým stresům, zvýšení biodiverzity, nižšímu eroznímu koeficientu půdy, nižším agrotechnickým vstupům či rezistenci vůči bázlivci kukuřičnému (Windpassinger et al. 2015).

Cílem pěstování čiroku pro energetické účely je maximální výnos suché biomasy z jednotky plochy se zachováním jeho jakosti, tj. sušiny, která je důležitým aspektem při produkci bioplynu. Pro toto využití se optimální rozpětí obsahu sušiny pohybuje v rozmezí 28–32 %. Nižší obsah není ekonomicky výhodný jednak z hlediska dopravy, kdy je převáženo velké množství vody, jednak se s nižším obsahem sušiny snižuje výtěžek metanu (Bogaň 2011). Dále je důležitá výtěžnost metanu, která může být ovlivněna způsobem sklizně, technologiemi zpracování, složením, biologickou rozložitelností hmoty, druhy a odrůdami rostlin (Mahmood et al. 2013). Jako vhodné druhy pro energetické využití zmiňuje Petříková (2018) čirok zrnový, cukrový či súdánský. Využití má ve většině případů celá jejich nadzemní hmota, která se siláže. Sušina čirokové siláže by pro zmíněné využití měla optimálně dosahovat alespoň 28 % (Windpassinger et al. 2015).

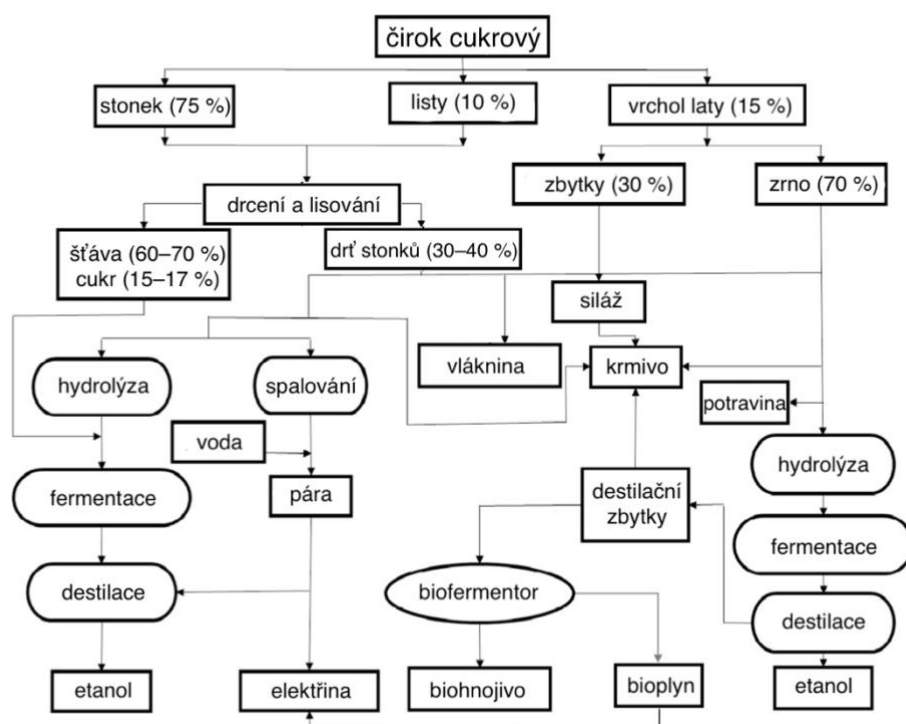
Samarappuli & Berti (2018) uvádí, že pícninářský čirok či směs čiroku a kukuřice mohou dosahovat obdobné výtěžnosti píce a bioplynu jako monokultury kukuřice v různých prostředích a mohou ji tak nahradit beze ztrát. Autoři také porovnávali BMR a krmný hybrid

čiroku, kdy BMR hybrid vykazoval nižší výnos píce, na druhou stranu kvalita píce a specifický výnos bioplynu byly vyšší než u čiroku krmného a kukuřice.

Taktéž Theiß & Jäkel (2019) porovnávali čiroky – zrnový čirok, krmný čirok a čirok súdánský s kukuřicí. Všechny typy čiroků měly nižší výtěžek metanu oproti kukuřici, což je dáno vysokým obsahem celulózy (nad 300 g.kg⁻¹ sušiny) a ligninu (nad 60 g.kg⁻¹ sušiny). Nejlépe hodnoceným z třech sledovaných odrůd čiroků byl čirok zrnový, který vykazoval výhody ve výtěžnosti metanu zejména kvůli nejvyššímu zastoupení zrna v celkové biomase.

Čirok cukrový se díky vysokému obsahu cukrů využívá i k výrobě etanolu. Většina obsahu cukru je akumulován v internodiích, a to zejména v mezi 4.–7., bazální internodia dosahují vyšší hmotnosti a obsahu šťávy, avšak s nižší koncentrací cukernatých složek (Kanbar et al. 2021). Extrahovaná šťáva obsahuje vysoký podíl sacharózy (53–85 %), glukózy (9–33 %) a fruktózy (6–21 %). Zrno, které je tvořeno z většiny škrobem (62–75 %), má rovněž po hydrolýze a fermentaci uplatnění ve výrobě etanolu. Rozdrcené vláknité stonky lze kromě výroby etanolu využít ke kogeneraci energie a tepla (Appiah-Nkansah et al. 2019). Způsoby využití čiroku cukrového k výrobě etanolu či jiných konečných produktů a meziproductů jsou vyobrazeny na obrázku č. 3.

Obrázek č. 3: Využití čiroku cukrového pro bioenergii (Appiah-Nkansah et al. 2019)



3.3.4 Mimoprodukční uplatnění

Současné klimatické změny a jejich důsledky, například časnější sklizeň zrnin v důsledku nedostatku vláhy, mají za následek stále častější využívání čiroků jakožto následných plodin či meziplodin. Jako následné plodiny se sejí již během května po časné sklizni jiných píceň (Podrábský 2017; Venclová 2019). Fritz (2018) doporučuje vysévat čirok nejlépe po žitu sklizeném na zeleno či po ozimých GPS obilninách. V závislosti na termínu sklizně těchto předplodin však uvádí termín výsevu od začátku do poloviny června.

Další možností uplatnění čiroku je jeho pěstování jakožto meziplodiny, tedy zajištění vegetačního pokryvu orné půdy v meziporostním období. Toto využití významně podporuje produkční i mimoprodukční funkce zemědělství, kdy tyto dvě sféry od sebe nelze vzhledem k vzájemnému propojení jednoznačně oddělit (Brant et al. 2008). K přednostem meziplodin můžeme řadit například snížení půdní eroze. Čirok sice patří mezi širokořádkové plodiny, které poskytují nízkou ochranu před erozí, avšak v porovnání s kukuřicí má až o polovinu nižší erozní koeficient (Doležal et al. 2022). Hermuth (2020) zmiňuje přednost pěstování čiroku jakožto meziplodiny především z hlediska lepšího hospodaření s vodou během suchých letních měsíců, kdy jiné plodiny mají problém vyklíčit. Vysévat se může v průběhu letních měsíců, nejpozději však do začátku srpna; později hrozí výskyt nežádoucích chladných teplot, které inhibují klíčení. Pokud je čirok vyset časně v letním období, je pravděpodobné, že dosáhne požadované sušiny pro jednofázovou sklizeň, pokud se však vysévá později, je ho nutné sklízet dvoufázově z důvodu vyšší koncentrace vody v biomase.

Další výhodou je efektivní využití slunečního záření ke tvorbě biomasy, která po zapravení do půdy poskytuje zdroj látek a energie pro půdní mikroorganismy a tvoří humus. Mladé rostliny čiroku mají zároveň fytosanitární účinky a jsou tak schopny potlačovat patogeny jiných plodin (Dover et al. 2004). V biomase, zejména ve špičkách výhonků, je obsažen dhurrin, tedy kyanogenní glykosid vznikající z aminokyselin, který je za určitých podmínek schopen štěpit a uvolňovat kyanovodík. Tento efekt lze využít k potlačení hád'átek, hub a jiných patogenů zejména v oblastech, kde se pěstují ohrožené plodiny těmito škůdci, jako je česnek, cukrová řepa či brambory a hrozí zde velké riziko zamoření půd (Frydrych et al. 2020).

Svoboda & Haberle (2021) popisují další významná uplatnění čiroku. Jedná se například o meliorační schopnosti a celkové zlepšení půdní struktury. Kořenový systém je totiž schopen i v horších podmínkách rychle proniknout do hlubších nezpracovaných vrstev půdního profilu, kde pomocí husté sítě kořenů vytváří póry a zlepšuje tak aeraci půdy a infiltraci vody.

Čírok se rovněž osvědčil při odčerpávání dusíku z půdy a jeho následné kumulaci v biomase. Jedná se primárně o přebytečný dusík na problematických místech, kde hrozí nadměrné unikání dusičnanů do podzemních vod či vodních toků a nádrží, kde zapříčiňují eutrofizaci. Toto využití nachází především na bývalých polních složištích hnoje, kde jiné plodiny kvůli nadměrné koncentraci živin nejsou schopny vzejít. Zároveň zde bývá půda utužená z důvodu častých přejezdů zemědělských strojů. Provedené výzkumy prokázaly, že na těchto místech čírok dobře vzchází, značně pomáhá odčerpat přebytečný dusík i v hlubších vrstvách půdního profilu a v neposlední řadě díky zapojenému porostu omezuje výskyt plevelů (Svoboda & Haberle 2021).

3.4 Abiotické faktory

3.4.1 Teplota

Mezi nevýhody pěstování číroků v mírném pásmu střední Evropy patří náchylnost na nízké teploty. Optimální doba setí nastává v jarním období, kdy teplota půdy dosahuje ideálně 12–14 °C, minimálně však 10 °C (Pražak 2016).

Chlad negativně ovlivňuje výnos a oddaluje zrání plodin. Nízké teploty mohou poškodit už zárodek rostliny během klíčení a vzcházení a inhibovat či definitivně zastavit jeho růst. Náchylné k nízkým teplotám jsou však rostliny ve všech vegetativních fázích, během reprodukce, až do jejich sklizně. Působením nízkých teplot dochází ke změně vlastností buněčných stěn, ovlivnění osmotického potenciálu, zpomalení enzymatických reakcí a v neposlední řadě pak k poškození fotosystému rostlin, které vede k nižší efektivnosti fotosyntézy (Casto et al. 2021).

Působení teploty na klíčivost píceňích číroků zkoumali Fuksa et al. (2015). V laboratorních podmínkách byla sledována klíčivost 4 hybridů při stálých (10 °C; 15 °C; 20 °C) a střídavých (5/15 °C; 10/20 °C; 15/25 °C) teplotních režimech. Teplota ovlivnila jednak celkovou klíčivost semen, jednak i dynamiku klíčení. Nejvyšší hodnota celkové klíčivosti – 91,1 % byla naměřena při konstantní teplotě 20 °C; naopak nejnižší klíčivost (84,2 % a 83,7 %) byla zjištěna při stálé teplotě 10 °C a střídavé teplotě 5/15 °C. Dynamika klíčení byla rovněž negativně ovlivněna nízkými teplotami (10 °C), kdy první semena začala klíčit až 6. den; naopak vyšší teploty (20 °C) tuto dobu značně zkrátily a většina semen (90,7 %) vyklíčila již 2. den od založení pokusu.

Maulana & Tesso (2013) popsali vliv nízkých teplot 13–15 °C na vlastnosti číroku v rané vegetativní fázi a ve fázi kvetení. Pozorovány byly během 10 dnů 3 genotypy. Tyto vzorky byly

porovnány se vzorky kontrolními, které byly pěstovány při teplotě v rozmezí 23–25 °C. Stres z nízkých teplot, působící v rané vegetativní fázi, tj. ve fázi vzcházení, snížil vitalitu sazenic, jejich suchou hmotnost a obsah chlorofylu v listech. Taktéž došlo k opoždění kvetení, v průměru o 8 dní, a zrání, které se prodloužilo o 4 dny v porovnání s kontrolními rostlinami; pozdější vliv na výnos však v této fázi nebyl pozorován. Naopak působení chladu ve fázi kvetení opoždilo zralost o 9 dní a výrazně snížilo počet a hmotnost zrn v latě.

Čirok se v mírném pásmu vysévá o několik týdnů později než kukuřice, což má za následek jeho nižší výnosy biomasy oproti kukuřici. Zlepšení tolerance k chladným teplotám by bylo tedy řešením k dosažení srovnatelných výnosů a zároveň efektivnějšímu využití vláhy ze zimního období (Patanè et al. 2006).

Naopak dlouhodobé vystavení rostlin čiroku vysokému teplotnímu stresu v rozmezí od 28 °C do 38 °C působí rovněž negativně. Dle Djanaguiramana et al. (2014) mají vysoké teploty za následek oxidační poškození listů, dále dochází k narušení mechanismu v tylakoidních membránách a snižuje se tak schopnost fotosyntézy. Vysoký teplotní stres má zároveň negativní vliv na klíčení pylových zrn, klíčivost a vzcházivost osiva.

3.4.2 Voda

Čirok je plodina odolná vůči suchu, která je schopna přizpůsobit se podnebí v semiaridních či aridních oblastech, avšak dlouhé periody beze srážek limitují její klíčení, rychlost růstu a výnos. Jednou z možností, jak omezit působení abiotických stresů v podobě vysokých teplot a sucha během vegetativních a reprodukčních fází, je časnější výsev. Další výhodou raného výsevu je možnost efektivnějšího využití zásob půdní vláhy, jenž se nahromadí během zimního období, a tím se minimalizuje riziko dehydratace klíčících semen. Problémem však zůstává působení nízkých teplot, které zamezují klíčení a růstu většině doposud vyšlechtěných odrůd (Patanè et al. 2021).

Dle Assefy et al. 2010 je čirok odolnějším vůči suchu z důvodu rozvinutého kořenového systému, voskové vrstvy na povrchu listů a stébel, optimálního úhlu mezi stéblem a listy, schopnosti svinout listovou čepel během teplotního a vodního stresu a schopnosti udržet otevřené průduchy i při nízkém vodním potenciálu. Autoři zároveň uvádí optimální potřebu vody zrnového čiroku ve vegetačním období v rozmezí 450–650 mm. Tato potřeba se však odvíjí od hybridu a povětrnostních podmínek prostředí. V mírných klimatických podmínkách, definovaných teplotami v rozmezí 20–25 °C, pomalým prouděním větru do 2 m.s⁻¹ a vlhkým klimatem, je spotřeba vody nižší.

Míra vodního stresu je v různých stádiích rozdílná. Stres ve fázi setí může být způsoben suchem, vysokou teplotou půdy či vysokou koncentrací solí. I přes to, že bývá ojedinělý, může snížit hmotnost endospermu a následně i kořene a výhonku klíčící rostliny (Jafar et al. 2004).

Ve vegetativních fázích zpomaluje vodní stres růst, prodlužování stébla a vytváření listů, mimo jiné ovlivňuje jejich vzhled a plochu listové čepele (Garrity et al. 1984). Nejvíce citlivým na sucho se čirok stává v reprodukční fázi, konkrétně od začátku metání, kdy dlouhodobé působení stresu má za dopad rapidní snížení výnosu. V této fázi může dojít až k zastavení tvorby pylu, vajíček a přerušení jejich oplození. Assefa et al. (2010) uvádí snížení výnosu během poškození suchem ve vegetativních fázích až o 36 %; v reprodukčních fázích až o více než 55 %.

Škeříková et al. (2018) porovnávali efektivitu transpirace kukuřice a čiroku. Vyšší výdej vody byl zaznamenán u kukuřice v letech s vyšším úhrnem srážek, naopak čirok vykazoval vyšší evapotranspiraci v suchém období. Z toho plyne, že je čirok tolerantnější k vodnímu stresu, nicméně na výnos biomasy tato vlastnost vliv neměla.

Podmáčené půdy rovněž působí nepříznivě na růst a složení biomasy čiroku. Promkhambut et al. (2010) popsali nižší vzrůst rostlin, který byl redukován až o 35 % po 20 dnech zamokření. Rovněž dochází k redukcí kořenového systému a jeho délky, urychluje se senescence listů a klesá obsah sušiny v biomase.

3.4.3 Půda

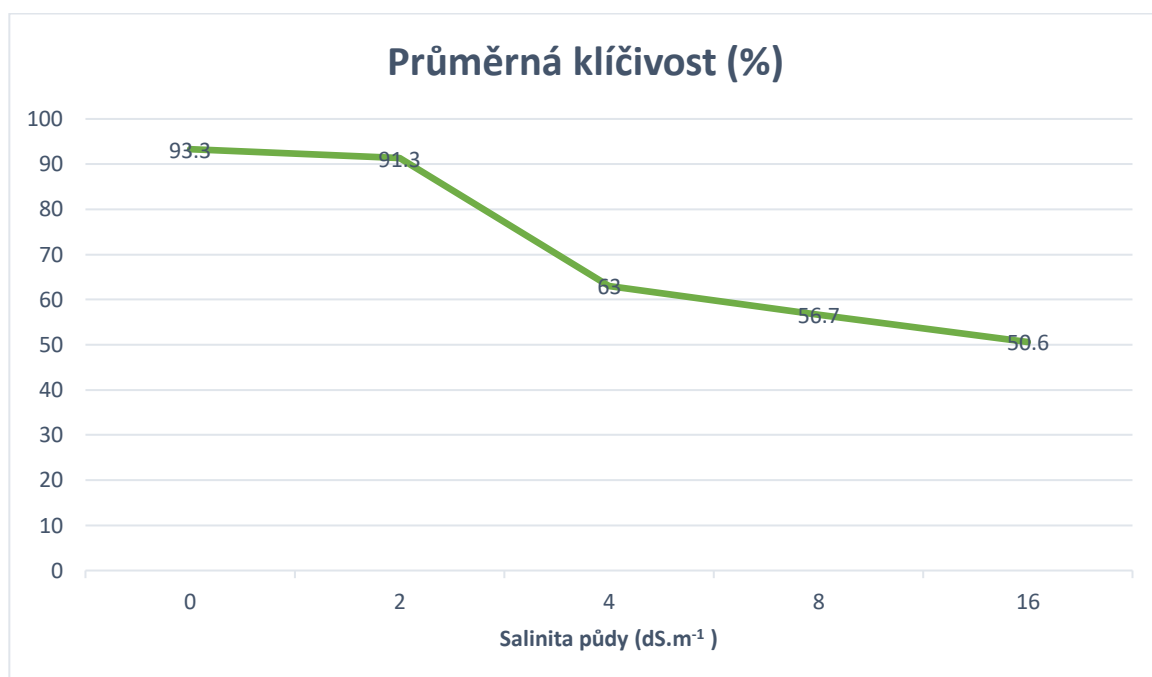
Čiroky nemají vysoké nároky na půdu. Nejvhodnějšími podmínkami pro růst jsou mírně kyselé, lehké půdy, které se snadno a rychle prohřívají. Pomalé prohřívání půdy snižuje vzcházení a zároveň zvyšuje riziko poškození rostlin mrazem. Optimální pH se pohybuje v rozmezí 5,0–8,5. Čiroky dobře snáší sucho, avšak výnos je pozitivně ovlivněn vyhovujícími vlhkostními podmínkami a dobrou bilancí živin v půdě v optimálním poměru. Relativně dobrých výnosů lze také dosáhnout na písčitých i jílovitých půdách a zároveň na místech, kde je zvýšená půdní salinita. Negativním faktorem pro růst jsou však půdy těžké a trvale zamokřené (Pražák 2016).

Getachew et al. (2016) uvádějí mezi nejvhodnější podmínky pro optimální růst čiroku hluboké, úrodné a dobře odvodněné půdy. Zároveň je zásadní, aby se zejména v počátečních fázích růstu zabránilo tvoření půdního škraloupu, který znesnadňuje vzcházení rostlin. K jeho tvoření dochází především u půd s malými půdními částicemi, většinou po silných deštích doprovázených silným větrem a vysokými teplotami. Optimální pH půdy je dle autorů 6,5 a více. Při nižším pH dochází ke snížení výnosu. Butchee et al. (2012) uvádí, že pH nižší

než 5,5 vede k nižší vzcházivosti a vyššímu odumírání rostlin během vegetačního období. Kořeny rostlin nejsou v důsledku kyselosti půdy schopny dosáhnout požadované délky a proniknout tak do neutrálnějšího prostředí s více živinami. Provedeným pokusem bylo zjištěno, že se výnos zrnového čiroku při pH půdy 5,42 snížil o 10 %; při pH půdy 4,54 až o 30 %.

El Naim et al. (2012) popisují vliv salinity, tedy akumulaci rozpuštěných solí v půdě, na klíčivost čiroku. Zasolená půda je problémem zejména v aridních oblastech, kde se zemědělská půda zavlažuje vodou s vysokou koncentrací rozpuštěných látek, které v půdě následně zůstávají. Jedná se primárně o ionty sodíku, vápníku, hořčíku, chloridů a síranů, z nichž nejškodlivějším pro růst rostlin je chlorid sodný (Tari et al. 2013). Na území ČR se takové půdy nachází velmi zřídka. Zkoumány byly tři různé kultivary čiroku v roztocích o různé salinitě (2 dS.m^{-1} ; 4 dS.m^{-1} ; 8 dS.m^{-1} a 16 dS.m^{-1}), tyto vzorky byly porovnávány se vzorky s nulovou salinitou. Hodnocení klíčivosti probíhalo po dobu 14 dní v laboratorních podmínkách. Za vyklíčené bylo považováno semeno s délkou kořene minimálně 3 mm. Vliv salinity na klíčivost je vyobrazen v grafu č. 2.

Graf č. 2: Vliv salinity půdy na klíčivost čiroku (El Naim et al. 2012)



Semena klíčila nejlépe v prostředí bez zasolení, dále s nepatrným poklesem i v mírné salinitě 2 dS.m^{-1} . Od hodnot 4 dS.m^{-1} byl zaznamenán rapidní pokles klíčivosti. Zároveň mělo zasolení vliv i na hmotnost sušiny výhonků, kdy se zvyšující se salinitou klesala jejich hmotnost.

3.5 Agrotechnika

Čírok vyžaduje pro svůj počáteční růst vyšší teploty než kukuřice, ale díky pokročilému šlechtitelskému procesu nabývá jeho pěstování na významu i v marginálních oblastech, které jsou charakterizovány vyšší nadmořskou výškou (nad 400 m), vyšší svahovitostí a nižší úrodností půdy (Frydrych 2018). V průběhu let se podařilo vyšlechtit odrůdy, které se vyznačují mnohostranným využitím, dobrým výnosem a raností. Určité odrůdy jsou schopny dozrát na zrno v kukuřičných, řepařských, ale i obilnářských oblastech. Při pěstování na biomasu jsou teplotní nároky nižší (Hermuth 2021). Optimální suma teplot pro dozrání je minimálně 2500 °C, roční úhrn srážek by měl dosahovat hodnot alespoň 300–500 mm (Hermuth et al. 2012).

3.5.1 Řazení v osevním postupu

V osevním postupu je vhodné řadit čírok jako kukuřici, nejlépe na vyhnojené a odplevelené půdy. Čírok je možné pěstovat jako hlavní plodinu či jako mezplodinu. Vysévá se nejdříve na začátku května, kdy důležitým aspektem je především teplota půdy, která by měla v závislosti na pěstované odrůdě dosahovat 12–14 °C (Bogaň 2011). Hermuth et al. (2012) uvádí okopaniny, lusco-obilné směsky, luskoviny nebo obilniny, jako vhodné předplodiny pro čírok pěstovaný v hlavním období. Pro pozdní setí po žitu či ječmenu sklízeném na zelenou hmotu či GPS ozimých obilninách, jsou jakožto následné plodiny vhodné především hybridy súdánských trav (Theiß & Jäkel 2019).

Po číroku pěstovaném na píci či výrobu bioplynu, jsou následnými plodinami nejčastěji obilniny, v případě časného zpracování půdy mohou být i ozimé. Pokud je čírok pěstován k energetickým účelům (spalování biomasy) a je sklízen až v období zimy, lze následně pěstovat pouze jařiny (Hermuth et al. 2012). Pro lepší využití půdní vláhy je vhodné střídat čírok s C₃ plodinami s různou délkou a stavbou kořenového systému (Fatima et al. 2020). Jeangros & Courvoisier (2019) uvádí optimální rozmezí 3–4 roky mezi opětovným zařazením číroku do osevního postupu.

Pokud se čírok pěstuje jako mezplodina, je doporučeno jej vyset do konce srpna, z důvodu možnosti výskytu chladných teplot během září, které by znesnadňovaly klíčení. Číroky vyseté dříve během července však mohou mít výhodu z hlediska optimální sušiny pro přímou sklizeň (Hermuth 2020).

3.5.2 Předset'ová příprava půdy a ochrana před erozí

Předset'ová příprava půdy vyžaduje ve většině případů orbu a vláčení branami. Orbu je vhodné provádět na podzim po sklizni předplodiny či přímo před setím. Vláčení se provádí bezprostředně poté, aby nedocházelo k nadměrnému výparu vody z půdy. V místech, kde se nachází erozně ohrožené půdy, je dostačující mělké zpracování půdy. Studie zároveň prokázaly, že se čiroku daří i na půdách, které jsou obdělávány bezorebně, tzv. no-till technologií (Newman et al. 2013).

Kabelka et al. (2020) uvádí, že v oblastech, kde se čiroky pěstují na půdách náchylných k erozi, je žádoucí využívat půdoochranné technologie. Autoři porovnávali v podmínkách ČR vliv bezorebné a konvenční technologie zpracování půdy (meziřádková vzdálenost 0,375 m a 0,75 m; přirozeně vlhká půda a půda nasycená vodou) na erozi způsobenou vodou. Na půdách o svažitosti 12 % a 8 % byly ve třech obdobích simulovány dešťové srážky (60 mm.hod.^{-1}) a následně sledován úbytek půdních částic povrchovým odtokem a erozí. Ten byl nejvyšší u konvenčně obdělávané půdy a příliš se nelišil s kontrolní plochou, která byla kompletně bez vegetace. Nejnižší eroze byla zaznamenána u obou bezorebných variant. Na přirozeně vlhké půdě s meziřádkovou vzdáleností 0,75 m byla eroze snížena o 78 % v porovnání s kontrolní plochou a o 89 % u varianty s meziřádkovou vzdáleností 0,375 m. Na půdě nasycené vodou byla eroze nižší o 61 % u meziřádkové vzdálenosti 0,75 m a o 82 % u varianty s meziřádkovou vzdáleností 0,375 m. Povrchový odtok byl rovněž snížen u obou bezorebně obdělávaných ploch – na přirozeně vlhké půdě o 52 % (0,75 m) a 68 % (0,375 m); na půdě nasycené o 36 % (0,75 m) a 46 % (0,375 m).

Výhodu no-till technologie popisují i Schlegel et al. (2018). Ti řadí mezi benefity této metody efektivnější hospodaření s půdní vodou a vyšší výnosy biomasy v porovnání s konvenčním zpracováním půdy i redukovanou orbou. Zároveň však dodávají, že je nutné tuto metodu provádět nepřetržitě a dlouhodobě beze střídání jiných metod. Mezi nevýhody však patří téměř nulová mechanická regulace plevelů, které je nutné likvidovat chemicky, tedy herbicidy.

3.5.3 Setí

Zásadním faktorem při setí čiroku je správná teplota a vlhkost půdy a pole zbavená plevelů, a to buď mechanicky nebo pomocí neselektivního herbicidu (Smith & Scott 2010). Optimální termín setí je druhá dekáda května, tedy doba, kdy lze vyloučit pokles teploty pod bod mrazu (Hermuth et al. 2018). Zeise & Fritz (2011) uvádí jako vhodný termín druhou

polovinu května. Při setí čiroku jako následné plodiny je doporučeno zasetí nejpozději v průběhu června, a to pouze velmi raných odrůd, které jsou schopny během vegetačního období dosáhnout požadované fenologické fáze pro sklizeň. Liang et al. (2021) a Saini et al. (2018) se shodují, že pozdní termín setí způsobuje především ztráty na výnosu zrna. To je způsobeno primárně poklesem teploty a doby slunečního záření během dne. Pokud se čirok vysévá v meziporostním období, nejzašší doporučený termín je dle Hermutha (2020) červenec až srpen.

Založení porostu je možné provádět pomocí secího stroje standardně či technikou pro přesné setí, která je pro širokořádkové plodiny vhodnější. Optimální hloubka výsevu činí 2–4 cm. Při příliš mělkém vysetí v hloubce menší než 2 cm hrozí vyschnutí klíčících semen ještě před vzejitím. Velikost výsevu a rozteč řádků závisí na odrůdě pěstovaného čiroku. Je však nutné brát v potaz výhody užších roztečí, tedy potenciální větší výnos zelené hmoty, rychlejší zapojení porostu a s tím spjatou účinnější ochranu před plevely a vysycháním půdy, menší míru poléhání rostlin a v neposlední řadě efektivnější ochranu půdy před erozí (Theiß & Jäkel 2019). Pražák (2016) na druhou stranu uvádí, že příliš hustý porost obsahuje větší podíl stonků, tedy i vyšší obsah vlákniny a následně dochází ke zhoršené stravitelnosti organické hmoty, zároveň se snižuje i výnosnost zrna. V pokusu prováděném Sniderem et al. (2012) vyšel nejlépe porost čiroku s meziřádkovou vzdáleností 19 cm a výsevkem 116 000 semen na 1 hektar. Takový porost poskytoval nejvyšší výnos z plochy a zároveň vykazoval dobré morfologické vlastnosti z hlediska optimální tloušťky stonků, které nepoléhaly. Vyšší výsevky (204 000 a 291 000 semen na 1 hektar) nevykazovaly vyšší výnosnost a zároveň se negativně projevíly z hlediska poléhání rostlin, jelikož průměr stonků byl značně nižší. Jako výhodu hustšího porostu zmiňují Besançon et al. (2017) vyšší konkurenční schopnost porostu vůči plevelům.

Tabulka č. 3 zahrnuje formy čiroků pěstované na siláž včetně orientačních hodnot výsevků (SEED SERVICE 2020).

Tabulka č. 3: Formy čiroku a jejich doporučené výsevky v závislosti na rozteči řádků (SEED SERVICE 2020)

Druh čiroku	Řádky (cm)	Výsevek (kg.ha ⁻¹)
Čirok zrnový	25–45	9–13
Čirok zrnový silážní	40–75	6–15
Čirok x súdánská tráva	10–75	15–30

3.5.4 Výživa a hnojení

Náročnost na výživu je u čiroku velmi vysoká. Hnojit lze minerálními i organickými hnojivy, a tato potřeba se odvíjí od obsahu živin v půdě. Dodané množství následně ovlivňuje výnos sušiny z jednotky plochy. V zásadě jsou čiroky tolerantní k mírnému přehnojení, avšak například nadbytek dusíku prodlužuje vegetační fázi. V počátečních fázích růstu je příjem minerálních živin pomalý; z tohoto důvodu je třeba používat hnojiva s pomalým, avšak konstantním uvolňováním látek. Potřeba výživy se zvyšuje ve fázi růstu 3–4 listů, kdy se rostlina začíná intenzivně vyvíjet a růst. Nejvyšší nároky na živiny mají čiroky v podmínkách ČR v období července a srpna, poté potřeba klesá. Do fáze metání je nejvyšší spotřeba dusíku a draslíku. Dusík zároveň zvyšuje výnos biomasy a v ní obsažené množství bílkovin. Draslík je důležitým prvkem z hlediska vyššího obsahu sušiny a cukrů, dále podporuje efektivnější hospodaření s vodou a chladuvzdornost. Fosfor čiroky přijímají v menší míře; avšak až do fáze kvetení, kdy je jeho příjem nejvyšší, je tento prvek nepostradatelný. V pozdějších fázích růstu je potřebný i vápník (Hermuth et al. 2018). Konkrétní hodnoty doporučeného množství dodávaných prvků jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tabulka č. 4: Hnojení čiroku – doporučené dávky jednotlivých živin (Hermuth et al. 2018)

Minerální prvek	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg
Množství (kg.ha ⁻¹)	140–160	60–80	120–150	30–50	15–30

Množství aplikovaného dusíku dle Newmana et al. (2013) závisí na kvalitě půdy a produkčním cíli a je třeba brát v úvahu zbytkový dusík v půdě. Na každou tunu zelené hmoty je spotřebováno cca 4 kg N a ročně by mělo být dodáno cca 50–70 kg N na 1 ha. Pokud se čirok pěstuje po vojtěšce či luštěninách, je doporučeno dávku snížit o 35–45 kg na 1 ha.

Mahama et al. (2014) zkoumali vliv hnojení dusíkem na biomasu čiroku. Dusík byl rostlinám dodáván v dávkách 45 kg.ha⁻¹ a 90 kg.ha⁻¹ a tyto hnojené varianty byly porovnávány s rostlinami pěstovanými na půdě, kam se dusík nedodával. Z třech uvedených hodnot měla nejvýznamnější vliv na růst biomasy a zrna dávka 90 kg.ha⁻¹, která v průběhu let zvýšila oproti kontrolní variantě výnos biomasy až o 48 %.

Belouchrani et al. (2020) prováděli pokus, který měl za cíl vyhodnotit vliv hnojení fosforem na toleranci čiroku k salinitě půdy. Ta může negativně ovlivnit příjem a asimilaci živin, což následně vede k nižším výnosům. Provedený výzkum prokázal, že hnojení fosforem

v optimální dávce podporuje toleranci k salinitě, která se významně projevila zlepšením příjmu dusíku, prodloužením stébel a zároveň vyššími výnosy sušiny.

Funkce draslíku je dle Newmana et al. (2013) zásadní z hlediska odolnosti vůči chorobám a škůdcům, dále zvyšuje pevnost stébla a minimalizuje poléhání. Na výnosové parametry však nemá podle Adamse et al. (2015) aplikace draslíku znatelný vliv.

Bermejo et al. (2010) porovnávali vliv organického hnojení na produkci biomasy s vlivem minerálního dusíkatého hnojiva. Vzorky rostlin čiroku byly hnojeny následovnými typy hnojiv – pevný a tekutý digestát, kejda, chlévský hnůj a ledek amonný s vápencem. U každé varianty byla rovnoměrně aplikována dávka hnojiva 120 kg.ha⁻¹ N. Následně byly tyto rostliny srovnávány s kontrolním nehnojeným vzorkem. V týdenních intervalech byla měřena výška porostu a index listové plochy; nakonec byl stanovován výnos sušiny, který je vyobrazen v tabulce č. 5.

Tabulka č. 5: Výnos sušiny hnojeného čiroku z 1 ha (Bermejo et al. 2010)

Typ hnojiva	Nehnojená kontrola	Minerální dusíkaté	Tekutý digestát	Tuhý digestát	Kejda	Chlévský hnůj
Výnos (t.ha ⁻¹)	11,29	16,23	12,45	13,12	14,48	11,93

Z výsledků vyplývá, že největší vliv na výnos měl ledek amonný s vápencem, který zvýšil výnos sušiny oproti nehnojené variantě bezmála o 4 t z 1 ha. Z organických hnojiv měla nejvýznamnější vliv na výnos kejda, zde je však nutné brát v potaz významný rozdíl ve výnosu u varianty hnojené dusíkatým hnojivem a kejdou; dále tuhý digestát, tekutý digestát a jako nejméně účinné hnojivo vyšel chlévský hnůj, který oproti nehnojené variantě neprokázal znatelně vyšší výnos.

Intenzita a rozložení dávek hnojení dusíkem pak závisí na využití čiroku. Pokud je čirok pěstován na siláž, aplikuje se 30 % dávky před setím či během setí, zbylá část se aplikuje zhruba 4. až 6. týden, kdy rostlina dosáhne 45–60 cm. U čiroku súdánského, který je určen pro pastevní využití se polovina dávky aplikuje před setím, druhá polovina pak po prvním pastevním cyklu. Fosfor a draslík se aplikuje nejčastěji před setím či během setí (Newman et al. 2013).

3.5.5 Regulace plevelů, chorob a škůdců

3.5.5.1 Plevel

Čirok je kvůli pomalému počátečnímu růstu velmi slabým konkurentem vůči plevelům, které plodině v raných růstových fázích omezují přístup ke světlu, odebírají živiny a vlhkost (Theiß & Jäkel 2019; Thompson et al. 2019). Na rozdíl od jiných hlavních plodin, jako je kukuřice nebo sója, není u čiroku zatím pěstitelům k dispozici technologie, která by usnadňovala regulaci plevelů během celého vegetačního období (Pandian et al. 2022).

Smith & Scott (2010) uvádí, že konkurenceschopnost vůči plevelům a náchylnost čiroku k herbicidům bývá zároveň značně ovlivňována působením některých abiotických stresorů, kdy negativní dopad mají především zamokřené a chladné půdy. Z tohoto důvodu je nutné plevely regulovat minimálně 3–4 týdny po vzejití, než se vytvoří souvisle zapojený porost. Při nedostatečné ochraně dochází ke snížení rychlosti růstu a kvality biomasy, vysokým výnosovým ztrátám a zvyšují se tak výrobní náklady. Celková výše výnosových ztrát pak závisí na odolnosti jednotlivých kultivarů čiroku, vzdálenosti řádků, druzích plevelů, délce jejich působení v porostu a ekologických podmínkách stanoviště (Peerzada et al. 2017).

V počátečních fázích růstu čiroku je možné plevely v porostu odstraňovat mechanicky, a to nejčastěji vláčením lehkými branami, při kterém dochází k trvalému poškození plevelů. Vlácení zároveň napomáhá k prokypření povrchové vrstvy ornice a narušení půdního škraloupu. Tato operace se provádí v době, kdy porost dobře zakořenil a má výšku přibližně 10–12 cm. V této fázi jsou rostliny natolik pružné, aby nedocházelo k jejich trvalému poškození (Hermuth et al. 2012).

Dille et al. (2020) odhadují výnosové ztráty u herbicidně neošetřeného zrnového čiroku až 47 %. Samotné chemické ošetřování však bývá značně problematické, a to především kvůli malému množství registrovaných herbicidů vhodných do porostu čiroku, různorodému spektru plevelů a rozdílnému způsobu jejich likvidace. Proto je při výskytu plevelných druhů v porostu klíčová jejich přesná identifikace a následný správný zásah. Postemergentní herbicidy likvidují spolehlivě většinu dvouděložných plevelů, avšak jednoděložné pouze částečně a obtížněji. Smith & Scott (2010) uvádí až 20% snížení výnosu při napadení porostu trávovitými plevely v prvních dvou týdnech po vzejití čiroku. Jako nejúčinnější metodu regulace trávovitých a ostatních jednoděložných plevelů zmiňují autoři aplikaci preemergentních přípravků, které se aplikují před vzejitím porostu. Ke stejným závěrům dospěli i Thompson et al. (2019) a zároveň uvádí správné střídání plodin v adekvátních intervalech jako ideální kombinaci opatření pro zamezení výskytu jednoděložných plevelů. Pandian et al. (2022) zmiňují jinou potenciální

alternativu, jak zabránit výnosovým ztrátám, a to šlechtěním a pěstováním herbicidně rezistentních odrůd, které by snášely postemergentní zásahy proti jednoděložným plevelům. Tyto vyšlechtěné odrůdy by měly být rezistentní vůči inhibitorům acetolaktát syntázy (ALS), acetyl-CoA-karboxylázy (ACC) a 4-hydroxyfenylpyruvát dioxygenázy (HPPD) – tj. enzymy, které se, jak uvádí Jursík et al. (2010), podílejí na tvorbě některých aminokyselin, proteinů, lipidů, mastných kyselin a jiných složek rostlinné buňky, při jejichž inhibici pak dochází k zastavení dělení buněk, tedy k zastavení růstu rostliny.

Dle ÚKZÚZ (2022a) je v současné době v ČR proti plevelům v čiroku povoleno pouze 6 účinných látek. Registrováno je pak jen 5 druhů herbicidů s různými obchodními názvy. Při preemergentní aplikaci je nutné přípravek použít nejpozději do 3 dnů po zasetí. Postemergentní ošetření lze realizovat ve fázi 2–6 (resp. 3–5) rozvinutých listů čiroku, tj. dle Mezinárodní stupnice růstových a vývojových fází rostlin BBCH 12–16 (resp. BBCH 13–15), jak je patrné z tabulky č. 6.

Tabulka č. 6: Přehled registrovaných herbicidních přípravků v ČR (ÚKZÚZ 2022a)

Obchodní název	Účinné látky	Spektrum účinnosti	Termín aplikace (BBCH)
Arrat	Dikamba Tritosulfuron	Dvouděložné	Postemergentní (12–16)
Bandur	Aklonifen	Dvouděložné jednoleté	Preemergentní
Banvel 480 S Dikamba 480 SL RC-Dicamba 480 SL	Dikamba	Dvouděložné	Postemergentní (13–15)
Frontier Forte	Dimethenamid-P	Jednoděložné jednoleté Dvouděložné jednoleté	Preemergentní Postemergentní (12–16)
Gardoprim Plus Gold 500 SC BEC Rodlod GP-GOLD 500 Tolar Plus	S-metolachlor Terbuthylazin	Jednoděložné jednoleté Dvouděložné jednoleté	Preemergentní

Mezi nejčastěji vyskytující se plevely se řadí ježatka kuří noha (*Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv.), violka rolní (*Viola arvensis* Murray), kakost maličký (*Geranium pusillum* Burm. f.), merlík bílý (*Chenopodium album* L.), opletka obecná (*Fallopia convolvulus* (L.) Á. Löve), truskavec ptačí (*Polygonum aviculare* L.), kokoška pastuší tobolka (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Med.) a heřmánkovec nevonný (*Tripleurospermum inodorum* (L.) Sch. Bip.) (Kaczmarek 2017). Značně komplikovaným invazním plevem, který se v posledních letech objevuje už i na území České republiky, je čirok halabský (*Sorghum halepense* (L.) Pers.). Kvůli genetické podobnosti čiroku halabského s druhy kulturními zatím neexistuje selektivní herbicid, který by zajistil regulaci tohoto plevelu v porostu. Jeho rozsáhlému šíření v podmínkách ČR však zabraňují nízké teploty v zimním období, které tomuto teplomilnému druhu nevyhovují (Smith & Scott 2010; Winkler & Chovancová 2019).

Kvůli vybraným ekonomickým, ekologickým a agronomickým aspektům je třeba hledat i jiná řešení způsobu ochrany. Malé spektrum dostupných a registrovaných herbicidů, jejich vysoké ceny, potenciální vznik herbicidní rezistence a v neposlední řadě zvyšující se nároky na ochranu životního prostředí nutí k minimalizaci používání chemického ošetřování (Gholami et al. 2013). Možným řešením je využívání integrované regulace plevelů. Jedná se především o výběr vhodných, konkurenceschopnějších kultivarů plodin, které rychleji vzchází, odnožují a vytváří hustý a zapojený porost, který je schopen zachycovat světlo a znemožňuje tak jeho pronikání k plevelům (Peerzada et al. 2017). Do zdejších klimatických podmínek je vhodná například odrůda čiroku zrnového Ruzrok. Hermuth & Kosová (2017) řadí mezi přednosti této odrůdy především ranost, vysokou rychlost růstu a vysokou produkci biomasy ve zdejších klimatických podmínkách.

Dalším zásadním faktorem je volba optimálního výsevu a vzdálenost řádků. Užší rozteč řádků minimalizuje výskyt plevelů, avšak v nepříhodných podmínkách snižuje schopnost čiroku využívat dostupnou půdní vláhu a dochází ke snížení výnosu (Bean 2019). Besançon et al. (2017) prováděli v letech 2012–2014 experiment, který prokázal, že vyšší výsevek čiroku, konkrétně 297 000 rostlin na 1 hektar, značně snížil výskyt plevelů v porovnání s porostem s velikostí výsevu 99 000 rostlin na 1 hektar.

Alelopatie u čiroku je taktéž ekonomicky a ekologicky perspektivní metodou, jak potlačovat nežádoucí plevely v porostu (Głąb et al. 2017). Weston et al. (2013) zmiňují schopnost některých odrůd a hybridů čiroku produkovat látky, které inhibují růst některých, převážně dvouděložných, plevelů. Jednou z nejdůležitějších složek kořenových exsudátů čiroku je alelochemická hydrofobní látka sorgoleon. Tato látka se dokáže silně sorbovat do organické hmoty a inhibovat tak růst jiných rostlin. Jako herbicid působí především

preemergentně a jeho účinky omezily nejvíce růst lilku černého (*Solanum nigrum* L.), laskavce ohnutého (*Amaranthus retroflexus* L.), ambrosie peřenolisté (*Ambrosia artemisiifolia* L.); dále působí inhibičně na rosičku krvavou (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.), mračňák Theophrastův (*Abutilon theophrasti* Medik.) či bér zelený (*Setaria viridis* (L.) P.B.) (Hussain et al. 2021). Razzaq et al. (2012) popsali taktéž postemergentní herbicidní působení sorgoleonu. Ten snižuje aktivitu H^+ -ATPázy v kořenech vzešlých rostlin a ovlivňuje tak příjem iontů z půdního roztoku. V některých případech způsobí u rostlin hnědé zbarvení a následně nekrózu.

Söchting & Zwerger (2012) rovněž zkoumali, zda je plevel v porostu čiroku schopen přispívat k vyšší produkci biomasy, která by se potenciálně mohla využívat jako substrát do bioplynových stanic, či zda produkci pouze snižuje. Provedený tříletý výzkum však prokázal, že na herbicidně neošetřovaných plochách docházelo ke značným úbytkům hmoty kulturních plodin a plevelné druhy nebyly schopny kompenzovat ztráty čiroku. Je nutné však podotknout, že výnosové ztráty byly výrazně nižší v období s vyšším úhrnem srážek, neboť si kulturní a plevelné druhy nekonkurovaly v přístupu k půdní vláze.

3.5.5.2 Choroby

Výskyt chorob čiroku v Evropě není častý a případné napadení plodin nemá významný vliv na výnos. S rozvojem pěstování však není v budoucnu vyloučen možný výskyt a rozvoj nových patogenů (Theiß & Jäkel 2019). Kuthan (2012) uvádí, že osivo, které pochází z teplejších oblastí, může být potenciálním rizikem v přenosu chorob do zdejších oblastí.

Dle ÚKZÚZ (2019) byly v současné době u čiroku pozorovány především následující choroby.

Virová zakrslá mozaikovitost čiroku (*Maize dwarf mosaic virus*), která napadá všechny druhy a hybridy čiroku, je přenášena mšicí a projevuje se především změnou barvy listů, tvorbou mozaikovitě struktury, omezeně pak zakrslostí, sterilitou či předčasným odumíráním rostliny.

Bakteriální choroby, způsobené především rody *Pseudomonas* a *Xanthomonas*, se projevují skvrnitostí listů. Při silném napadení dochází k jejich odumírání. Pozorována byla bakteriální čárkovitost čiroku (*Xanthomonas campestris* pv. *holcicola*), bakteriální pruhovitost čiroku (*Pseudomonas andropogonis*) a bakteriální okrouhlá skvrnitost čiroku (*Pseudomonas syringae* pv. *syringae*).

K chorobám houbového původu řadíme antraknózovou listovou spálu čiroku (*Colletotrichum graminicola*, teleomorph *Glomerella graminicola*), která napadá listy a stébla.

U listů se vytváří nepravidelné skvrny s výrazně červeným okrajem. Na stéblech se tvoří protáhlé skvrny a dřev se zbarvuje do červena. Při silném napadení patogenem dochází k defoliaci listů, lámání stébel či nouzovému dozrávání rostlin.

Krytá snětivost čiroku (*Sporisorium sorghi*) byla pozorována zejména na súdánské trávě v průběhu dozrávání. Obilky čiroku jsou přeměněny na šedé hálky, uvnitř kterých se nachází tmavé teliospory.

Prašná snětivost čiroku (*Sphacelotheca reiliana*, *S. cruenta*) je viditelná zejména na konci metání. Lata čiroku je přeměněna v množství černých teliospor. Některé odrůdy čiroku se při napadení větví a zakršávají.

Rzivost čiroku (*Puccinia purpurea*) se projevuje vznikem rezavých kupek uredospor na spodní straně listu, vzácně pak i na stéblech. Na konci vegetačního období se mohou objevovat i tmavší kupky teliospor.

Obecná listová spála čiroku (*Exserohilum turcicum*, teleomorpha *Setosphaeria turcica*), vyskytující se především v teplejších oblastech, vytváří na listových čepelích protáhlé nažloutlé skvrny s načernalým středem. V případě silného napadení dochází k třepení listů.

Chemická ochrana proti patogenům houbových chorob spočívá v moření osiva. Používají se kombinace účinných látek metalaxyl, triticonazol, nebo azoxystrobin, fludioxonil, mefenoxam, případně captan a thiram. Fungicidní ošetřování během vegetační doby se však neprovádí (Kuthan 2012).

3.5.5.3 Škůdci

Dle ÚKZÚZ (2019) řadíme mezi škůdce živočišného původu zejména hmyz a hmyzí larvy. Mšice (*Rhopalosiphum padi*) a kyjatky (*Sitobion avenae*, *Metopolophium dirhodum*) napadají během celé vegetace nadzemní části rostlin a sáním způsobují deformace listů a lat. Vrcholové rostliny jsou ohrožovány larvami muchnic (*Bibio*), tiplic (*Tipula*), chroustů, chroustků (*Melolontha*, *Rhizotrogus*, *Amphimallon*) a drátovci (*Agriotes lineatus*, *Agriotes obscurus*), kteří narušují kořeny rostliny a zapříčiňují tak její vadnutí a odumírání. Larvy květilky všežravé (*Delia platura*) se zavrtávají do klíčících obilí a vrcholové rostliny tak hubí.

Zavíječ kukuřičný (*Ostrinia nubilalis*) působí problémy taktéž u čiroku. Housenky způsobují okus listů a později se zavrtávají do stonků, které se mohou lámat. V porovnání s porosty kukuřice však bázlivec u čiroku škodí minimálně, napadá pouze jednotlivé rostliny a způsobené škody nejsou tolik rozsáhlé (Bereš 2012).

Hmyz napadá rostliny ve všech růstových fázích a způsobuje tak při pěstování ekonomické ztráty. Zásadní je proto dodržování určitých integrovaných opatření, aby docházelo k regulaci výskytu škůdců a minimalizaci používání insekticidů. Mezi jednotlivé postupy integrované ochrany řadíme výběr vhodných odrůd, střídání plodin v osevních postupech, výběr vhodného termínu setí a likvidaci rostlinných zbytků, které by mohly sloužit škůdcům jako hostitelé (Okosun et al. 2021). V České republice jsou registrovány insekticidy s účinnou látkou pirimikarb, působící pouze na mšice. Přípravky se aplikují postřikem maximálně dvakrát za vegetační období (ÚKZÚZ 2022a).

Kromě hmyzu škodí v porostech taktéž černá zvěř, avšak v mnohem menší míře, než tomu bývá u kukuřice. Čírok není zvěří tolik vyhledáván zejména kvůli nízké potravní atraktivnosti. V případě okusu listů mladých rostlin jsou silážní čiroky schopné rychle regenerovat, tato schopnost se však postupem času snižuje. Největší škody jsou způsobeny rytím a rozdupáním, jelikož porost poskytuje v pozdním létě po sklizni ostatních plodin bezpečný úkryt. V těchto případech bývají nejvíce zasažena pole sousedící s lesními komplexy (Štrobach & Mikulka 2021).

3.5.6 Výnos, sklizeň a posklizňová úprava biomasy

Výnos biomasy silážních čiroků se dle pěstovaných odrůd a daných ekologických podmínek stanoviště a agronomických vstupů pohybuje v rozpětí od 44 do 85 t.ha⁻¹, z toho výnos sušiny představuje přibližně 10–15 t.ha⁻¹ (Matyka & Księżak 2012).

Nadzemní biomasa čiroku je sklizena sklízecími řezačkami, stejně jako kukuřice. V závislosti na ranosti odrůdy se porosty silážního čiroku sklízí ve fázi voskové zralosti při obsahu sušiny minimálně 28 %; ve zdejších klimatických podmínkách je těchto hodnot dosaženo zhruba od poloviny září do poloviny října. Při pozdější sklizni, kdy rostlina čiroku obsahuje více než 35 % sušiny, hrozí její poléhání (Schaffasz et al. 2019). Vhodné je současně sledovat i cukernatost čiroku, která pomůže určit počátek sklizně. Tato metoda se provádí stanovením refrakce ze šťávy stonku rostliny, a to nejlépe ze šestého internodia, který poskytuje objektivní vzorek (Tóth 2021).

Při optimálním obsahu sušiny se čiroky sklízí jednofázově a silážují se napřímo. Některé odrůdy, a především hybridy súdánských trav, se však mohou sklízet i dvoufázově, a to nejlépe na začátku metání, jelikož rychle dřevnatí (Doležal et al. 2022). Hermuth (2020) uvádí, že typicky se dvoufázově sklízí čiroky, které jsou pěstovány v meziporostním období, a které byly vysety v pozdních letních termínech. Biomasa takových čiroků nedosahuje požadovaného

obsahu sušiny a není tedy možné sklízet napřímo. Posečená hmota se nechá zavadnout na požadovaný obsah sušiny 28–35 %, následně se nahrnuje do řádku, sbírá a pomocí rezačky se zpracovává na požadovanou délku řezanky (Hermuth et al. 2012). Délka řezanky pro krmné účely se odvíjí od fáze zralosti a hraje roli při konzervaci. Obecně platí, že čím je obsah sušiny vyšší, tím kratší by měla řezanka být. Kratší řezanka zároveň umožňuje naskladnění většího množství hmoty a její snadnější konzervaci. Optimální délka je 1–4 cm. Délka řezanky kratší než 1 cm může u skotu negativně ovlivnit příjem krmiva, rychlejší trávení a neúplné využití veškerých obsažených živin a rovněž se zvyšují energetické vstupy během sklizně. Naopak při využití čirokové biomasy jakožto substrátu do bioplynových stanic by řezanka měla dosahovat optimálně délky 5–7 mm (Grant & Stock 1994; Lyons et al. 2019).

Cílem silážování je konzervace sklizené biomasy a maximální zachování její nutriční hodnoty tak, aby i v období, kdy není možné zkrmovat čerstvou pící, byla pro hospodářská zvířata zajištěna vyvážená krmná dávka. Konzervace udusané hmoty probíhá v anaerobních podmínkách silážních žlabů či vaků. Na rostlinách se běžně vyskytují bakterie, které se později podílí na celkovém procesu konzervace. Za nepřítomnosti kyslíku přežijí ve hmotě pouze enterobakterie, klostridie a bakterie mléčného kvašení (BMK), které přeměňují za absence kyslíku sacharidy na organické kyseliny a snižují tak pH hmoty až na výslednou hodnotu 3,8–4,2. Žádoucí je však pouze působení BMK, které produkují kyselinu mléčnou (Novotný 2020).

Čiroky obecně obsahují dostatečně vysoký obsah cukru (80–130 g l kg sušiny) a sušiny a poskytují proto ve většině případů vhodné podmínky pro působení BMK. Pro zajištění úspěšného fermentačního procesu lze však do siláže přidat inokulanty, tj. určité kultury BMK, které urychlí snížení pH v počátcích kvašení a inhibují tak výskyt a růst patogenních mikroorganismů. Přidané inokulanty do čirokových siláží by taktéž měly zajistit vyšší aerobní stabilitu během otevření silážních žlabů či vaků a zároveň zabránit nežádoucí sekundární fermentaci, tak, aby nedocházelo k rychlému a nadměrnému znehodnocení krmiva (Alhaag et al. 2019; Theiß & Jäkel 2019).

4 Závěr

V současné době je nutné hledat možnosti, jak se efektivně adaptovat na podmínky měnícího se klimatu, které je doprovázeno zvyšováním průměrných teplot a nerovnoměrným rozložením srážek během roku. Jednou z možností, jak se této změně přizpůsobit v zemědělství, je diverzifikace struktur plodin a osevních postupů. Čirok je možné považovat za jednu z perspektivních plodin, a to zejména díky dobré toleranci a adaptabilitě.

Čiroky mají obecně nízké ekologické požadavky. Velmi dobře snášejí teplé a suché oblasti, nejlépe rostou na lehkých, mírně kyselých půdách, s optimálním pH okolo 6,5. Celkově však nemají zvláštní nároky na půdní druh a jsou schopny růst i na půdách mírně zasolených. Z hlediska agrotechniky nevyžadují speciální zpracování půdy a prospívají i na půdách bezorebně obhospodařovaných, jejichž výhody spočívají zejména ve zmírnění půdní eroze a nízkých agrotechnických vstupech.

Nevyhovujícími ekologickými podmínkami jsou teploty nízké, či naopak dlouhotrvající nadměrně vysoké, dále dlouhé periody sucha či naopak trvale zamokřené půdy. Takové extrémy ovlivňují růst, vitalitu rostlin, délku vegetační fáze, reprodukční schopnosti, výnosy zrna, biomasy a množství obsažené sušiny. U rostlin, na které působilo dlouhodobé sucho, byl sledován nižší výnos až o více než 55 %, naopak trvale zamokřené půdy redukovaly vzrůst rostlin až o 35 %. Zvýšená salinita půd rovněž není vyhovující, takové půdy se však na území ČR vyskytují velmi zřídka a nepředstavují tak riziko.

Nejzásadnější období je zakládání porostu, jehož průběh determinuje vlastnosti rostlin během vegetačních i reprodukčních fází. Porosty se zakládají při optimální teplotě půdy, která by v hloubce 5 cm měla činit minimálně 10 °C, ideálně však 12–14 °C. Ve zdejších podmínkách je těchto hodnot dosaženo nejdříve v květnu. To však může představovat nevýhody jednak z důvodu dlouho nepokryté orné půdy, která rychleji podléhá erozi, a jednak z hlediska již nedostačující půdní vláhly ze zimního období, která je pro klíčení a vzcházení důležitá.

V raných růstových fázích představují výrazné riziko plevely. Obecně je nutné plochu udržovat bez plevelů minimálně do okamžiku, dokud se nevytvoří zapojený porost; v tuto dobu rostou čiroky velmi pomalu a jsou jejich slabým konkurentem. Herbicidní ochrana je náročná, a to zejména kvůli malému spektru registrovaných přípravků. Plevely je efektivní likvidovat preemergentně neselektivními chemickými herbicidy. Postemergentní likvidace je obtížná zejména vůči trávovitým plevelům, které mohou snížit výnosy až o 20 %. V počátečních fázích růstu lze plevely likvidovat i mechanicky, a to vláčením lehkými branami.

Pro dosažení optimálních výnosů je třeba do půdy dodávat živiny. Lze hnojit minerálními i organickými hnojivy a přesné dávky by se měly odvíjet od půdní zásoby živin a očekávaného výnosu biomasy. Výrazně vyšší výnosy byly pozorovány u čiroků hnojených minerálními hnojivy v porovnání s čiroky hnojenými organicky. Choroby se běžně v Evropě nevyskytují, a pokud ano, nemají přílišný vliv na výnos. Mezi škůdce se řadí zejména hmyz a hmyzí larvy; čirok v porovnání s kukuřicí však pro mnohé z nich nepředstavuje atraktivní plodinu.

Hlavním účelem pěstování v našich podmínkách je výroba siláže. Hmota se při optimální sušině, tj. alespoň 28 %, sklízí jednofázově, při nižším obsahu sušiny, převážně pokud se jedná o čiroky pěstované v meziporostním období, probíhá sklizeň dvoufázově. Kvalita píce pak závisí na jednotlivých odrůdách. Ve většině případů ale čirokové siláže nedosahují stejně dobré kvality, které dosahují siláže kukuřičné, a tak primární využití nachází v bioplynových stanicích k energetickým účelům; v menší míře mohou sloužit i jako komponent do krmné dávky pro hospodářská zvířata.

Čiroky zejména kvůli pozdnímu výsevu dozrávají na zrno obtížně, a tak se v podmínkách ČR běžně k těmto účelům nepěstují. Mezi výjimky však můžeme zařadit odrůdu Ruzrok, vyšlechtěnou do zdejších mírných podmínek, která nachází uplatnění i v potravinářství. Čirok je možné pěstovat i jako mezipločinu. To značně podporuje mimoprodukční funkce, především pak snížení eroze, zlepšení půdní struktury, efektivní využití slunečního záření k tvorbě biomasy a v neposlední řadě pak využití dhurrinu obsaženém zejména ve špičkách listů mladých rostlin, který má po zapravení do půdy fyto-sanitární účinky.

Čirok je tedy plodinou s mnohostranným využitím, kterou je možné pěstovat na území České republiky zejména v kukuřičné, řepařské, ale i obilnářské výrobní oblasti, avšak zejména tam, kde kukuřice nedosahuje požadovaných výnosů z hlediska půdních a vláhových podmínek.

5 Literatura

Adams CB, Erickson JE, Singh MP. 2015. Investigation and synthesis of sweet sorghum crop responses to nitrogen and potassium fertilization. *Field Crops Research* **178**: 1-7.

Alhaag H, Yuan X, Mala A, Bai J, Shao T. 2019. Fermentation characteristics of *Lactobacillus plantarum* and *Pediococcus* species isolated from sweet sorghum silage and their application as silage inoculants. *Applied Sciences* **9**: 1247.

Anderson R, Bayer PE, Edwards D. 2020. Climate change and the need for agricultural adaptation. *Current Opinion in Plant Biology* **56**: 197-202.

Appiah-Nkansah NB, Li J, Rooney W, Wang D. 2019. A review of sweet sorghum as a viable renewable bioenergy crop and its techno-economic analysis. *Renewable Energy* **143**: 1121–1132.

Assefa Y, Staggenborg SA, Prasad VP. 2010. Grain sorghum water requirement and responses to drought stress: A review. *Crop Management* **9**: 1-11.

Astigarraga L, Bianco A, Mello R, Montedónico D. 2014. Comparison of brown midrib sorghum with conventional sorghum forage for grazing dairy cows. *American Journal of Plant Sciences* **5**: 955-962.

Bean B. 2019. Optimizing row spacing for sorghum. Sorghum Checkoff, Lubbock. Available from <https://www.sorghumcheckoff.com/agronomy-insights/optimizing-row-spacing-for-sorghum/> (accessed July 2022).

Belouchrani AS, Latati M, Ounane SM, Drouiche N, Lounici H. 2020. Study of the interaction salinity: Phosphorus fertilization on sorghum. *Journal of Plant Growth Regulation* **39**: 1205–1210.

Berenji J, Dahlberg J, Sikora V, Latković D. 2011. Origin, history, morphology, production, improvement, and utilization of broomcorn [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] in Serbia. *Economic Botany* **65**: 190–208.

Bereś PK. 2012. Damage caused by *Ostrinia nubilalis* Hbn. to fodder maize (*Zea mays* L.), sweet maize (*Zea mays* var. *saccharata* [Sturtev.] LH Bailey) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) near Rzeszów (south-eastern Poland) in 2008–2010. *Acta Scientiarum Polonorum, Agricultura* **11**: 3–16.

Bermejo G, Theiß M, Ellmer F. 2010. Einfluss der Düngung mit Gärprodukten aus der Biogaserzeugung auf Wachstum, Entwicklung und Ertrag von *Sorghum bicolor* var. *sudanense*. Pages 75–76 in Märlander B, Christen O, Tiedemann S, Kenter C, Düker A, editors. 53. Jahrestagung vom 28. bis 30. September 2010 in Hohenheim. Koexistenz Grüne Gentechnik. Verlag Liddy Halm, Göttingen.

Besançon T, Heiniger R, Weisz R, Everman W. 2017. Weed response to agronomic practices and herbicide strategies in grain sorghum. *Agronomy Journal* **109**: 1642-1650.

- Bogaň J. 2011. Čírok – alternativa do bioplynových stanic. *Úroda* **59**:13.
- Brant V, Balík J, Fuksa P, Hakl J, Holec J, Kasal P, Neckář K, Pivec J, Prokinová E. 2008. Meziplodiny. Kurent s.r.o., České Budějovice.
- Butchee K, Arnall DB, Sutradhar A, Godsey C, Zhang H, Penn C. 2012. Determining critical soil pH for grain sorghum production. *International Journal of Agronomy* **6**: 1–6.
- Casto AL, Murphy KM, Gehan MA. 2021. Coping with cold: Sorghum cold stress from germination to maturity. *Crop Science* **61**: 3894–3907.
- Cowan MF, Blomstedt CK, Norton SL, Henry RJ, Møller BL, Gleadow R. 2020. Crop wild relatives as a genetic resource for generating low-cyanide, drought-tolerant Sorghum. *Environmental and Experimental Botany* **169**: 103884.
- Cox S, Nabukalu P, Paterson AH, Kong W, Nakasagga S. 2018. Development of perennial grain sorghum. *Sustainability* **10**: 172.
- Dille JA, Stahlman PW, Thompson CR, Bean BW, Soltani N, Sikkema PH. 2020. Potential yield loss in grain sorghum (*Sorghum bicolor*) with weed interference in the United States. *Weed Technology* **34**: 624–629.
- Djanaguiraman M, Prasad PV, Murugan M, Perumal R, Reddy UK. 2014. Physiological differences among sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes under high temperature stress. *Environmental and Experimental Botany* **100**: 43–54.
- Doležal P, Filipčíková J, Dvořáček J, Haylíček Z, Szwedziak K, Mrkvicová E, Niedbała G, Trínáctý J. 2022. Najde číroková siláž v ČR větší uplatnění v krmných dávkách dojníc? *Náš Chov* **99**: 18–21.
- Dover K, Wang KH, McSorley R. 2004. Nematode management using sorghum and its relatives. Department of Entomology and Nematology, University of Florida IFAS Extension Bulletin ENY **716**: 1–5.
- eKonomics. 2022. Sorghum development and growth staging. Nutrien. Available from <https://nutrien-ekonomics.com/news/sorghum-development-and-growth-staging/> (accessed March 2023).
- El Naim AM, Mohammed KE, Ibrahim EA, Suleiman NN. 2012. Impact of salinity on seed germination and early seedling growth of three sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) cultivars. *Science and Technology* **2**: 16–20.
- Ettle T, Eder J, Landsmann M, Obermaier A, Bayerische Landesamt für Landwirtschaft. 2011. Ertragsleistung von Hirsesorten zur Fütterung-Verdaulichkeit von Hirsesilagen. Pages 220–223 in Mair C, Kraft M, Wetscherek W, Schedle K, editors. Tagungsband, 10. BOKU-Symposium Tierernährung, Wien.
- Fasching C. 2014. Futterwert von Sorghum-Hirse und deren Verwendung in der Milchproduktion. *Viehwirtschaftliche Fachtagung* **41**: 129.

Fatima Z, Ahmed M, Hussain M, Abbas G, Ul-Allah S, Ahmad S, Hussain S. 2020. The fingerprints of climate warming on cereal crops phenology and adaptation options. *Scientific Reports* **10**: 1–21.

Fonseca L, Mezzalana JC, Bremm C, Gonda HL, Carvalho PDF. 2012. Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in *Sorghum bicolor*. *Livestock Science* **145**: 205–211.

Fritz M. 2018. Sorghum für die Verwendung in Biogasanlagen. Biogas Forum Bayern, Freising.

Frydrych J. 2018. Čiroky v marginální oblasti Beskyd a výzkum energetických plodin pro zvýšení ochrany půdy s využitím trav a jetelovin. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/ciroky-v-marginalni-oblasti-beskyd-a-vyzkum-energetickych-plodin-pro-zvyseni-ochrany-pudy-s-vyuzitim> (accessed March 2023).

Frydrych J, Hermuth J, Lošák M, Bradáčová L. 2020. Trávy a vybrané C₄ plodiny jako meziplodiny a jejich využití v současných podmínkách měnícího se klimatu. Oseva vývoj a výzkum s.r.o., Zubří.

Fuksa P, Hrevušová Z, Šantrůček J, Brant V. 2015. Vliv střídavých teplot na parametry klíčivosti semen píce široků. Pages 77–82 in Pazderů K, editor. Osivo a sadba. Sborník příspěvků z XII. odborného a vědeckého semináře, ČZU v Praze, Praha.

Garrity DP, Sullivan CY, Watts DG. 1984. Changes in grain sorghum stomatal and photosynthetic response to moisture stress across growth stages. *Crop science* **24**: 441–446.

Getachew G, Putnam DH, De Ben CM, De Peters EJ. 2016. Potential of sorghum as an alternative to corn forage. *American Journal of Plant Sciences* **7**: 1106–1121.

Gholami S, Minbashi M, Zand E, Noormohammadi G. 2013. Non chemical management of weeds effects on forage sorghum production. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* **1**: 614–23.

Głąb L, Sowiński J, Bough R, Dayan FE. 2017. Allelopathic potential of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in weed control: a comprehensive review. *Advances in Agronomy* **145**: 43–95.

Grant R, Stock R. 1994. Harvesting corn and sorghum for silage. Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska, Lincoln.

Gruss SM, Johnson KD, Ghaste M, Widhalm JR, Johnson SK, Holman JD, Obour A, Aiken RM, Tuinstra MR. 2023. Dhurrin stability and hydrogen cyanide release in dried sorghum samples. *Field Crops Research* **291**: 108764.

Hariprasanna K, Patil JV. 2015. Sorghum: origin, classification, biology and improvement. *Sorghum molecular breeding* 3–20.

Hermuth J. 2019. Potenciál první české odrůdy zrnového čiroku Ruzrok. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/potencial-prvni-ceske-odrudy-zrnoveho-ciroku-ruzrok> (accessed March 2023).

Hermuth J. 2020. Multifunkční uplatnění nově vyšlechtěných odrůd čiroku zrnového a bérů italského. Pages 23–37 in Ovesná J, editor. Využití adaptabilních druhů a odrůd při klimatické změně v zemědělství. Agrární komora České republiky, Praha.

Hermuth J. 2021. Čirok a bérů z ruzyňského šlechtění. Zemědělec **14**: 22–23.

Hermuth J, Janovská D, Hlásná Čepková P, Ust'ak S, Stražil Z, Dvořáková Z. 2016. Sorghum and Foxtail Millet – Promising crops for the changing climate in Central Europe. In: Konvalina P, editor. Alternative crops and cropping systems, Section 1 Alternative Crops. In Tech, Rijeka Croatia.

Hermuth J, Janovská D, Stražil Z, Ust'ak S, Hýsek J. 2012. Čirok obecný *Sorghum bicolor* (L.) Moench, Možnosti využití v podmínkách České republiky. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

Hermuth J, Kosová K. 2017. Characterization of the first Czech sorghum variety Ruzrok tested in the Czech Republic. Czech Journal of Genetics and Plant Breeding **53**: 37–44.

Hermuth J, Kosová K, Podrábský M, Trávníček P, Frydrych J, Hladík J, Král L. 2018. Pěstební technologie zrnového čiroku odrůdy Ruzrok. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.

Hussain MI, Danish S, Sánchez-Moreiras AM, Vicente Ó, Jabran K, Chaudhry UK, Branca F, Reigosa MJ. 2021. Unraveling sorghum allelopathy in agriculture: concepts and implications. Plants **10**: 1795.

Jafar MS, Nourmohammadi G, Maleki A. 2004. Effect of water deficit on seedling, plantlets and compatible solutes of forage Sorghum cv. Speedfeed. Proceedings of the 4th International Crop Science Congress Brisbane, Australia.

Jeangros B, Courvoisier N. 2019. Optimale Fruchtfolgen im Feldbau. Agrarforschung Schweiz **10**: 7–8.

Jursík M, Soukup J, Holec J, Andr J. 2010. Herbicide mode of actions and symptoms of plant injury by herbicides: inhibitors of acetolactate synthase (ALS inhibitors). Listy Cukrovarnické a Řepářské **126**: 376.

Kabelka D, Kincl D, Vopravil J. 2020. Influence of no-till technology on reducing soil degradation during sorghum cultivation. Scientia Agriculturae Bohemica **51**: 31–39

Kaczmarek S. 2017. A study on *Sorghum bicolor* (L.) Moench response to split application of herbicides. *Journal of Plant Protection Research* **57**: 152–157.

Kanbar A, Flubacher N, Hermuth J, Kosová K, Horn T, Nick P. 2021. Mining sorghum biodiversity–potential of dual-purpose hybrids for bio-economy. *Diversity* **13**:192.

Kim IH, Cao H, Hancock JD, Park JS, Li DF. 2000. Effects of processing and genetics on the nutritional value of sorghum in chicks and pigs-review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* **13**: 1337–1344.

Kratochvílová Z, Habart J, Sladký V, Jelínek F, Rosenberg T, Stupavský V, Dvořáček T. 2009. Průvodce výrobou a využitím bioplynu, CZ Biom – České sdružení pro biomasu, Praha.

Kriegshauser TD, Tuinstra MR, Hancock JD. 2006. Variation in nutritional value of sorghum hybrids with contrasting seed weight characteristics and comparisons with maize in broiler chicks. *Crop Science* **46**: 695–699.

Kuthan A. 2012. Choroby čiroku. *Agromanual.cz*, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/choroby/choroby-ciroku> (accessed August 2022).

Liang X, Hoogenboom G, Voulgaraki S, Boote KJ, Vellidis G. 2021. Deriving genetic coefficients from variety trials to determine sorghum hybrid performance using the CSM–CERES–Sorghum model. *Agronomy Journal* **113**: 2591–2606.

Lyons SE, Ketterings QM, Godwin GS, Cherney DJ, Cherney JH, Van Amburgh ME, Meisinger JJ, Kilcer TF. 2019. Optimal harvest timing for brown midrib forage sorghum yield, nutritive value, and ration performance. *Journal of Dairy Science* **102**: 7134–7149.

Mahama GY, Prasad PV, Mengel DB, Tesso TT. 2014. Influence of nitrogen fertilizer on growth and yield of grain sorghum hybrids and inbred lines. *Agronomy Journal* **106**: 1623–1630.

Mahmood A, Ullah H, Ijaz M, Javaid MM, Shahzad AN, Honermeier B. 2013. Evaluation of sorghum hybrids for biomass and biogas production. *Australian Journal of Crop Science* **7**: 1456–1462.

Mansfeld R. 1952. Zur Systematik und Nomenklatur der Hirsen. *Der Züchter* **22**: 304–315.

Matyka M, Książak J. 2012. Plonowanie wybranych gatunków roślin, wykorzystywanych do produkcji biogazu. *Problemy Inżynierii Rolniczej* **1**: 69–75.

Maulana F, Tesso TT. 2013. Cold temperature episode at seedling and flowering stages reduces growth and yield components in sorghum. *Crop Science* **53**: 564–574.

Michal P. 2005. Bioplyn – energie ze zemědělství. Informační přehledy ÚZPI, Praha.

Miron J, Zuckerman E, Adin G, Solomon R, Shoshani E, Nikbachat M, Yosef E, Zenou A, Weinberg ZG, Chen Y, Halachmi I, Ben-Ghedalia D. 2007. Comparison of two forage sorghum varieties with corn and the effect of feeding their silages on eating behavior and lactation performance of dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* **139**: 23–39.

MZe. 2017. Koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky. Ministerstvo zemědělství České republiky, Praha. Available from https://eagri.cz/public/web/file/545860/Koncepce_ochrany_pred_nasledky_sucha_pro_uzemi_CR.pdf (accessed July 2022).

Newman Y, Erickson J, Vermerris W, Wright D. 2013. Forage Sorghum (*Sorghum bicolor*): Overview and Management. University of Florida, Gainesville.

Novotný D. 2020. Nová generace účinnějších silážních inokulantů. Mikrop.cz, Čebín. Available from <https://www.mikrop.cz/magazin/nova-generace-silaznich-inokulantu~m1000> (accessed September 2022).

Okosun OO, Allen KC, Glover JP, Reddy GV. 2021. Biology, ecology, and management of key sorghum insect pests. *Journal of Integrated Pest Management* **12**: 4.

Pandian BA, Sexton-Bowser S, Prasad PV, Jugulam M. 2022. Current status and prospects of herbicide-resistant grain sorghum (*Sorghum bicolor*). *Pest Management Science* **78**: 409–415.

Patanè C, Cavallaro V, Avola G, D'Agosta G. 2006. Seed respiration of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] during germination as affected by temperature and osmoconditioning. *Seed Science Research* **16**: 251–260.

Patanè C, Cosentino SL, Cavallaro V, Saita A. 2021. Screening for cold tolerance during germination within sweet and fiber sorghums [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] for energy biomass. *Agronomy* **11**: 620.

Peerzada AM, Ali HH, Chauhan BS. 2017. Weed management in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] using crop competition: A review. *Crop Protection* **95**: 74–80.

Petríková V. 2018. Polní energetické plodiny. TZB-info, Praha. Available from <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/17440-polni-energeticke-plodiny> (accessed January 2023).

Podrábský M. 2017. Pěstování a využití čiroků. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/pestovani-a-vyuziti-ciroku> (accessed October 2022).

Popescu A. 2020. Sorghum production in the EU-28 in the period 2008–2019 and its forecast for 2020–2014 horizon. Scientific Papers: Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development **20**: 3.

Pražak R. 2016. Prospects for Sorghum cultivation in Poland. Acta Agrobotanica **69**: 2.

Promkhambut A, Younger A, Polthanee A, Akkasaeng C. 2010. Morphological and physiological responses of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to waterlogging. Asian Journal of Plant Sciences **9**: 183.

Razzaq A, Cheema ZA, Jabran K, Hussain M, Farooq M, Zafar M. 2012. Reduced herbicide doses used together with allelopathic sorghum and sunflower water extracts for weed control in wheat. Journal of Plant Protection Research **52**: 2.

Rooney W. 2007. Breeding sorghum. Pages 509–518 In Acquah G, editor. Principles of Plant Genetics and Breeding. Blackwell publishing USA.

Saini LH, Trivedi SJ, Davda BK, Saini AK. 2018. Effect of sowing dates on growth, yield and economics of sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) genotypes. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry **7**: 535–538.

Samarappuli D, Berti MT. 2018. Intercropping forage sorghum with maize is a promising alternative to maize silage for biogas production. Journal of Cleaner Production **194**: 515–524.

Sattler SE, Funnell-Harris DL, Pedersen JF. 2010. Brown midrib mutations and their importance to the utilization of maize, sorghum, and pearl millet lignocellulosic tissues. Plant Science **178**: 229–238.

SEED SERVICE. 2020. Čirok a bér. Seedservice.cz, Vysoké Mýto. Available from <https://seedservice.cz/cirok-a-ber> (Accessed October 2022).

Selle PH, Cadogan DJ, Li X, Bryden WL. 2010. Implications of sorghum in broiler chicken nutrition. Animal Feed Science and Technology **156**: 57–74.

Schaffasz A, Windpassinger S, Friedt W, Snowdon R, Wittkop B. 2019. Sorghum as a novel crop for Central Europe: Using a broad diversity set to dissect temperate-adaptation. Agronomy **9**: 535.

Schlegel AJ, Assefa Y, Haag LA, Thompson, CR, Stone LR. 2018. Long-term tillage on yield and water use of grain sorghum and winter wheat. Agronomy Journal **110**: 269–280.

Singh V, van Oosterom EJ, Jordan DR, Messina CD, Cooper M, Hammer GL. 2010. Morphological and architectural development of root systems in sorghum and maize. Plant and Soil **333**: 287–299.

Smith K, Scott B. 2010. Weed control in grain sorghum. Pages 47–49 in Espinoza L, Kelley J, editors. Grain Sorghum Production Handbook. Cooperative Extension Service, University of Arkansas, Little Rock, USA.

Snider JL, Raper RL, Schwab EB. 2012. The effect of row spacing and seeding rate on biomass production and plant stand characteristics of non-irrigated photoperiod-sensitive sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Industrial Crops and Products **37**: 527–535.

Söchting HP, Zwerger P. 2012. Unkrautkonkurrenz und Biomassebildung von Mais und Sorghum bei unterschiedlicher Herbizidintensität. Julius-Kühn-Archiv **434**: 329.

Steinhöfel O. 2021. Mit Hirse in Dürrejahre Rinder füttern. Agrarheute.com, München. Available from <https://www.agrarheute.com/tier/rind/hirse-duerrejahre-rinder-fuettern-583181> (accessed November 2022).

Svoboda P, Haberle J. 2021. Čirok, bér a jejich další možnosti využití. Úroda **69**: 58–60.

Škeříková M, Brant V, Kroulík M, Pivec J, Zábranský P, Hofbauer M, Hakl J. 2018. Water demands and biomass production of sorghum and maize plants in areas with insufficient precipitation in Central Europe. Plant, Soil and Environment **64**: 367–378.

Štrobach J, Mikulka J. 2021. Černá zvěř jako škůdce v porostech kukuřice a čiroku. Úroda **69**: 41–44.

Švehla P, Tlustoš P, Balík J. 2007. Odpadní vody. Česká zemědělská univerzita. Katedra agrochemie a výživy rostlin, Praha.

Tao Y, George-Jaeggli B, Bouteillé-Pallas M, Tai S, Cruickshank A, Jordan D, Mace E. 2020. Genetic diversity of C₄ photosynthesis pathway genes in *Sorghum bicolor* (L.). Genes **11**: 806.

Tari I, Laskay G, Takács Z, Poór P. 2013. Response of sorghum to abiotic stresses: A review. Journal of Agronomy and Crop Science **199**: 264–274.

Theiß M, Jäkel K. 2019. Sorghum: Anbaualternative für Trockenstandorte. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden.

Thompson CR, Dille JA, Peterson DE. 2019. Weed competition and management in sorghum. Sorghum: A State of the Art and Future Perspectives, **58**: 347–360.

Tóth Š. 2021. Pestovanie cirokov. Úroda **69**: 50–52.

USDA. 2023. Sorghum 2021 World Production. Washington D. C., U.S. Department of Agriculture. Available from https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0459200&sel_year=2021&rankby=Production (accessed February 2023).

ÚKZÚZ. 2019. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Metodika zkoušek užitné hodnoty – širok. ÚKZÚZ, Brno. Available from https://eagri.cz/public/web/file/112403/Priloha_07_ZUH7_2019_Cirok_revize_2021.pdf (accessed August 2022).

ÚKZÚZ. 2022a. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Přípravky na OR. ÚKZÚZ, Brno. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/#rlp|prip|uredni (accessed July 2022).

ÚKZÚZ. 2022b. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Věštník. ÚKZÚZ, Brno. Available from https://eagri.cz/public/web/file/705251/_32022.pdf (accessed March 2023).

Vala Z. 2021. Silážování široku v praktických podmínkách. Mikrop.cz, Čebín. Available from <https://www.mikrop.cz/magazin/cirok~m1052> (accessed August 2022).

Vanderlip RL. 1993. How a sorghum plant develops. Kansas Agricultural Experiment Station, Manhattan.

Venclová B. 2019. Široky a bery jako strniskové meziplodiny. Profi Press, Praha. Available from <https://uroda.cz/ciroky-a-bery-jako-strniskove-meziplodiny/> (accessed October 2022).

Venkateswaran K, Elangovan M, Sivaraj N. 2019. Origin, domestication and diffusion of *Sorghum bicolor*. Pages 15–30 in Aruna C, Visarada KBRS, Bhat BV, Vilas Tonapi A, editors. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Breeding Sorghum for Diverse End Uses, Woodhead Publishing, Sawston.

Way DA, Katul GG, Manzoni S, Vico G. 2014. Increasing water use efficiency along the C₃ to C₄ evolutionary pathway: a stomatal optimization perspective. *Journal of Experimental Botany* **65**: 3683–3693.

Weston LA, Alsaadawi IS, Baerson SR. 2013. Sorghum allelopathy – from ecosystem to molecule. *Journal of Chemical Ecology* **39**: 142–153.

Wiersema JH, Dahlberg J. 2007. The nomenclature of *Sorghum bicolor* (L.) Moench (*Gramineae*). *Taxon* **56**: 941–946.

Windpassinger S, Friedt W, Frauen M, Snowdon R, Wittkop B. 2015. Designing adapted sorghum silage types with an enhanced energy density for biogas generation in temperate Europe. *Biomass and Bioenergy* **81**: 496–504.

Winkler J, Chovancová S. 2019. Vytrvalé plevely v porostech kukuřice. Agromanual.cz, České Budějovice. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/vytrvale-plevele-v-porostech-kukurice> (accessed July 2022).

Zeise K, Fritz M. 2011. Sorghum als Biogassubstrat. Biogas Forum Bayern. Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern, Freising.