

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Agroekonomické perspektivy rozšíření produkce sóji za
její současnou hranici**

Bakalářská práce

**Marek Farkavec
Rostlinná produkce**

doc. Dr. Mgr. Vera Potopová

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Agroekonomické perspektivy rozšíření produkce sóji za její současnou hranici" jsem vypracoval 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 autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 26.04.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí práce doc. Dr. Mgr. Vere Potopové za její vstřícnost a pomoc při zpracování této práce. Chtěl bych také poděkovat své rodině za neocenitelnou podporu a ohleduplnost, ale také děkuji všem ostatním, především blízkým přátelům, kteří mi byli pomocí a oporou při zpracovávání této práce.

Agroekonomické perspektivy rozšíření produkce sóji za její současnou hranici

Souhrn

Sója luštinatá je plodina, která je v evropských oblastech stále minoritně zastoupena. Avšak z hlediska jejího významu primárně pro krmivářské využití, má v evropských zemích vysoký potenciál k jejímu pěstování. Sójová bílkovina, která má vysokou nutriční hodnotu, je taktéž vysoce žádaná v potravinářském průmyslu. Nicméně většina takto zpracované sóji se do Evropy dováží, zejména ze zemí amerického kontinentu. Jednou z možností, jak pěstitelsky introdukovat tuto vysoce ceněnou plodinu do evropských oblastí, je použití odrůd, které jsou odolné nepříznivým podmínkám. Zmíněná nepřízeň podmínek totiž stále nejvíce komplikuje myšlenku introdukce sóji do těchto oblastí. Tyto odrůdy jsou většinou šlechtěny na toleranci k délce dne a snášejí taktéž nižší teploty v období vegetace, které jsou pro tyto oblasti příznačné. V této práci byly v souvislosti s tímto zmíněny příklady odrůd, jež byly v evropských oblastech úspěšně pěstovány a poskytovaly zde příznivé výnosy a vyhovující kvalitu produkce.

Sója je taktéž velice náročná na dostupnost vody, což zejména v letních měsících, kdy rostliny sóji kvetou, představuje v některých suchých evropských oblastech značné riziko. Zmírnění těchto rizik je výrazně podpořeno dodržováním správné úrovně agrotechniky, spolu s možnými způsoby alternativního zakládání porostů sóji. Taktéž byla zmíněna příznivá role závlahových systémů, které mají jednoznačné opodstatnění v suchých ročnících, jež jsou čím dál častěji pozorovatelné s nástupem zmiňované klimatické změny. Ta jednak svým průběhem způsobuje častější výskyt vln veder a suchých period v jižních oblastech Evropy, avšak jejím vlivem je dále spatřován i možný posun pěstebních ploch sóji do severněji situovaných oblastí Evropy, u kterých je již v současnosti možné pozorovat jistou narůstající tendenci.

Z hlediska udržení výnosové stability a případného navýšení výnosů sóji v těchto oblastech byl taktéž uveden příznivý vliv inokulace osiva sóji spolu s úpravou meziřádkové vzdálenosti a termínem výsevu. V kontextu ekonomiky bylo též zjištěno, že ekonomický potenciál sóji, stejně tak jako její konkurenceschopnost vůči ostatním plodinám, je výrazně závislý na budoucích odbytových možnostech sójové produkce v těchto oblastech a je dále výrazně podporován uplatněním této plodiny v rámci ekologických systémů hospodaření.

Klíčová slova: Klimatické faktory, sucho, horká vlna, mrazy, rentabilita, výnosový potenciál, agrotechnika, Sója luštinatá, stabilita výnosu

Agroeconomic prospects for expanding soybean production beyond its current limit

Summary

Soya is still a minority crop in European areas. However, in terms of its importance primarily for feed use, it has a high potential for cultivation in European countries. The soy protein which has high nutritional value, is also highly demanded in the food industry. Nevertheless, most of the soya processed this way is imported into Europe, primarily from countries of the American continent. One of the ways to introduce this highly valued crop into European areas is by using varieties that are tolerant to adverse conditions. These unfavorable conditions still make the idea of introducing soya into these areas the most difficult. Mentioned suitable varieties are mostly bred to tolerate the day length as well as the lower temperatures during the growing season that characterise these areas. In this connection, examples of varieties that have been successfully grown in European areas and given favorable yields and satisfactory quality of production are also mentioned in this paper.

Soya is also very dependent on the availability of water, especially in the summer months when soy plants are flowering. This may pose a considerable risk in some dry European areas. Mitigating these risks is greatly supported by maintaining the right level of agrotechnics together with possible alternative ways of establishing soya crops. A favourable role was also mentioned in terms of irrigation systems. They have a clear justification for the dry seasons that are increasingly being observed with the onset of the mentioned climate change. This causes either heatwaves or dry seasons that occur more frequently in the southern regions of Europe. Apart from that, it also causes a possible relocation of soya cultivation to the more north-oriented European areas, which are already showing an increasing trend.

In terms of maintaining yield stability and possible increase of soybean yield in these areas, the beneficial effect of inoculating soybean seed together with adjustments of row spacing and sowing date, has also been mentioned. In the economic context, it was also found that the economic potential of soya, as well as its competitiveness with other crops, is strongly dependent on the future market opportunities for soy production in these areas, and it is furthermore strongly supported by the implementation of this crop in organic farming systems.

Keywords: Climatic factors, drought, heat wave, frosts, profitability, yield potential, agrotechnics, Soya, yield stability

Obsah

1 Úvod	9
2 Cíl práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Charakteristika Sóji luštinaté	12
3.1.1 Složení semen sóji	12
3.1.1.1 Morfologická stavba semene	12
3.1.1.2 Chemické složení semen	13
3.1.1.3 Problematika antinutričních látek v semeni sóji	13
3.1.1.4 Ovlivnění kvality semen u sóji	14
3.2 Historické souvislosti pěstování sóji	14
3.2.1 Masivní rozmach sóji na západní polokouli	14
3.3 Význam pěstování	16
3.3.1 Využití sójového oleje	16
3.3.2 Potravinářské využití sójové bílkoviny	16
3.3.3 Krmivářské využití sóji	17
3.3.4 Meliorační účinek sóji v rámci osevních sledů	18
3.4 Faktory ovlivňující pěstování sóji	20
3.4.1 Abiotické faktory	20
3.4.1.1 Vliv světla	20
3.4.1.2 Teplota prostředí	21
3.4.1.3 Dostupnost vody	22
3.4.1.4 Půdní podmínky	23
3.4.2 Biotické faktory	23
3.4.2.1 Půdní organismy	24
3.4.2.2 Plevelné rostliny	25
3.4.2.3 Choroby	25
3.4.2.4 Škůdci	27
3.4.2.5 Zásah člověka	28
3.5 Základní agrotechnika při pěstování sóji	28
3.5.1 Zařazení sóji v osevních postupech	28
3.5.2 Zpracování půdy	29
3.5.3 Zakládání porostů	29
3.5.3.1 Setí porostů sóji	30
3.5.4 Výživa a hnojení	31
3.5.5 Ochrana porostů sóji	32
3.5.6 Sklizeň sóji	32

3.5.7	Sklizeň a využití sóji pro produkci píce	33
3.6	Produkční a výnosotvorné ukazatele u sóji.....	34
3.7	Možnosti zvýšení produkce u sóji v podmínkách evropského pěstování.....	35
3.7.1	Inokulace osiva	36
3.7.2	Termín setí.....	38
3.7.3	Meziřádková vzdálenost	40
3.7.4	Závlaha.....	41
3.8	Odrůdové možnosti sóji pro oblasti Evropy	42
3.8.1	Podmínky ovlivňující introdukci odrůd sóji do evropských oblastí	43
3.8.2	Klasifikační systémy odrůd sóji	44
3.8.3	Sledované parametry odrůd sóji	45
3.8.4	Perspektivní odrůdy do oblastí severní a střední Evropy	47
3.9	Introdukce sóji ve vztahu ke změně klimatu.....	49
3.9.1	Dopad klimatické změny na zemědělskou produkci	50
3.9.1.1	Vliv zvýšené koncentrace CO ₂	51
3.9.1.2	Vliv sucha.....	51
3.9.2	Predikce budoucích dopadů klimatické změny na zemědělskou produkci	51
3.9.3	Budoucí vývoj pěstebních oblastí sóji v Evropě ve vztahu ke změně klimatu	52
3.9.3.1	Budoucí vývoj pěstování sóji v oblastech východní a jižní Evropy.....	52
3.9.3.2	Introdukce sóji do oblastí střední a severní Evropy vlivem klimatické změny	54
3.10	Hledisko konkurence sóji s ostatními plodinami v Evropě.....	57
3.11	Ekonomické hledisko introdukce sóji do evropských podmínek	64
4	Závěr	67
5	Literatura	69

1 Úvod

Sója luštinatá (*Glycine max* (L.) Merr.) je jednou z nejcennějších plodin světa (Staniak et al. 2021) a zároveň je v současnosti druhou nejpěstovanější olejninou na světě (FAO 2023a). Obsah oleje v semeni se pohybuje průměrně okolo hodnoty 20 %. Sója je také vysoce ceněná pro vysoký obsah bílkovin v semeni, které mohou tvořit až 42 % suché hmoty semene (Bellaloui et al. 2015). Díky této vlastnosti je sója využívána jako hodnotné bílkovinné krmivo, zejména zkrmováním sójových šrotů, nebo je v lidské výživě čím dál více využívána jako komponent různých rostlinných náhražek namísto živočišných zdrojů bílkovin, se kterými má z hlediska aminokyselinového spektra velice podobné složení. Sójový olej je využíván jak v potravinářském, tak ve farmaceutickém nebo převážně v chemickém průmyslu, kde slouží jako surovina pro výrobu biopaliv (Staniak et al. 2021). Sója pokrývá celosvětově přibližně 29 procent produkce rostlinných olejů, a řadí se tak na druhé místo za palmou olejnou (SoyStats 2023). Sója jako rostlina z čeledi bobovitých je také vysoce ceněná pro svoji schopnost biologické fixace elementárního vzdušného dusíku, čímž dochází k obohacení půdy při jejím pěstování o minerální dusík, který je následně zdrojem jak pro samotné rostliny sóji, tak pro ostatní plodiny pěstované v rámci osevních sledů (Zimmer 2016; Staniak 2021).

Využití sóji jako krmiva se odráží primárně ve vysokém zastoupení bílkovinné složky v jejím semeni, nejen díky této skutečnosti patří sója mezi základní složky krmných směsí pro hospodářská zvířata. V tomto ohledu se sójové šrotů či jiné produkty ze sóji využívají v evropských chovech zejména ve výkrmu prasat a drůbeže, kde poskytují vysoce hodnotnou bílkovinou složku krmných směsí. Sójové šrotů činily v roce 2013 až 64% podíl složek krmných směsí s vysokým obsahem bílkovin, a jsou taktéž jedním z hlavních zdrojů esenciální aminokyseliny lysinu v krmných směsích v chovech prasat (de Visser et al. 2014). V rozporu s touto nezastupitelnou potřebou sóji jako vysoce hodnotného zdroje bílkovin v krmivářství evropské unie je fakt, že v roce 2023 činila soběstačnost EU v produkci sójových šrotů pouhá 3 % (Román 2023). Evropská unie je jedním z největších dovozců sóji, kde je tento dovoz primárně zajišťován skrze obchod se zeměmi amerického kontinentu (Nemecek et al. 2008; Štranc et al. 2013), které se podílely v roce 2022 z 80 % na celosvětové produkci sóji. Největší podíl na produkci sóji v tomto směru zaznamenala Brazílie (FAO 2023a). Do evropské unie se dováží jak samotné sójové boby, tak již zpracované produkty, primárně sójové šrotů a moučky (de Visser et al. 2014). Z dat Eurostatu (2024) vyplývá, že za hospodářský rok 2022/23 bylo takto do EU dovezeno přibližně 29 milionů tun sóji a sójových šrotů. Při současné spotřebě EU ve výši 41,6 milionu tun, se tento dovoz ze třetích zemí podílí přibližně 70 % na celkové spotřebě zemí EU (European commission 2024). Jednou z dalších otázek, která vyvstává při dovozu sóji ze třetích zemí, je potenciální problém spotřebitelů v rámci EU s podílem GM sóji v takto dovážené produkci (Nemecek 2008).

Nejen z důvodu této vysoké poptávky evropské unie po sójovém proteinu je nasnadě rozšiřovat pěstební areál sóji v Evropě se zaměřením na státy severní a střední Evropy, kde je tato plodina doposud minoritně zastoupena (Karges et al. 2022). Příkladem může být pěstební plocha sóji v Německu v roce 2020 se 33 tisíci hektary v porovnání s výměrou silážní kukuřice ve stejném roce s výměrou 2,7 milionu hektarů (Destatis 2023). Dle Guilpart et al. (2022) by plná soběstačnost Evropy v produkci sóji vyžadovala osetí 9-12 % plochy touto plodinou, což by také přineslo výrazný efekt v diverzifikaci evropských osevních postupů, ve kterých

v současnosti dominují obilniny spolu s Řepkou olejkou (Hufnagel et al. 2020). Jedním z hlavních problémů, který by mohl bránit v myšlence introdukce sóji do těchto států je fakt, že sója je rostlina velice náročná na teplotu a dostupnost srážek během její vegetace, zejména pak v období kvetení (Mandić et al. 2017; Gawęda et al. 2020). Dalším velice důležitým hlediskem je délka dne, která zapříčiňuje regulaci růstových fází u sóji (Santachiara et al. 2017). Státy severní a střední Evropy jsou typické dlouhými světelnými dny, krátkým obdobím vegetace a též nízkými teplotami, zejména pak v jarním období v podobě častých jarních mrazů (Lazauskas et al. 2012). Tyto klimatické podmínky však nejsou příliš odlišné od podmínek severněji situovaných oblastí, kde se sója již dlouhodoběji pěstuje. Jedná se například o jižnější části kanadských prérií (Karges et al. 2022). V posledních letech taktéž vystupuje do popředí stále více diskutovaný fakt klimatické změny spolu s jejími dopady na světovou produkci zemědělských plodin, který by mohl zásadním způsobem podpořit myšlenku introdukce sóji do chladnějších oblastí pěstování (Kühling et al. 2018). Jistou podporu také myšlenka introdukce spatřuje v respektování variability odrůd sóji, které jsou pro tyto podmínky stále více šlechtěny a existují tedy předpoklady pro jejich úspěšnou introdukci do severněji situovaných oblastí Evropy. Tyto vhodné odrůdy však také musí být podpořeny správnými pěstebními a agrotechnickými zásahy, které zásadním způsobem ovlivňují výsledný efekt z pěstování sóji v těchto oblastech. Z pohledu výsledného efektu, a to jak ekonomického, tak environmentálního, jsou také čím dál více spatřovány cesty k pěstování sóji v ekologických systémech hospodaření (Toleikiene et al. 2021; Karges et al. 2022).

2 Cíl práce

Tato bakalářská práce by se měla pokusit charakterizovat pěstební uplatnění Sójí luštinaté, a to jak z hlediska významu, tak z hlediska nároků na pěstování a pěstební technologie při produkčním využití této plodiny. Dále by měla nastínit možné důvody, rizika, příležitosti a alternativy při introdukci této plodiny do oblastí, ve kterých byla tato plodina doposud minoritně pěstována. Zejména pak by tyto skutečnosti měly být rozebrány z hlediska oblastí střední a severní Evropy, ve vztahu k variabilitě potenciálně vhodných odrůd, probíhající klimatické změně či ve vztahu k rozdílným agrotechnickým zásahům a opatřením. Měla by též zhodnotit případnou konkurenční pozici této plodiny vůči ostatním zemědělsky významným plodinám a zhodnotit též její uplatnění z hlediska ekonomiky pěstování ve vztahu k těmto potenciálně vhodným oblastem jejího pěstování.

3 Literární rešerše

3.1 Charakteristika Sóji luštinaté

Sója luštinatá (*Glycine max* (L.) Merr.) je díky svým typickým znakům luskoviny taktéž do této skupiny řazena (Houba et al. 2019; Pulkrábek & Capouchová 2003), avšak díky relativně vysokému obsahu rostlinného oleje ve svých semenech se z produkčního hlediska nezřídka kdy řadí taktéž mezi olejnaté plodiny (Hartman et al. 2011). Sója je jednoletá dvouděložná rostlina z čeledi Bobovitých (*Fabaceae*), která nachází široké uplatnění v mnoha oblastech průmyslu, potravinářství či krmivářství. Je typická křovitým, mělkým a relativně slabě větvicím se kořenem (Houba et al. 2019; Pulkrábek & Capouchová 2003), na němž se během vegetace sóji utváří symbióza s hlízkovými bakteriemi rodu *Bradyrhizobium japonicum*, jenž rostlinám sóji umožňuje poutání vzdušného dusíku a jeho částečné osvojování si skrze přeměnu na minerální, rostlinám přístupný, dusík v půdě (Zimmer et al. 2016). Lodyha sóji je přímá, keříčkovitá,



Obrázek 1: Rostlina Sóji luštinaté (Procházka et al. 2023)

rozvětvená, relativně hustě ochlupená včetně všech nadzemních částí, někdy popínavá, vysoká 30-50 cm (Skládanka 2006), dle Houby et al. (2019) i 60-90 cm, avšak nepoléhavá (Pulkrábek & Capouchová 2003). V příznivých podmínkách, např. podél toku Dunaje, jsou rostliny podstatně vyššího vzrůstu (Houba et al. 2019). Listy jsou trojčetné a lístky dále vejcovitého tvaru, taktéž ochlupené. Tuto stručnou charakteristiku též znázorňuje **Obrázek 1**. Květenství je tvořeno hroznem složeným z 15-20 květů motýlokvětého typu bílé, žluté až fialové barvy (Skládanka 2006). Rostliny kvetou obvykle 20 dnů (Houba et al. 2019). Plodem je lusk obsahující 2-4 semena, je delší, širší a zploštělý (Skládanka 2006). Lusk sestává ze dvou chlopní, jejichž negativním znakem je náchylnost k pukání. Sója se však jako jedna z mála plodin vyznačuje relativní odolností k tomuto negativnímu znaku (Pulkrábek & Capouchová 2003). Jednou z velice ceněných a sledovaných vlastností v rámci šlechtění u sóji je výška nasazení nejspodnějšího luku. Tato vlastnost totiž zásadním způsobem usnadňuje následnou sklizeň rostlin sóji (Houba et al. 2019).

3.1.1 Složení semen sóji

3.1.1.1 Morfologická stavba semene

Z hlediska morfologie se semeno sóji skládá ze dvou hlavních složek: semenných obalů a embrya. Stejně jako u semen některých dvouděložných rostlin není ani u sóji hlavním

zásobním orgánem v semeni endosperm, nýbrž samotné dělohy. Embryo se skládá ze tří hlavních soustav embryonálních orgánů: z plumuly neboli základu nadzemní části rostliny sóji se dvěma dobře vyvinutými primárními listy, které obklopují jeden trojlaločný list primordia, dále ze dvou velkých masitých děloh, které, jak již bylo zmíněno, fungují jako zásobní orgán pro makromolekulární zásobní látky v semenech sóji, a v neposlední řadě z hypokotylu se základem kořínku, radikuly, který spočívá v mělké prohlubni vytvořené dělohami (Sun & Yuan 2022).

3.1.1.2 Chemické složení semen

Kvalitu semen u sóji určuje zejména jejich chemické složení, které zahrnuje bílkoviny, olej, mastné kyseliny, cukry a minerální látky. Sójové semeno obsahuje v kilogramu sušiny přibližně 380 až 420 g bílkovin, 190 až 230 g oleje a z celkového množství oleje 120 až 130 g kyseliny palmitové, 30 až 40 g kyseliny olejové, 480 až 580 g kyseliny linolové a 50 až 80 g kyseliny linolenové. Semena obsahují také sacharidovou složku, jež je tvořena monosacharidy se zastoupením glukózy a fruktózy, dále disacharidem sacharózou a oligosacharidy rafinózou a stachyózou. Minerální složení sójového semene zahrnuje prvky jako fosfor, draslík, vápník, mangan, zinek, železo a bór, které jsou nezbytné pro lidskou výživu, a neméně taky pro výživu hospodářských zvířat. Z dlouhodobých laboratorních testů též vyplývá, že je žádoucí vyšší zastoupení kyseliny olejové a nižší obsah kyseliny linolové a linolenové, což přispívá k vyšší stabilitě oleje, nejen při následné tepelné úpravě. Z pohledu sacharidů je z hlediska chuti a vůně žádoucí vyšší obsah sacharózy, fruktózy a glukózy, na úkor rafinózy a stachyózy (Bellaloui et al. 2015).

3.1.1.3 Problematika antinutričních látek v semeni sóji

Navzdory všem nutričně důležitým látkám v semenech sóji, obsahuje sója také látky, které zásadním způsobem ovlivňují její uplatnitelnost v oblasti výživy, a to ať už lidské, či zvířecí. Tyto antinutriční látky svou povahou nejčastěji brání příjmu důležitých živin obsažených v semenech sóji nebo zhoršují jejich příjem z hlediska chutnosti a stravitelnosti. Proto nelze syrová sójová semena používat jako potravinu pro výživu člověka ani jako krmivo pro zvířata. Některé z těchto látek jsou ze sójových semen odstranitelné působením vysoké teploty po určitou dobu, která vede zejména u látek bílkovinné povahy k denaturaci jejich struktury (Vagadia et al. 2017). Studie provedené Vijaya Raghavanem et al. (1974) ukázaly přímou souvislost mezi zpracováním a využitelností bílkovin při použití sójového šrotu jako krmiva pro kuřata. Autoři uvádějí, že zpracovaný sójový šrot může ovlivnit příjem bílkovin a následně zlepšit hmotnost kuřat v průběhu výkrmu. Dále byly vysloveny předpoklady, že denaturace antinutričních faktorů je jednou z hlavních příčin těchto zvýšených přírůstků. Mezi tyto látky jsou řazeny především inhibitory lipoxygenáz, ureáz, trypsinu či lektiny a další látky obsažené v menším množství, jako jsou třísloviny, oligosacharidy, saponiny, alkaloidy, fenolické látky, kyselina fytová či isoflavony. Ze všech těchto látek přítomných v sóje mají největší význam inhibitory proteázy, trypsinu, které ovlivňují využití bílkovin a jejich trávení. Jsou běžně přítomny v různých plodinách, ořeších a zelenině (Vagadia et al. 2017). Sója je jednou z luštěnin, která obsahuje největší množství těchto inhibitorů proteáz, přibližně 2-6 % ze všech sójových bílkovin (Xiao et al. 2012). Z výše uvedeného je tedy zřejmé, že inaktivace

těchto látek v sójových semenech je zásadní pro následnou konzumaci nebo zkrmování sóji. Mezi takovéto ideální procesy inaktivace lze řadit ty, jenž inaktivují inhibitory trypsinu, škodlivé enzymy, mikroby a biologicky aktivní složky a zároveň zvyšují kvalitu sójových bílkovin tím, že zlepšují jejich strukturu, barvu, chuť, funkčnost a stravitelnost. Tyto procesy jsou v základní rovině dělitelné na procesy fyzikální a chemické, které zahrnují zejména zahřívání, úpravu pH, hydrolýzu či působení vysokého tlaku nebo mikrovlnného záření. Z množství všech těchto procesů je v současné době nejvíce využívaná metoda extruze, která nemění aminokyselinové složení sóji a zároveň snižuje aktivitu trypsinového inhibitoru v sójových produktech až s 95% účinností. Pomocí metod extruze se sójové boby přeměňují na vysoce kvalitní výrobky, aniž by se snížila celková kvalita bílkovin. Tyto metody probíhají při teplotě až 150 °C. V rámci metod extruze se uplatňuje jednak cesta suché extruze, která je založena na působení teplotních rázů vznikajících při tření sójového šrotu v rámci protlačování speciálním válcem, a jednak metoda mokré extruze, při které se do rozemletého vzorku sóji přidává 6-8 % vody (Vagadia et al. 2017).

3.1.1.4 Ovlivnění kvality semen u sóji

Složení semen sóji je převážně geneticky řízeno (Bellaloui et al. 2015) a jeho variabilita je též závislá na odrůdě (Staniak et al. 2021), nicméně je známo, že jej ovlivňují též biotické a abiotické faktory. Z hlediska této skutečnosti jsou prováděny mnohé laboratorní a polní pozorování, které sledují vliv odrůdové skupiny ranosti, doby setí, zeměpisné polohy pěstování a hustoty zakládání porostů sóji na složení semen sóji (Harue & Hirokadzu 1971 cited by Bellaloui et al. 2015; Chy & Sheldon 1979 cited by Bellaloui et al. 2015; Jarecki & Bobrecka-Jamro 2021). Pomocí hlubších znalostí těchto vlivů v kombinaci se správným výběrem vhodné odrůdy, by mohlo být možné účinně navyšovat kvalitu semen v oblastech pěstování, kde je složení semen sóji negativně ovlivňováno, nejen v důsledku krátkého období vegetace (Bellaloui et al. 2015; Staniak et al. 2021), které je typické pro státy severních částí Evropy (Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Lazauskas et al. 2012).

3.2 Historické souvislosti pěstování sóji

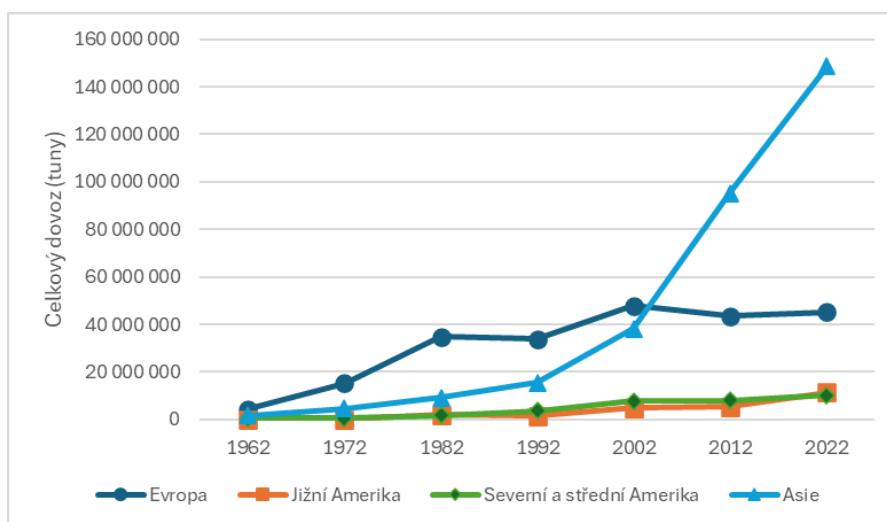
Jedny z prvních dochovaných zmínek o sóje hovoří o používání domestikovaných sójových bobů již 2500-2300 let př. n. l., ačkoli první historické důkazy přisuzují použití sóji jako potravinářské plodiny v severovýchodní Číně až v letech 1700-1100 př. n. l. Celé sójové boby se vařily nebo fermentovaly do podoby pasty a používaly se do různých pokrmů. V 16. století n. l. se sója používala v Barmě, Indii, Indonésii, Koreji, Japonsku, Malajsii, Nepálu, na Filipínách, v Thajsku či Vietnamu. První zmínka o sóji v Evropě se objevila v Linnéově díle Hortus Cliffortianus dokončeném v roce 1737. V roce 1739 se sója začala pěstovat pro okrasné účely ve Francii a v roce 1790 byla poprvé využívána v Anglii. V roce 1804 byla v Jugoslávii vysazena sója, která se používala jako doplněk krmiva pro zvířata (Hartman et al. 2011).

3.2.1 Masivní rozmach sóji na západní polokouli

První doklady o využití sóji na americkém kontinentě pocházejí z roku 1765 z dnešního státu Georgia. Sójové boby se pěstovaly a zpracovávaly na výrobky určené na vývoz, jako byl

margarín nebo ztužený sójový tuk, které si získaly oblibu v Evropě a USA. Na západní polokouli se sója nadále používala pro produkci rostlinného oleje, především k výrobě zpracovaných rostlinných výrobků pro potravinářské využití. Ačkoli mnozí badatelé tuto plodinu obhajovali jako řešení pro potřeby lidské výživy a testovali ji pro tento účel, přišel v roce 1917 objev v podobě zahřívání sójového šrotu, umožňující jeho širší použití jako krmiva pro hospodářská zvířata (Hartman et al. 2011). Sójové boby, jak již bylo uvedeno, totiž obsahují vedle množství zdraví prospěšných látek, také řadu antinutričních látek, které vykazují nežádoucí fyziologické účinky a mohou bránit příjmu některých živin (Vagadia et al. 2017). Působení těchto látek tak bylo možné díky tomuto objevu u sójových šrotů eliminovat, což vedlo k rozvoji průmyslového zpracování sóji v sektoru výživy a k dnešnímu dvojímu účelu využití, tedy k produkci sójové bílkoviny a oleje.

Během následujících let rozšířily Spojené státy americké svou produkci a v 70. letech 20. století zajišťovaly dvě třetiny světové potřeby sóji. Rozšíření této plodiny do Jižní Ameriky vedlo k čím dál více se rozvíjející prosperitě této plodiny na americkém kontinentě (Hartman et al. 2011) a zejména vhodné klimatické podmínky zapříčinily, že se Brazílie spolu s Argentinou staly první, resp. třetí nejvýznamnější zemí v produkci sóji na světě. Od roku 2000 je také zaznamenán masivní celosvětový růst produkce a produkčních ploch této plodiny, u které se v současné době odhaduje produkce na 349 milionů tun. V současnosti je Sója luštinatá druhou nejpěstovanější olejnou plodinou na světě hned po Palmě olejné (FAO 2023a), která si toto prvenství postupem času získala, nejen díky svému vysokému využití k výrobě biopaliv (OECD/FAO 2019). Navzdory přisuzované prvotní domestikaci sóji na asijském kontinentě, se tedy v současné době většina pěstebních ploch sóji soustředí v rámci západní polokoule. Tento paradox je dále možné prohloubit tím, že Čína se postupem času stala největším dovozcem sóji na světovém trhu (Hartman et al. 2011) a zároveň největším producentem sójového oleje na světě (FAO 2023b). Na druhé místo z hlediska importu sóji se dle dat FAO (2023c) řadí Evropa, která je tedy spolu s Čínou v konečném důsledku silně závislá na produkci sóji ze zemí amerického kontinentu (viz **Obrázek 2**), které si se svým 80% podílem na celosvětové produkci sóji, drží zřejmý většinový podíl právě na dovozu sóji vůči těmto dvěma velmocím (FAO 2023a).



Obrázek 2: Graf vývoje dovozu sóji a sójových šrotů za 60 let v rámci Evropy, jižní Ameriky, Asie a severní a střední Ameriky (FAO 2023c)

3.3 Význam pěstování

Jak již bylo uvedeno, sójová semena obsahují přibližně 18 % oleje a v průměru 38 % bílkovin v závislosti na odrůdě, technologii a oblasti pěstování. Většina světové produkce sóji je v současné době zpracována na olej nebo mleta a šrotována do podoby sójových šrotů a mouček. V této podobě je následně přibližně ze dvou procent konzumována lidmi ve formě potravin (Hartman et al. 2011). Dle Houby et al. (2019), má pak sója v zásadě tři hlavní významy jejího pěstování, kterými jsou potravinářské využití, dále využití k výrobě krmiv a třetím významem je pak meliorační a půdotvorný účinek.

3.3.1 Využití sójového oleje

Sójový olej se používá při výrobě mnoha potravinářských výrobků, jako je margarín, nebo je použit při přípravě smažených jídel. Spotřeba sójového oleje se výrazně zvýšila po zjištění značných souvislostí mezi konzumací živočišných tuků a rizikem kardiovaskulárních chorob (Hartman et al. 2011). Tuto souvislost však nelze jednoznačně přiřadit pouze konzumaci živočišných tuků a je třeba dbát na celkově vyvážený příjem potravin se správným poměrem jednotlivých skupin tuků, stejně tak jako na vliv genetických predispozic k onemocnění kardiovaskulárními chorobami (Česká internistická společnost 2024). Aby měl sójový olej stabilní chuť a čerstvost a mohl se používat jako komerční olej, začalo docházet k jeho hydrogenaci (Hartman et al. 2011), tedy k redukci dvojných vazeb v řetězci mastných kyselin, jinak řečeno, k jeho ztužování (PCC Group 2022). Kyselina linolenová obsažená v sójovém oleji je řazena mezi omega-3 polynenasycené mastné kyseliny, které by měl člověk přirozeně získávat z potravy (Hartman et al. 2011). Navíc je příjem kyseliny linolenové spojen se sníženým rizikem kardiovaskulárních onemocnění a cukrovky (Messina et al. 2022).

3.3.2 Potravinářské využití sójové bílkoviny

Sója je mezi plodinami poskytující bílkovinnou složku potravy jedinečná tím, že poskytuje bílkoviny velice podobné kvality, z hlediska zastoupení aminokyselinového spektra, jako živočišné zdroje bílkovin. Z tohoto důvodu se sója, nejen v Asii, již dlouhou dobu konzumuje jako hlavní zdroj bílkovin v tradičních potravinách (Hartman et al. 2011). Dle Messiny et al. (2022) existují dvě základní kategorie tradičních asijských sójových potravin, které dělí na fermentované a nefermentované. Mezi fermentované řadí natto, tempeh a miso a do těch, které procesem fermentace neprošly, jsou řazeny tofu a sójové mléko. V posledních letech se díky pokroku v potravinářských technologiích popularita mnoha z těchto potravin mimo Asii výrazně zvýšila. Sójová mouka s vysokým obsahem kvalitních bílkovin obohacuje řadu potravin, včetně pečiva, tyčinek, nudlí a kojenecké výživy. Sójové bílkoviny jsou hlavní složkou analogů masa, které konzumují lidé, dávající přednost potravinám rostlinného původu nebo potravinám s nižším obsahem nasycených tuků.

Náhražky mléčných výrobků na bázi sóji jsou stále oblíbenějšími pro osoby s alergií na mléčné výrobky nebo s preferencí veganské stravy (Hartman et al. 2011). Z hlediska alergie je však nutné podotknout, že i sójový protein je v současnosti v USA klasifikován jako významný alergen, ačkoli jeho výskyt je v porovnání s ostatními významnými potravinovými alergeny nízký. Podle odhadů je na sójovou bílkovinu alergických přibližně 3 z 1 000 dospělých lidí a 5

z 1 000 dětí. Tito jedinci se musí vyhýbat všem výrobkům obsahujícím sójové bílkoviny, ale jejich konzumace není omezena v případě rafinovaných sójových olejů (Messina et al. 2022). Studie ohledně zdravotních benefitů i komplikací v případě konzumace sóji se zaměřují v největší míře na obsah Isoflavonů v sójových semenech, jakožto přirozeně se vyskytujících fytoestrogenů. Ty totiž vlivem podobnosti s lidskými estrogény mohou způsobovat značné zdravotní komplikace (Kwack et al. 2009; Fernandez-Lopez et al. 2016; Rietjens et al. 2017), ale i benefity (Taku et al. 2012; Applegate et al. 2018; Cui et al. 2020). Z hlediska výzkumu těchto rostlinných estrogenů, však ve většině případů nebylo učiněno závěru, že by tyto látky měly určitý zásadní negativní vliv na lidské zdraví. Naproti tomu byly učiněny závěry, které by mohly přisuzovat pozitivní vliv působení sójových Isoflavonů ve vztahu k podpoře zdraví kostí, zmírnění návalů horka v období menopauzy u žen či zlepšení kognitivních funkcí (Messina et al. 2022).

3.3.3 Krmivářské využití sóji

Sója je napříč širokému využití ve výživě lidí, hlavně celosvětově využívaným bílkovinným krmivem ve výživě zvířat (Florou-Paneri et al. 2014; Cromwell 2017). Ačkoliv byl sójový šrot dlouhou dobu vedlejší zdroj bílkovinné složky ve výživě zvířat, v dnešní době představuje sójový šrot až 69 % bílkovinné složky v krmivech hospodářských zvířat. Kromě toho je sójový šrot často představován jako „zlatý standard“ ve výživě zvířat, protože většina bílkovinných složek krmiv je vůči jeho složení porovnávána (Cromwell 2017). Je specifikován jako bohatý zdroj vysoce stravitelných bílkovin, které jsou složeny z pestré škály esenciálních aminokyselin (Florou-Paneri et al. 2014; Cromwell 2017), a možná právě díky této vlastnosti je považován za „základní kámen“ krmných směsí pro nepřežvýkavá hospodářská zvířata, zejména pro výkrm prasat a drůbeže (FAO 2006; McDonald et al. 2011; Cromwell 2017). Jeho aminokyselinové spektrum se totiž velice dobře shoduje s potřebným spektrem ve výkrmu těchto zvířat, a to více než u jakýchkoliv jiných šrotů olejných plodin (Cromwell 2017). Sójový šrot je bohatým zdrojem aminokyselin lysinu, tryptofanu, treoninu a isoleucinu (Florou-Paneri et al. 2014; Cromwell 2017), které jsou prokazatelně deficitní v krmivech jako je kukuřice, čirok a dalších zrnech běžně zkrmovaných obilovin (Cromwell 2017). Nicméně ani v sóje není spektrum aminokyselin naprosto vyrovnané a její šrot je příznačný nízkým obsahem aminokyselin na bázi síry, zejména methioninu a cysteinu (McDonald et al. 2011; Cromwell 2017). Zastoupení jednotlivých nejdůležitějších aminokyselin v sójovém šrotu prezentuje **Tabulka 1**. Z těchto údajů je též patrné, že loupání semen sóji zásadním způsobem ovlivňuje konečnou koncentraci aminokyselin v sójových šrotech a je též patrné, že ani obaly semen neskýtají značný obsah těchto zmíněných aminokyselin na bázi síry.

Nejdůležitější aminokyselinou v sójových šrotech se v tomto ohledu jeví lysin, který je považován za první limitující aminokyselinu ve výkrmu prasat, resp. druhou limitující aminokyselinu ve výkrmu drůbeže. Tato skutečnost je jednoduše vysvětlitelná jeho vysokým, až 7%, podílem na sójových bílkovinách, kde tento obsah není příliš odlišný od jeho obsahu ve svalových bílkovinách v tělech těchto hospodářských zvířat (Cromwell 2017). Nehledě na jeho vysokou stravitelnost, kde ve výkrmu prasat bylo prokázáno, že až 90 % sójového lysinu je pro prasata stravitelných a využitelných pro jejich metabolickou potřebu (Florou-Paneri et al. 2014; Cromwell 2017). Z pohledu krmivářství je sójový šrot získáván v procesu extrakce sójového

oleje. Po odstranění většiny oleje ze sójových semen jsou následně získané pokrutiny drceny či šrotovány za účelem získání sójového šrotu či mouček. Tento šrot však obsahuje kromě vysokého zastoupení bílkovinné složky, také značné množství antinutričních látek, které jsou, jak již bylo uvedeno, inhibovány zejména pomocí zahřívacích procesů. I v tomto případě však musí být věnována značná pozornost průběhu těchto inhibičních procesů. V závislosti na teplotě a době působení totiž může dojít k přepálení sójového šrotu, který vede k reakci aminokyselin s cukernou složkou. Mimo to se zvyšuje riziko denaturace žádaných bílkovin v sójovém šrotu. Tyto reakce ve výsledku ústí ve snížený příjem a stravitelnost sójových bílkovin. Je tedy žádoucí za pomoci stanovených metod, zjišťovat bezpečné hodnoty teplot a doby působení v rámci těchto procesů (McDonald et al. 2011; Cromwell 2017).

Tabulka 1: Procentuální obsahy jednotlivých aminokyselin v sójovém šrotu (Cromwell 2017)

Aminokyseliny	Sójový šrot (%)	Sójový šrot z oloupaných semen (%)
Arginin	3,17	3,45
Histidin	1,26	1,28
Isoleucin	1,96	2,14
Leucin	3,43	3,62
Lysin	2,76	2,96
Methionin	0,6	0,66
Cystein	0,68	0,7
Fenylalanin	2,26	2,4
Tyrosin	1,55	1,59
Treonin	1,76	1,86
Tryptofan	0,59	0,66
Valin	1,93	2,23

3.3.4 Meliorační účinek sóji v rámci osevních sledů

Sója jako rostlina z čeledi Bobovitých je stejně jako ostatní rostliny z této čeledi schopna poutat vzdušný dusík. K této schopnosti jí dopomáhá vztah s půdními bakteriemi rodu *Bradyrhizobium japonicum*, které skrze symbiózu s kořeny sóji dokáží tento efekt zrealizovat. Díky této unikátní schopnosti je sója plodinou, která během svého růstu vyžaduje minimální nebo v řadě případů dokonce úplně omezené hnojení minerálními dusíkatými hnojivy (Zimmer et al. 2016). Z hlediska energetické efektivity biologické fixace dusíku u leguminóz, mezi něž sója spadá, lze také konstatovat, že dusík, který je biologicky fixovaný v rámci těchto procesů, je v konečném důsledku získáván za pomoci energie ze slunečního záření. Naproti tomu minerální dusík obsažený v hnojivech vyžaduje k výrobě značné množství neobnovitelných zdrojů fosilních paliv (Crews & Peoples 2004). Z těchto dvou argumentů je tedy zřejmý značný potenciál sóji, jakožto plodiny využívající symbiotické fixace ke zlepšení efektivity hospodaření s dusíkem v rámci jejího pěstování. Z dalšího pohledu lze i nahlížet na snížení environmentálních dopadů skrze nižší užívání fosilních paliv k přeměně dusíku

dostupného v hnojivech pro rostliny (Crews & Peoples 2004; Nemecek et al. 2008). Část takto symbioticky fixovaného dusíku je následně dostupná jak samotným rostlinám sóji, tak následným plodinám v rámci osevního sledu. Nicméně část tohoto dusíku je také ztracena skrze jeho vyplavování do spodních vod nebo skrze emise do ovzduší. Bylo však zjištěno, že emise do ovzduší plynoucí z biologické fixace dusíku, nejsou zásadně odlišné od těch, které se běžně vyskytují v rámci osevních postupů obilních plodin. Naproti tomu byla u leguminóz prokázána zvýšená ztráta dusíku vyplavením. Toto vyšší riziko vyplavení lze částečně vysvětlit tím, že tyto plodiny díky fixaci dusíku nemají zásadní podíl na odběru minerálního dusíku z půdního komplexu, čímž díky jeho hromadění stoupá i riziko jeho vyplavení do spodních vod. V řadě případů hrají též roli mělké kořeny některých z těchto plodin, které nedokáží účinně vstřebávat dusík i z hlubších vrstev. Sója je náchylná na ztráty dusíku i v důsledku jejího jarního charakteru setí, čímž dochází k dlouhému období bez pokryvu mezi předchozí plodinou a setím sóji. Toto relativně vyšší riziko ztrát dusíku vyplavením, je však možné zmírnit účinným zařazením mezplodin, které dokáží nahromaděný dusík v meziporostním období uložit do své biomasy (Nemecek et al. 2008).

Meliorační účinek sóji je mimo samotný efekt biologické fixace, možno obecně vztahovat vůči osevním postupům, ve kterých se sója uplatňuje. Meliorační působení leguminóz v osevních postupech lze interpretovat dle Stagnariho et al. (2017) dvěma hlavními efekty. Jednak skrze již zmíněný efekt obohacení půdní zásoby o minerální dusík, a jednak v těchto osevních postupech leguminózy často diverzifikují velice jednotné osevní sledy složené primárně z obilnin. První zmíněný efekt souvisí zejména se zvýšením výnosů následných, zejména obilních plodin, které benefitují ze schopnosti sóji fixovat vzdušný dusík. Tento zlepšující efekt byl prokázán mnoha praktickými výzkumy (Rahman et al. 2022; Cox et al. 2019; Toleikienė et al. 2019). Navíc je tento efekt možné vysvětlit sníženou potřebou dusíkatého hnojení k těmto následným plodinám, které díky mineralizaci mohou využít dusík po předchozí bobovité plodině, tedy sóje. Snížením potřeby hnojení k těmto plodinám je v konečném důsledku možné dosáhnout redukce spotřeby fosilních paliv, které by byly jinak nutné, k vytvoření těchto dusíkatých hnojiv. Je tedy do značné míry zlepšena efektivita využití energie a snížen dopad na globální oteplování (Nemecek et al. 2008), díky sníženým emisím skleníkových plynů (Robertson et al. 2000). Efekt diverzifikace osevních sledů není přímo specifický pro leguminózy, ale je všeobecně znám jeho příznivý účinek při přerušení jednotných sledů stejných nebo podobných plodin (Stagnari et al. 2017). Tento efekt má pozitivní účinek ve zlepšení půdní struktury skrze sekvestraci uhlíku a zvýšený obsah půdní organické hmoty (Hernanz et al. 2009), v mobilizaci fosforu (Shen et al. 2011) a hlavně v potlačení chorob, škůdců a plevelných rostlin, které dominují zejména u obilních plodin v rámci jejich jednotvárných osevních sledů (Nemecek et al. 2008). Pro značnou morfoloickou i fyziologickou odlišnost obilnin a sóji je tedy zřejmé, že efekt přerušení osevních sledů bude nejvíce výrazný při implementaci sóji právě do těchto osevních sledů, které se vyznačují vysokým zastoupením obilnin. Tyto osevní sledy jsou současně do jisté míry specifické pro většinu obhospodařované plochy v evropských zemích (Preissel et al. 2015) a je tedy z agroenvironmentálního hlediska nasnadě začleňovat sóju jako plodinu do těchto jednostranně založených osevních postupů (Magrini et al. 2016).

3.4 Faktory ovlivňující pěstování sóji

Introdukce sóji do oblastí střední a severní Evropy, které se vyznačují obecně chladnějším rázem klimatu, relativně dlouhými dny a všeobecně kratším obdobím vegetace, by právě v důsledku těchto skutečností mohla být značně ztížena. Možná právě vlivem těchto faktorů, které hrají zásadně proti požadavkům rostliny sóji, je myšlenka introdukce sóji do těchto oblastí v současnosti stále málo rozšířená (Kühling et al. 2018). Je tedy žádoucí znát složení faktorů, které působí na dosavadní pěstování sóji, a tím do značné míry ovlivňují její výnosový potenciál a rentabilitu pěstování v těchto oblastech (Karges et al. 2022). V následující části jsou shrnuty hlavní abiotické a biotické faktory, které ovlivňují fyziologické a morfologické vlastnosti rostlin sóji při jejím pěstování a svým charakterem mohou do jisté míry ovlivnit následný výnos a kvalitu produkce (Hartman et al. 2011).

3.4.1 Abiotické faktory

Z hlediska abiotických, tedy „neživých“ faktorů, které působí na rostliny sóji v průběhu její vegetace můžeme jmenovat jejich výčetem ty nejzákladnější, které jsou též předmětem výzkumu mnoha odborných prací (Hartman et al. 2011; Pedersen & Edlefsen 2013; Lamichhane et al. 2020; Karges et al. 2022). Tyto faktory lze v nejzákladnější rovině dělit na požadavky na světlo, teplotu prostředí, dostupnost vody a kvalitu půdních podmínek (Hartman et al. 2011; Žák et al. 2014).

3.4.1.1 Vliv světla

Světlo je u sóji jedním z faktorů, který dokáže zásadním způsobem určovat vhodnost této rostliny do evropských podmínek pěstování (Karges et al. 2022). Z hlediska světelných podmínek je pro sóju, stejně tak jako pro většinu plodin, důležitá hlavně délka jeho působení spolu s jednotlivými intervaly mezi dnem a nocí. V této oblasti je tedy cílem zájmu určitá fotoperiodicita (Cai et al. 2020). Fotoperiodu definuje Câmara et al. (1997) jako dobu v rámci 24 hodin trvání dne, kdy je povrch Země vystavován světlu, tedy slunečnímu svitu a tato část dne pak také představuje dobu v hodinách mezi východem a západem slunce. Délka světelného dne je určena zeměpisnou šířkou daného místa na Zemi. Pro sóju, jako plodinu krátkého dne, je pak délka světelného dne klíčová zejména v období od vzejití do začátku kvetení (Câmara et al. 1997), kde sója vyžaduje intenzivní střídání tmavé periody, noci, s periodou světla, dne (Žák et al. 2014). Délka fotoperiody je následně zodpovědná za indukci kvetení sóji (Karges et al. 2022). Tato skutečnost je silně v rozporu s myšlenkou introdukce sóji do pobaltských států v severní Evropě. Vysvětlení tohoto tvrzení lze hledat v tom, že tyto státy jsou vzhledem ke své poloze na zemském povrchu, právě ty, jenž skýtají dlouhé fotoperiody během vegetačního období (Lazauskas et al. 2012). Přílišné prodloužení fotoperiody v období do začátku kvetení způsobuje u sóji opožděné a protáhlé období kvetení, stejně tak jako intenzivní nárůst biomasy (Žák et al. 2014). Řešení tohoto problému by však mohly přinést odolnější odrůdy sóji šlechtěné do těchto podmínek pěstování (Zhang et al. 2007). Největší nároky na světlo má následně sója v období po začátku kvetení, nasazování lusků a tvorby semen, kde denní světlo urychluje tyto zmíněné procesy (Žák et al. 2014) a krátké fotoperiody stejně tak jako příliš vysoké teploty mohou narušovat procesy kvetení (Câmara et al. 1997). Nedostatek světla u sóji vyvolává

úbytek listové plochy, signalizovaný žloutnutím a opadem listů, a proto je z tohoto hlediska velice důležité klást důraz na optimální hustotu porostů. Ta může být regulována zejména správnými agrotechnickými zásahy jako je dodržení výsevního sponu (Žák et al. 2014).

Délka fotoperiody je pak i klíčovým faktorem při rozdělování odrůd do jednotlivých skupin ranosti. Pro nástin této problematiky v oblasti fotoperiodicity je možné uvést příklad na dvou extrémních případech těchto skupin, a sice skupině odrůd s označením „000,“ které jsou vyšlechtěny pro oblasti s delší fotoperiodou a skupině s označením „X,“ která je hojně šlechtěna pro oblasti s kratší, a pro sóju příznivější, fotoperiodou. Tedy v případech, kdy by byla vyseta odrůda skupiny „000“ v oblastech s kratší fotoperiodou, by mohlo dojít k velice časnému kvetení, kdy jsou rostliny sóji stále v časných růstových fázích. Tato situace by vedla k velice sníženému výnosu vlivem časného kvetení. Naproti tomu vysetí odrůdy skupiny „X“ v oblastech s delší fotoperiodou, by mohlo vést k prodloužení vegetativní fáze růstu, která by ústila ve vzrůstem mohutné rostliny, které by byly tímto opožděny ve vývoji a nebyly by s největší pravděpodobností schopny vytvořit semena před prvními podzimními mrazy (Hartman et al. 2011). O odrůdách a jejich rozdělení do skupin ranosti je více pojednáno v části **3.8 Odrůdové možnosti sóji pro oblasti Evropy.**

3.4.1.2 Teplota prostředí

Teplota prostředí je při pěstování sóji další aspekt, který je zejména u sóji díky jejím vyšším teplotním nárokům klíčovým parametrem jejího pěstování (Staniak et al. 2021). Sója je plodina teplomilná (Žák et al. 2014; Staniak et al. 2021) a pro svůj růst a vývoj vyžaduje optimální průměrnou roční teplotu v rozmezí 8-10 °C. Za vegetaci je optimum průměrných teplot v rozmezí 18-20 °C (Žák et al. 2014), což potvrzuje i Câmara et al. (1997), který tvrdí, že průměrná teplota za vegetaci by neměla klesnout pod 15 °C, pakliže ano, je u sóji zpomalen růst skrze sníženou tvorbu nových listů, větví a lusků. Stresování sóji nízkými teplotami je tedy považováno za jeden z faktorů, který má vliv na snížení výnosu v chladných podmínkách pěstování, nicméně tento závěr byl podle některých studií vyvrácen tvrzením, že daleko důležitější je z hlediska teploty a ovlivnění výnosu u sóji, pozorována efektivní suma teplot za vegetaci (Kühling et al. 2017). U sóji je tedy z hlediska hodnocení teploty za vegetaci důležitý parametr sumy vegetačních teplot, který by se měl pohybovat v rozmezí 2000 až 3000 °C za vegetaci. Teplotní nároky za vegetaci jsou u sóji zvlášť důležité v období kvetení a neméně také v období klíčení a vzházení (Žák et al. 2014). Kvetení je u sóji kritická doba ve vztahu k nízkým teplotám. V tomto období by se měla průměrná teplota pohybovat optimálně na rozmezí 22-25 °C. Za biologické minimum v období kvetení se považují průměrné teploty okolo 17-18 °C (Gass et al. 1996), kde náhlý dlouhodobý pokles teplot pod 10 °C může značně potlačit procesy kvetení u sóji (Câmara et al. 1997). Tyto vyšší teplotní nároky se následně prodlužují i do období tvorby lusků a semen, kde je udáváno optimum teplot v rozmezí 20-25 °C (Žák et al. 2014). V konečných fázích růstu a vývoje u sóji, tedy v období zralosti, je již sója méně náročná na teploty, které by ale neměly klesnout pod 13 °C (Žák et al. 2014; Staniak et al. 2021) a za optimum se v této době považují teploty 14-19 °C. Teplota v půdě je u sóji důležitá jednak z hlediska klíčení, ale i z hlediska optimálního průběhu symbiotických vztahů sóji s hlízkovými bakteriemi, které poutají vzdušný dusík (Staniak et al. 2021). V případě teplotních charakteristik ve vztahu ke klíčení sóji bylo dospěno k závěrům, že minimální teplota

pro klíčení sóji se pohybuje na hranici až 4 °C, což je podobná hranice teplot, kterou lze nalézt ku příkladu u hrachorů, Pískavice řeckého sena či Vikve obecné (Lamichhane et al. 2020). Tato hranice je však na úrovni biologického minima pro klíčení a jistou minimální teplotou pro klíčení sóji se tedy jeví teploty o několik stupňů výše, udává se rozmezí 6-9 °C (Žák et al. 2014). Zároveň je tato hranice ale nižší než například u Fazolu mungo, Jetele egyptského či Fazolu obecného (Lamichhane et al. 2020), který se v podmínkách Evropy běžně pěstuje (Dostálová 2001). Nicméně stále je tato teplota o poznání vyšší než u běžněji pěstovaných evropských luskovin, jako je bob, cizrna, čočka nebo Hrách setý, u kterého je biologická minimální teplota pro klíčení dokonce na úrovni -1 °C (Lamichhane et al. 2020). Za optimální teplotu pro klíčení v podmínkách střední Evropy je následně považována hodnota 15-20 °C (Žák et al. 2014), některé zdroje uvádějí na základě praktických pokusů až 30 °C a zároveň definují 40 °C jako horní teplotní hranici pro klíčení sóji (Lamichhane et al. 2020). Z pohledu symbiózy a fixace vzdušného dusíku u sóji byla za optimální teplotu pro tvorbu hlízek a úspěšnou fixaci dusíku stanovena hodnota 25 °C, kde snížením teploty na 17 °C byla značnou měrou ovlivněna i tvorba hlízek na kořenech sóji a snížena fixace vzdušného dusíku. Při teplotách pod 15 °C byla fixace dusíku téměř zastavena (Zhang et al. 1995).

3.4.1.3 Dostupnost vody

Sucho je u sóji faktor, který může značným způsobem potlačit vegetativní růst a způsobit sníženou tvorbu lusků, které jsou malé s menším počtem semen, jež jsou taktéž malá a nedozrálá (Hartman et al. 2011). V částech světa, kde se sója pěstuje i přes značný vliv sucha, je široce uplatňován systém závlah, který může pozitivním způsobem přispět k regulaci konečných výnosů (Karam et al. 2005; Karges et al. 2022). Stejně jako se suchem, je u sóji, jako u většiny plodin, problém naopak s přebytkem vody. Zejména pak v záplavových oblastech nebo v oblastech s obdobími intenzivních dešťů. Sója dokáže se zaplavenými kořeny přežít jen velice krátké období a v případech, kdy rostliny přežijí, může být jejich výnos semen značně snížený vlivem přesunu energie, která je vynaložena na regeneraci poškozených kořenů. Nadbytek vody, zejména na těžších jílovitých půdách, může navíc způsobovat nedostatek vzduchu v půdním profilu, který negativně ovlivňuje činnost kořenů u sóji. Při následném vyschnutí je také vyšší riziko tvorby povrchové krusty, která mimo jiné brání v účinné infiltraci vody do půdního profilu (Hartman et al. 2011). Z hlediska optimálních požadavků rostlin sóji na vláhu, je pak možné konstatovat, že tato rostlina je na vodu náročná zejména v období klíčení, kde rostlina vyžaduje až 140 % hmotnosti vody z hmotnosti semene. Dále je dostupnost vláhy klíčová v období zakládání a tvorby květních pupenů, kvetení, nasazování lusků a také v období tvorby a nalévání semen (Žák et al. 2014). Sója potřebuje na vytvoření 1 g sušiny okolo 600-1000 g vody (Procházka et al. 2023). Tuto potřebu lze během roku vyjádřit nejvíce v měsíci květnu, červenci a srpnu, kde dostupnost a rozložení srážek v těchto měsících měly zásadní vliv na konečný výnos sóji v jednom z provedených pokusů (Mandić et al. 2017). U sóji je udáván ve vztahu k oblasti pěstování minimální roční úhrn srážek 550 mm (Žák et al. 2014), optimální pak přibližně 700 mm ročně (Procházka et al. 2023). Z pohledu srážek se tedy jeví část severní a střední Evropy jako vyhovující této potřebě (Mikolášková 2006). Problém dostupnosti srážek, by se však mohl vyskytovat ve vztahu k některým státům střední Evropy v jejich distribuci v měsících červnu a červenci, které jsou zejména na území severních částí

Německa relativně suché. V těchto měsících totiž u sóji většinou probíhají procesy kvetení a tvorby květních pupenů, které by mohly být vlivem sucha značně potlačeny (Karges et al. 2022). Z pohledu možných překážek pěstování sóji v Evropě, se tak v rámci dostupnosti vody během vegetace, doposud jedná o jeden z nejzásadnějších faktorů majících vliv na možné pěstování sóji v evropských oblastech (Procházka et al. 2023). Dále je též důležité kalkulovat s druhem půdy, na které je sója pěstována. Je totiž popsáno, že na málo zádržných písčitých půdách, které jsou typické pro některé regiony na území Dánska, byl výnos sóji vlivem nedostatku vody v půdním profilu snížen až o 50 % a v těchto regionech se tedy jeví jako efektivní řešení použití závlah v průběhu vegetace (Pedersen & Edlefsen 2013).

3.4.1.4 Půdní podmínky

Půdy vhodné pro pěstování sóji vychází z jejich požadavků na teplotu a vláhu. Ideální jsou půdy hluboké, strukturní, dostatečně výhřevné, zejména z počátku jara, a také bohaté na humus a vápník. Z hlediska půdního druhu jsou to půdy hlinité až jílovitohlinité či hlinitopísčité s neutrální půdní reakcí. Těmto podmínkám nejlépe odpovídají černozemě, méně pak hnědozemě. Naproti tomu silně nevhodné jsou půdy těžké, dlouhodobě zamokřené a zhutnělé, ale i půdy silně písčité, z důvodu jejich nízké vododržnosti. Sója také snadněji přijímá těžké kovy. Je tedy třeba se vyvarovat jejímu pěstování v oblastech chemických továren (Žák et al. 2014). Z výše uvedeného vyplývá, že půdy vhodné pro pěstování sóji jsou většinou zastoupené v teplejších oblastech evropských států, avšak faktor kvality půdních podmínek nebyl v provedených studiích určen jako zásadní limitující faktor omezující produkci sóji v pobaltských státech (Toleikiene et al. 2021; Karges et al. 2022).

3.4.2 Biotické faktory

Biotické faktory ovlivňující růst a pěstování sóji lze všeobecně, stejně tak jako u většiny ostatních plodin, členit na vliv chorob, plevelných rostlin a škůdců, ale z hlediska sóji je důležité také zhodnotit vliv půdní mikrofauny či u všech kulturně pěstovaných plodin velice významný antropogenní faktor. Zejména vliv prvních tří jmenovaných faktorů ve spojení s nerespektováním základních pěstebních praktik může mít značný negativní vliv na výslednou produkci sóji. Nárůst počtu těchto nepříznivých biotických vlivů je zvláště pozorován v oblastech s intenzivní produkcí sóji nebo může být naopak způsoben nárůstem pěstebních ploch v nových, pro sóju dosud netypických, oblastech světa, kde zatím není dostatečně zvládnutá metodika regulace těchto patogenních vlivů. Z hlediska introdukce sóji nejen do států severní Evropy, je tedy žádoucí dostatečně zvládnutá technika regulace těchto vlivů, za přispění dosažených znalostí o těchto škodlivých organismech. Patogenní mikroorganismy, jako jsou bakterie, houby, hlístice, oomycety či viry, přispívají každoročně k hospodářským škodám způsobeným na sóje (Hartman et al. 2011). Podobný příběh se odehrává i u škůdců sóji. Mnoho škůdců, jako jsou mšice, brouci, roztoči či ptáci nebo hlodavci, způsobují každoročně značné hospodářské škody na úrodě sóji (Oerke 2006). Výše těchto škod se odvíjí od typu škodlivého činitele, vhodných podmínek pro jeho rozvoj až přes konečnou míru jeho rozvoje v porostu. K zabránění těmto škodám je tedy nutná znalost biologie těchto patogenů, stejně tak jako vhodných opatření k jejich potlačení (Hartman et al. 2011). Následující výčet nejdůležitějších biotických činitelů působících na porost sóji během její vegetace, má za cíl stručně tyto zástupce

představit, aby bylo možné porozumět jejich hlavním negativním či kladným důsledkům při pěstování sóji, stejně tak jako učinit vhodná opatření k jejich podpoře či regulaci.

3.4.2.1 Půdní organismy

Z hlediska vlivu půdních organismů je z výčtu značného množství mikro i makroorganismů v půdě, asi nejúčelnější se zaměřit na ty, jenž se svou specifickou funkcí pojí právě k pěstování bobovité plodiny, jakou je sója. Jedná se o symbiotické bakterie ze skupiny *Rhizobia*, které jsou v převážné většině vázány k půdě a díky vztahům s rostlinami jsou schopné fixovat molekulární vzdušný dusík a poskytovat jej v rámci symbiózy hostitelské rostlině ve formě, kterou rostlina dokáže přijmout (Grossman et al. 2011). Tento proces je z hlediska své efektivity a také úzke vázanosti na tuto čeleď rostlin, rostoucí po celém světě, jedním z nejdůležitějších procesů ve vztahu ke koloběhu dusíku v přírodě, kde dusík je jedním z hlavních limitujících prvků pro růst a vývoj všech rostlin (Albareda et al. 2009). Z hlediska vázanosti těchto bakterií k rostlinám sóji je uváděno šest druhů náležejících do tří různých rodů, které úzce souvisí s procesy biologické fixace dusíku u sóji. Tyto rody jsou specifikovány jako *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium* a *Sinorhizobium* (van Berkum & Eardly 1998). Většina autorů se následně shoduje, že biologickou fixací je u sóji možně fixovat až 300 kg dusíku na hektar, kde tento dokáže pokrýt 60-94 % potřeby sóji na dusík během vegetace (Hungria et al. 2006; Salvagiotti et al. 2008). Z druhů, které nejvýznamněji působí na fixaci dusíku je jmenován primárně druh *Bradyrhizobium japonicum*, který je největší měrou specificky příslušný rodu *Glycine* sp.

Avšak problém s pěstováním sóji v nových oblastech, jakými jsou státy severní a střední Evropy, spočívá v nízkém, neřídko kdy až ve velice omezeném, výskytu kmenů těchto bakterií v půdách, na které se sója pěstivelsky introdukuje. Vlivem tohoto nízkého výskytu specifických bakterií není sója schopna úspěšné a dostatečné tvorby hlízek ve vztahu k symbióze s těmito bakteriemi, a není v důsledku tohoto schopna přijímat fixovaný vzdušný dusík, což v případě omezeného hnojení dusíkatými hnojivy ústí ve značné snížení výnosů a kvality semen. Z těchto důvodů je žádoucí zajistit účelné dodání těchto kmenů bakterií do půd v nových oblastech pěstování sóji, které je možné provádět skrze inokulaci osiva sóji těmito kmeny bakterií (Zimmer et al. 2016). Několik studií, které byly provedeny na téma účinnosti této inokulace, následně vyslovili názor, že velikost a rozmanitost stejně tak jako perzistence těchto mikrobiálních společenstev, závisí na stanovištních podmínkách a neméně také na uplatňované pěstební technologii (Keyser & Li 1992; Ferreira et al. 2000; Kühling et al. 2018). Z hlediska pěstebních technologií pak byl prokázán pozitivní vliv technologií redukováného zpracování půdy na velikost a nárůst mikrobiálních společenstev ve vztahu k bakteriím fixujícím vzdušný dusík. Perzistence bakterií rodu *Bradyrhizobium* v půdě je dle provedených výzkumů až 17 let, což svědčí o značné perzistenci těchto bakterií. Může však být značně odvislá od podmínek stanoviště a dodatečně podpořena zařazením příbuzné leguminózy do osevního sledu daného pozemku, čímž se výrazně zkrátí doba bez přítomnosti hostitelské rostliny (Ferreira et al. 2000). Ze stanovištních podmínek jsou ty nejzásadnější, ovlivňující perzistenci a životnost těchto bakterií v půdě, hlavně teplota, půdní vlhkost naproti tomu i provzdušnění půdy, pH půdy, zasolení či obsah minerálního dusíku (Zhang et al. 1996; Keyser & Li 1992). V evropských podmínkách chladného klimatu může být důležitým limitujícím znakem teplotní přizpůsobivost

kmenů bakterií *Bradyrhizobium*, které jsou převážně adaptované na teplé pěstební oblasti sóji. Možné řešení lze však hledat v různých teplotních nárocích jednotlivých dosud dostupných kmenů rodu *Bradyrhizobium*, které v kombinaci s vhodně zvolenou odrůdou sóji a technikami inokulace osiva, mohou zlepšit perspektivu introdukce těchto kmenů do půd, potencionálně vhodných pro pěstování sóji v evropských podmínkách (Zimmer et al. 2016).

3.4.2.2 Plevelné rostliny

Z pohledu vlivu plevelných rostlin je u sóji specifické, vlivem jejího pozdnějšího termínu setí, že mezi sklizní předplodiny a jejím setím je velice dlouhé meziporostní období, které dává určitou možnost rozvoji širokého spektra plevelných, ale i zaplevelujících rostlin. Z těchto důvodů je velice účelné v tomto období využít relativně levných neselektivních herbicidů (Procházka et al. 2023). Základem regulace je však likvidace plevelných rostlin již v předplodině, kde je třeba se zaměřit zejména na vytrvalé plevele, jako je Pcháč oset nebo Pýr plazivý. V případě dvouděložných jednoletých plevelů a prosovitých trav jako Ježatky kuří nohy, bérů či rosiček, je důležité nepodcenit preemergentní aplikace herbicidů, které jsou hlavním způsobem herbicidní regulace u sóji a jsou aplikovány nejčastěji do tří dnů po zasetí sóji (Kazda et al. 2010). U sóji jakožto plodiny řazené v rámci osevních postupů mezi dvě obilniny, je taktéž důležité nepodcenit regulaci výdrolu obilniny spolu s možným rizikem rozvoje teplomilných druhů plevelů, které mohou vzcházet v rámci teplotně příznivých let ještě po sklizni obilní předplodiny. U těchto druhů, převážně ze skupiny pozdních jarních plevelů či lilkovitých druhů jako Blínu černého, Lilku černého či durmanu, je vhodné využít technologií zonálních aplikací herbicidů, které jsou vlivem ohniskového šíření těchto plevelných druhů, velice efektivním řešením regulace jak těchto teplomilných druhů, tak především druhů vytrvalých. Z hlediska výdrolu obilní předplodiny je třeba počítat, zejména u systémů redukovaného zpracování půdy, s etapovitým vzcházením výdrolu a těmto skutečnostem následně přizpůsobit i způsob regulace. V tomto ohledu se jeví jako prvotní, prevence vzniku ztrát při sklizni obilniny. Následná regulace výdrolu je poté možná pomocí graminicidů či mechanického zpracování půdy v průběhu podzimního období. V průběhu vegetace sóji již není žádoucí z důvodu její vysoké citlivosti k herbicidům, provádět větší herbicidní zákroky. Tuto skutečnost však popírá fakt snížené účinnosti většiny preemergentních přípravků, které ve většině případů působí na základě dostupné půdní vláhy. V posledních letech, vlivem častých pozdních jarních přísušků, však účinnost těchto přípravků klesá a s ní stoupá i riziko zaplevelení sóji během vegetace. V tomto ohledu se jeví jako východisko, nejen ke snížení množství aplikovaných pesticidů, zařazení mechanické regulace skrze meziřádkovou kultivaci. V tomto směru se tak většinou jedná o systémy ekologického hospodaření, které však na tento způsob regulace musí brát ohled již při zakládání porostů sóji. Při využití mechanické regulace se využívají především plečky pracující v oblasti meziřádků, použití prutových bran či jiných podobných nástrojů se nejeví jako optimální řešení z důvodu zvýšeného poškození rostlin sóji (Procházka et al. 2023).

3.4.2.3 Choroby

Choroby jsou u sóji v převážné většině způsobené houbovými patogeny, které jsou přenosné půdou, osivem ale i rostlinnými zbytky (Žák et al. 2014). Vzhledem ke značné

náročnosti sóji na výběr podmínek pěstování, kde nemalou roli hrají taktéž půdní podmínky, je prevencí onemocnění houbovými chorobami u sóji již správný výběr vhodných pozemků, stejně tak jako výsev kvalitního certifikovaného osiva, které je vhodné namořit povolenými přípravky k moření osiv. Vzhledem k těmto přípravkům je však vysloveno riziko negativního ovlivnění půdních bakterií z rodu *Rhizobium*, kde by mohlo dojít ke snížené tvorbě hlízek na kořenech sóji. Z půdních patogenů, které mohou ohrozit klíčící rostliny sóji, jsou to především patogeny z rodů *Pythium*, *Fusarium* či *Rhizoctonia*. Z hlediska chorob přenosných osivem se nadále jedná hlavně o původce plísně sóji, tedy *Perenospora manshurica* (Kazda et al. 2010). Kromě těchto zmíněných patogenů se u sóji během vegetace dále mohou vyskytovat choroby jako septoriová skvrnitost sóji (*Septoria glycines* teleomorpha *Mycosphaerella uspenkajae*), cercosporová skvrnitost sóji (*Cercospora sojina*), fomová skvrnitost sóji (*Phoma exigua*), fylostiktová listová skvrnitost sóji (*Pleosphaerulina sojaecola*), diaportová stonková nekróza sóji (*Diaporthe phaseolorum*) či bakteriové choroby jako bakteriální spála sóji (*Pseudomonas syringae*). Ve většině případů k přesnému určení těchto chorob je nutné provést laboratorní rozbor napadených částí rostlin sóji, avšak některé z nich mají své silně specifické příznaky, díky kterým lze relativně přesně určit typ daného patogenu (Žák et al. 2014). Procházka et al. (2023) uvádí z množství chorob napadajících sóju, primárně čtyři hlavní původce houbových a bakteriálních chorob u rostlin sóji. Prvním zástupcem je již jmenovaná plíseň sóji, která se v posledních letech již pravidelně každoročně vyskytuje v oblastech střední Evropy při pěstování sóji. Je specifická listovými skvrnami zelené až zelenožluté barvy obvykle nepravidelného tvaru. Její výskyt podporuje teplé a vlhké počasí zpočátku vegetace, kdy při časném nástupu v období července, je vhodné proti této chorobě použít vhodné fungicidní přípravky jako omezení možného rozvoje a snížení ztrát na výnose. Při pozdějším napadení ke konci srpna, již toto ošetření nemusí přinést požadovaný efekt a ve většině případů je vhodné zvážit jeho vypuštění. Druhou ze jmenovaných chorob je diaportová stonková nekróza sóji, jejíž příznaky se projevují nejdříve na stoncích a listech, odkud se následně šíří po celé rostlině. Záměna choroby je možná s rostlinou napadenou hlízenkou, avšak v tomto případě není přítomno mycelium ani sklerocia na bázi stonku, resp. uvnitř stonku. Strategie fungicidních ošetření se podobá plísní sóji, avšak v tomto případě je nutné klást také zvýšený důraz na výběr vhodných rezistentních odrůd a důsledné střídání plodin v rámci osevních sledů. Třetí nejčastější chorobou sóji, z řad bakteriálních patogenů, je jmenována bakteriální spála sóji, jejíž projevy jsou patrné zejména na listech, méně pak na stoncích a luskách. Bakteriální spála se projevuje drobnými vodnatými skvrnami, které později hnědnou až zasychají a vytváří na listech souvislé nepravidelné léze. Primárním zdrojem napadení jsou infikované klíčící rostliny skrze osivo či rostlinné zbytky. Jejím šíření napomáhá teplé a vlhké počasí v průběhu celé vegetace. Poslední, v polní výrobě velice rozšířenou chorobou, je bílá plísnovitost sóji nebo jinak také hlízenka (*Sclerotinia sclerotiorum*), která je jednou z pravidelně se objevujících chorob v porostech sóji. Její pozvolný nástup je patrný obvykle v polovině srpna, kde větší výskyt této choroby je pozorován u hustě setých porostů. Choroba je přenosná díky sklerociím, která se mohou vyskytovat ve sklizené produkci, tudíž se nedoporučuje, stejně tak jako u bakteriální spály, při jejím výskytu v porostu, tyto sklízet pro osivářské využití. Hlavními bezprostředně rozpoznatelnými příznaky jsou kromě odumírajících rostlin, také husté bílé povlaky mycelia na bázích stonků a uvnitř stonků přítomná černá sklerocia. Nejlepší ochranou proti hlízence se v tomto ohledu jeví dodržování odstupů mezi hostitelskými rostlinami v rámci

osevních postupů, protože v případě konvenčních ošetření proti hlízence v porostech sóji je problém s jejich omezenými možnostmi fungicidní ochrany (Procházka et al. 2023). V souhrnu prevence proti chorobám u sóji, je dobrá strategie použití mořeného, a především zdravého certifikovaného osiva, které je vyseto v rámci správně sestaveného osevního sledu, s důrazem na správný výběr odrůd a dodržování správné agrotechniky pěstování sóji (Žák et al. 2014). Jednou z možností se také jeví nepřímá ochrana vlivem inokulace osiva rizobiálními přípravky, které podporují symbiotické vztahy mezi sójou a žádanými kmeny bakterií rodu *Bradyrhizobium* (Kazda et al. 2010). Pouze při dodržení těchto správných zásad prevence proti chorobám, je možné zvýšit šance introdukce sóji do nových pěstivelsky příhodných oblastí v Evropě (Hartman et al. 2011).

3.4.2.4 Škůdci

Z pohledu škůdců lze jmenovat v prvních fázích růstu zejména larvy drátovců (*Elateridae*), které napadají kořeny a spodní části stonků sóji, či larvy květilky všežravé (*Delia platura*), vyžírající chodbičky v semenech sóji (Žák et al. 2014). Během vegetace lze v porostech sóji najít, dnes už velmi sporadicky se vyskytující polyfágní druh housenky babočky bodlákové (*Vanessa cardui*), která se v napadení liší rok od roku různě a její žír na listech je většinou lokálního charakteru výskytu. Avšak její housenky dokážou způsobit v porostech sóji značné hospodářské škody, kde místy porosty končí až holožirem (Kazda et al. 2010). Efektivně se v případě jejího většího výskytu doporučují použít insekticidy. Dalšími možnými škůdci v porostech sóji, způsobující závažné, avšak mnohdy menší škody, mohou být různé druhy mšic, listopas (Procházka et al. 2023) či kyjatka hrachová (*Acyrtosiphon pisum*). I zde se v případě jejich napadení volí insekticidní způsoby ošetření (Žák et al. 2014). Asi nejzávažnějším škůdcem v porostech sóji se jeví roztoč sviluška chmelová (*Tetranychus urticae*), která saje na všech nadzemních částech rostlin sóji a způsobuje zasychání rostlin a opad lusků (Kazda et al. 2010). Její napadení je velice typické šířením od okrajů pozemků, od čehož se často odvíjí i způsob její regulace s tzv. „praktikou orámování“ pozemků, kde se nejčastěji insekticidními přípravky ošetří pouze souvratě, k zabránění většího šíření svilušky do centra pozemků (Procházka et al. 2023). Její výskyt je spojován s nadprůměrně teplým a suchým průběhem měsíce srpna (Kazda et al. 2010). Dalšími škůdci z řad obratlovců, kteří škodí na porostech sóji jsou zejména hraboši (*Microtus* sp.), kteří škodí na většině zemědělských plodin. U sóji pak zejména okusem spodních pater lusků. Podpora jejich výskytu je spojována s uplatňováním bezorebných technologií vlivem redukce pohybu s půdní masou či ponecháním posklizňových na povrchu půdy, jakožto možného úkrytu pro tyto hlodavce. Jejich potlačení je možné alespoň minimálním uplatňováním hlubokokypřících zásahů v rámci managementu zpracování půdy či stavbou „berliček“ pro dravce, jakožto přirozených nepřátel těchto drobných hlodavců (Procházka et al. 2023). Jedním z velkých problémů se též jeví negativní dopad žíru dosud nevzešlých semen sóji ptáky, která jsou pro ně častým cílem, vzhledem k uspokojení jejich potravních nároků. Tento problém, zejména s holuby, byl při pokusech v Dánsku pozorován jako primární problém ze strany škůdců v rámci menších pěstebních ploch sóji. Tedy je odhadováno, že při zvětšení ploch a rychlém nástupu klíčení u semen sóji, by mohl být negativní dopad žíru těchto ptáků zanedbatelný (Pedersen & Edlefsen 2013).

3.4.2.5 Zásah člověka

Ze všech faktorů, které spolupůsobí v rámci agroekosystému na probíhající růst a vývoj rostlin sóji za účelem dosažení určitého množství produkce, je jednoznačně největší vliv na tyto procesy, v roli člověka. A to ať už pěstitele, hospodáře, tak i dalších lidí, kteří do určité míry mohou, nebo přímo ovlivňují tento produkční proces. Úlohou člověka v tomto složitém a vysoce propojeném systému, by měla být hlavně podpora vztahů a procesů, které z větší či menší části, ovlivňují konečný výsledek celého jeho snažení, výnos a zisk. Naproti tomu však, by právě lidský článek měl být tím, jenž se tímto svým počínáním snaží zmíněné vysoce komplexní vztahy zachovat a podporovat, také ve vztahu k ekosystému jako celku. Veškeré agrotechnické operace prováděné ve vztahu k produkčnímu procesu u sóji, by tedy měly respektovat jak myšlenku spočívající v dosahování určité hranice výnosů, tak ale především, by se měly snažit podporovat či alespoň zachovat úroveň složitých vztahů v rámci produkčního i okolního prostředí při pěstování plodin jako je sója (de la Riva et al. 2023).

3.5 Základní agrotechnika při pěstování sóji

Klíčová, z hlediska introdukce sóji do severněji položených oblastí v rámci jejího pěstování, je dostatečná znalost agrotechnických zásahů a požadavků, vzhledem k pěstebnímu využití sóji v aktuálních oblastech jejího pěstování (Karges et al. 2022). V následujícím přehledu jsou tedy nastíněny základní agrotechnické předpoklady, které mohou dopomoci k úspěšně zvládnuté agrotechnice i v nových, severněji situovaných, oblastech jejího pěstování.

3.5.1 Zařazení sóji v osevních postupech

Sója není příliš náročná na předplodinu, avšak její nároky na výběr stanoviště mohou hrát zásadní roli pro její úspěšný růst a vývoj. Jakožto luskovina dodávající do půdy fixovaný vzdušný dusík skrze symbiotické vztahy s bakteriemi, je sója považována za plodinu s velice dobrou předplodinovou hodnotou. Množství dusíku, které sója zanechá v půdě po jejím pěstování se může pohybovat v rozmezí 20-50 kg dusíku na hektar. V souhrnu těchto dvou vlastností je tedy zřejmé, že sója se nejčastěji řadí do osevních sledů mezi dvě obilniny (Žák et al. 2014), ačkoliv nejlepšími předplodinami pro sóju se uvádí animálně hnojené okopaniny, po kterých sója poskytuje nejvyšší výnosy (Procházka et al. 2023). Její vliv v osevních postupech vzhledem k obilním plodinám je i značně fyto-sanitární, protože jako dvouděložná plodina do značné míry diverzifikuje tyto osevní postupy, a tudíž značně potlačuje působení patogenů v obilninách. Navíc sója vyniká schopností imobilizace nepřístupných forem fosforu v půdě, čímž tento fosfor zpřístupňuje jednak sobě, a jednak i dalším plodinám v rámci osevních sledů. Naprosto nevhodné je sóju řadit po luskovinách a jejich směskách, slunečnici, ozimé řepce, hořčici či víceletých pícninách z důvodu šíření podobných chorob a škůdců (Žák et al. 2014). Naopak v řadě případů sóje z důvodu namnožení hlízkových bakterií v půdě, svědčí pěstování dva roky po sobě (Procházka et al. 2023). Po tomto však vyžaduje z fyto-sanitárních důvodů odstup mezi jejím pěstováním alespoň čtyři roky a odstup mezi ostatními příbuznými plodinami alespoň roky dva (Žák et al. 2014).

3.5.2 Zpracování půdy

Příprava půdy před pěstováním sóji je jedna ze základních operací zajišťující dobré vzcházení a vývoj porostů sóji. Jejím úkolem by mělo být především udržení půdní vláhy pro následné klíčení a růst rostlin sóji, stejně tak jako urovnání povrchu a přípravu dokonalého seťového lůžka. Jedním z úkolů předseťové přípravy by kromě dokonalého srovnání pozemku, pro zajištění rovnoměrného setí a následného vzcházení, mělo být také mechanické potlačování plevelů, ideálně v kombinaci s předchozím použitým neselektivním herbicidním ošetřením. Při přípravě půdy před pěstováním sóji lze využít klasických konvenčních technologií, nejčastěji zahrnujících orebné zpracování, ale stejně tak lze velice dobře uplatnit technologie redukovaného zpracování či technologie minimalizační (Žák et al. 2014; Procházka et al. 2023). V případě technologií redukovaného zpracování půdy se jedná o velice úspěšně uplatnitelné technologie pásového zpracování, tzv. „Strip-till,“ či technologie přímého setí do nezpracované půdy, tedy tzv. „No-till.“ V případě těchto technologií byly provedeny pokusy na území Evropy, které prokázaly úspěšnost těchto technologií při implementaci do pěstebních systémů sóji (Procházka et al. 2023). Dosud však stále nejvíce převažují technologie setí sóji do celoplošně zpracované půdy. Tedy nejčastěji za použití orebných systémů zpracování půdy. Tyto systémy vycházejí již z kvalitně provedené podzimní podmítky po sklizni (obilní) předplodiny, které jsou následovány nejčastěji středně hlubokou orbou provedenou v říjnu až listopadu na hloubku 25-30 cm (Žák et al. 2014). V následující jarní předseťové přípravě pak dochází, jak již bylo výše zmíněno, k likvidaci plevelů, a hlavně k dokonalé přípravě pozemku pro následné setí, ale i sklizeň sóji (Žák et al. 2014; Procházka et al. 2023). Tato příprava se nejčastěji provádí na hloubku setí, tedy na hloubku 4 cm (Žák et al. 2014), avšak při vícečetných pracovních operacích, zejména v důsledku absence kombinátorů či v důsledku vícenásobného mechanického potlačení plevelů před setím sóji, je doporučováno předchozí operace přípravy půdy provádět na hloubku 7-10 cm, a tyto jsou následovány samotnou předseťovou přípravou na hloubku seťového lůžka (Procházka et al. 2023). Lze tedy využít buď předseťové kombinátory, kterými lze provést předseťovou přípravu jedním přejezdem, nebo technologie smykování s následným prokypřením a urovnáním povrchu pozemku pomocí kypřičů, resp. bran (Žák et al. 2014).

3.5.3 Zakládání porostů

Při zakládání porostů sóji lze kromě využití klasických postupů setí do celoplošně zpracované půdy pomocí konvenčních secích strojů s pneumatickým či mechanickým výsevním ústrojím, využít také secí stroje pro přesný výsev, kterými disponuje většina podniků pěstujících plodiny jako je cukrovka či kukuřice. Vzhledem k novým trendům pěstování sóji v systémech redukovaného zpracování půdy, nelze opomenout ani tyto, ve většině případů velice úspěšné, systémy zakládání porostů sóji. Jedná se především o systémy pásového zpracování půdy nebo o systémy setí sóji do nezpracované půdy. Tyto systémy následně symbolizuje jejich úspěšnost při omezování větrné a vodní eroze, přehřívání půdy v období vegetace vlivem pokryvu rostlinnými zbytky, stejně tak jako zvýšená záhřevnost půdy na začátku vegetace, zejména ve zpracovaných pásech při pásové kultivaci, ale také jsou v porovnání s orebnými technologiemi symbolizovány sníženými ekonomickými náklady. Tyto systémy jsou také jednoznačně spojeny s většími mezířádkovými vzdálenostmi, které

plynou z konstrukčních charakteristik strojů používaných pro redukované zpracování půdy, což však ve výsledku nemusí znamenat žádný negativní efekt ve vztahu k pěstování sóji, naopak pěstování sóji v širších řádcích může přinést i značné benefity ve vztahu k rozvoji asimilačního aparátu či sníženému stresu rostlin sóji vlivem sucha. Zvolený systém založení porostu sóji se vždy odvíjí od dostupnosti prostředků daného subjektu pěstujícího sóju, avšak zvolený systém založení porostu sóji, může značně ovlivnit její konkurenceschopnost ve vztahu k nepříznivým vnějším podmínkám v dané oblasti jejího pěstování (Procházka et al. 2023).

3.5.3.1 Setí porostů sóji

Ve vztahu k setí sóji, stejně tak jako ostatních plodin, je důležité specifikovat základní parametry setí, tedy hloubku setí, meziřádkovou vzdálenost, výsevek a termín setí. U sóji dále nabývá na významu inokulace kmeny hlízkových bakterií či moření osiva sóji (Žák et al. 2014). Variabilita meziřádkové vzdálenosti, termínu setí, stejně tak jako vliv inokulace osiva byly vzhledem k introdukci sóji do severněji situovaných oblastí považovány za významné faktory ovlivňující stabilitu výnosu u sóji v těchto oblastech (Toleikiene et al. 2021) a z tohoto pohledu jsou dále rozebrány v části **3.7 Možnosti zvýšení produkce u sóji v podmínkách evropského pěstování**.

Hloubka setí je u sóji obvykle v rozmezí 30-60 mm, kde vzhledem k epigeickému klíčení rostlin sóji, je upřednostňována mělká hloubka setí, která však musí respektovat aktuální půdní podmínky stanoviště. Na velice výsušných stanovištích s písčitou půdní strukturou je často doporučována větší hloubka výsevu, naproti tomu u půd slévacích, těžkých a zamokřených se upřednostňuje mělký výsev. V každém případě však musí výsev sóji splňovat podmínku dokonale připraveného seťového lože spolu s rovnoměrným vertikálním a také horizontálním rozmístěním vysetých semen sóji (Žák et al. 2014; Procházka et al. 2023). Rovnoměrnost může být zásadně podpořena použitím secích strojů pro přesný výsev. Po zasetí sóji, a zvláště pak v případech velice suchých podmínek či nekvalitní předseťové přípravy, se doporučuje porosty sóji uválet např. Cambridge válci, které zajistí funkci půdních kapilár a zároveň urovnají povrch pro usnadnění následné sklizně sóji žacími adaptéry s funkcí kopírování terénu.

Obvyklá meziřádková vzdálenost je při výsevu sóji na úrovni 12,5-25 cm, která je typická pro většinu konvenčně využívaných secích strojů s pneumatickým či mechanickým výsevním ústrojím. Ve většině případů, zejména ve vztahu k technologiím redukované zpracování půdy, se však již upřednostňují vzdálenosti 37,5-50 cm, které jsou u sóji spojovány s příznivými enviromentálními dopady (Procházka et al. 2023).

Výsevek se u sóji v případě optimálního množství pohybuje v rozmezí 650 až 800 tisíc semen na hektar (Žák et al. 2014; Houba et al. 2019; Procházka et al. 2023), kde v poslední době ve vztahu k širokořádkovému pěstování sóji, se uplatňují tendence tento výsevek snižovat až na množství 600 tisíc semen na hektar, ale v řadě případů i méně. Tento výsevek by následně měl být reflektován počtem rostlin při sklizni sóji, který by se měl v ideálním případě pohybovat na hranici 500 až 600 tisíc rostlin na hektar (Procházka et al. 2023).

Termín setí je u sóji jeden z faktorů, který může zásadním způsobem ovlivnit průběh vzcházení sóji, stejně tak jako průběh ostatních fází růstu, a tím do značné míry ovlivnit konečný výnos semen (Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Toleikiene et al. 2021). Za optimální termín se v podmínkách střední Evropy považuje výsev v poslední dekádě dubna až první

dekádě května, kde je důležité se řídit zejména teplotou půdy v hloubce setí, která má splňovat hranici 8-10 °C. Ve většině oblastí je však vlivem horší záhřevnosti půd, tato teplota dosažena až v pozdějším období, kde přílišné prodloužení termínu výsevu, výrazně zkracuje období vegetace a tvorby výnosu. Avšak i setí do nedostatečně prohřáté půdy přináší riziko špatné vzháživosti sóji, a tím zvyšuje nevyrovnanost porostů (Procházka et al. 2023). Volba termínu setí je tedy zásadním aspektem, který ovlivňuje prosperitu růstu rostlin sóji v podmínkách evropského klimatu (Lamichhane et al. 2020; Toleikiene et al. 2021).

3.5.4 Výživa a hnojení

Z hlediska výživy není sója nijak zvlášť náročná, i díky faktu, že většinu dusíku si dokáže obstarat skrze symbiotickou fixaci. Pro optimální výnos ve výši 3 tun na hektar, potřebuje sója 70-90 kg dusíku, 12-20 kg fosforu, 30-40 kg draslíku, 20 kg vápníku a asi 1 kg hořčiku na hektar (Houba et al. 2019).

Dusík, jak již bylo zmíněno, není u sóji zásadním limitujícím prvkem, avšak i zde si sója není schopna obstarat celkové potřebné množství a zejména ze začátku vegetace, než u sóji dojde k navázání symbiotických vztahů, potřebuje sója přijímat dusík z půdní zásoby (Procházka et al. 2023). Toto tzv. hladové, resp. „parazitické období,“ trvá u sóji asi prvních 12-24 dní po vzejití a v tomto období sója vykazuje zvýšenou potřebu všech živin, zejména pak dusíku, které využívá pro úspěšné navázání symbiotické fixace, stejně tak jako pro svůj intenzivní počáteční růst (Žák et al. 2014). Je tedy optimální sóje dusík dodat ve „startovací dávce,“ která se udává na 30-60 kg dusíku na hektar dle půdní zásoby dusíku na daném pozemku (Procházka et al. 2023). Tuto dávku však je třeba volit s uvažováním a s tím, že větší dávky minerálního dusíku mohou negativně ovlivňovat symbiotické vztahy mezi hlízkovými bakteriemi a kořeny sóji (Žák et al. 2014). Pro tuto dávku je vhodné využít ledek amonný s vápencem. V průběhu vegetace již není většinou potřeba sóju dodatečně přihnojovat dusíkem. Pouze v porostech, kde je očekávaný výnos vyšší než 4 tuny na hektar, je účelné přihnojení roztokem močoviny, nejpozději však do období květu, později již vzrůstá riziko přílišného prodloužení vegetace a zhoršeného zrání semen. Listová hnojiva by se měla aplikovat v době omezeného slunečního svitu, vzhledem k citlivosti rostlin sóji na listové aplikace hnojiv a herbicidů.

Z hlediska fosforu je situace ještě o to snazší, sója je si schopna pomocí svých kořenů, které dokážou prorůst do značných hloubek, obstarávat fosfor i z těchto hlubších částí půdního profilu, a zejména pak je schopna ho imobilizovat i z jinak nepřístupných forem. Při velice nízké zásobě fosforu, se ale doporučuje jeho přihnojení, a to až už na podzim po sklizni předplodiny, či při samotném setí sóji, tzv. „pod patu.“ K tomu je využitelný zejména Amofos v dávce 100-200 kg na hektar nebo NPK v dávce 200-300 kg na hektar (Procházka et al. 2023), kde se spolu s fosforem dodá i „startovací dávka“ dusíku, potřebná pro počáteční rozvoj rostlin sóji. Je také třeba počítat s tím, že ačkoliv je fosfor pro sóju v půdě relativně dostupný, jeho nízký obsah, a tudíž i příjem, má negativní dopad na kvalitu semen sóji, tvorbu oleje a úspěšnost symbiotických vztahů s hlízkovými bakteriemi. Jeho nízký příjem také působí negativně z hlediska prodlouženého období zrání semen (Žák et al. 2014).

Z pohledu potřeby draslíku jeho zásoby v půdách většinou dostávají potřebě sóji, a není tedy potřebné ho dodatečně přihnojovat. V případě velice nízkého obsahu nepostačujícího na

zajištění 20 kg draslíku na hektar k vytvoření jedné tuny výnosu hlavního produktu a ekvivalentu produktu vedlejšího, je doporučeno draslík dodat v podobě síranu draselného či NPK.

Na vápník je sója zvláště náročná, nejen proto, že vyžaduje neutrální půdní reakci, se kterou obsah vápníku na většině kyselých půd silně koreluje. Na jednu tunu semen sója spotřebuje okolo 5-7 kg vápníku na hektar. Aplikovat vápník je vhodné na podzim po sklizni předplodiny s následným zapravením do půdního profilu. Dávka a zvolené hnojivo závisí na aktuálním obsahu, zjištěném z půdních rozborů (Procházka et al. 2023).

Z hlediska mikroprvků u sóji je účelná jejich aplikace za pomoci foliárních hnojiv, kde je žádoucí rostlinám sóji dodat primárně molybden, bór, železo, měď, zinek a mangan. K tomuto hnojení je možné použít např. roztok Harmavitu, který obsahuje vedle komplexu mikroprvků, též stimulatory růstu (Žák et al. 2014).

3.5.5 Ochrana porostů sóji

Ve vztahu k ochraně porostů se u sóji jedná zejména o udržení zdravých a pokud možno bezplevelných porostů, kterých je možné dosáhnout jak správnou úrovní celkové agrotechniky, tak postupy cílené regulace daných patogenů a plevelných rostlin, pomocí fungicidů, insekticidů, herbicidů či jiných alternativních metod regulace (Houba et al. 2019). Problematika těchto biotických faktorů již byla hlouběji rozebrána v části **3.4.2 Biotické faktory**.

3.5.6 Sklizeň sóji

Sklizeň je nejnáročnější pracovní a organizační fází celé pěstitelské technologie. Je podmíněna vlivu značného množství faktorů, které musí pěstitel i obsluha sklízecí techniky vzít v potaz, aby co možná nejvíce eliminovali sklizňové ztráty a tudíž výnos, ale i kvalitu konečného produktu. Tyto ztráty, které se mohou pohybovat v řádech 3-5 %, ale při nepříznivých podmínkách a nesprávné technologii sklizně i v řádech 20 a více %, jsou podmíněny zejména povětrnostním vlivům, vlivům nerovnoměrného zrání rostlin i lusků sóji, stejně tak jako výšce nasazení lusků nebo snadnému pukání sójových lusků. Je tedy nasnadě tyto možné faktory eliminovat na možné minimum, ve vztahu k co největší eliminaci sklizňových ztrát. Termín sklizně lze regulovat zejména volbou vhodné odrůdy, termínem setí či správnou a řízenou úrovní výživy rostlin sóji (Žák et al. 2014). Vzhledem k průměrné délce vegetace sóji 120-140 dnů v podmínkách střední Evropy (Houba et al. 2019), je možné počítat se sklizňovou zralostí sóji koncem srpna až v průběhu celého měsíce září, u pozdních odrůd až koncem října. V době sklizně jsou rostliny sóji pevné a většinou bez listů, lusky zbarvené do žluta až hněda, semena typicky odrůdově zbarvená. Sklizeň je přímá jednofázová při optimální vlhkosti semen 16 %, ale většinou i méně pro úsporu energie potřebnou k dosušení. Ke sklizni se využívají běžné sklízecí mlátičky, které jsou většinou opatřené speciálním žacím adaptérem, který umožňuje přesné kopírování povrchu pozemku, pro co možná nejnižší dosažené strniště, tzv. flexi lišta. Po sklizni je nutné sklizené semeno přečistit a dosušit na bezpečnou skladovací vlhkost 13-14 % (Žák et al. 2014), kde za tímto účelem je doporučováno využití chladného proudu vzduchu ke snížení rizika negativního vlivu sušení na vitalitu semen sóji (Procházka et al. 2023).

3.5.7 Sklizeň a využití sóji pro produkci píce

Sója je ve většině oblastí jejího pěstování primárně sklízena za účelem výnosu semen, avšak sóju je též možné využít jako velice vhodnou plodinu pro produkci bílkovinné zelené píce. Důvody jejího upozaděného využití pro produkci píce jsou primárně její vyšší náklady na tunu vyprodukované sušiny píce, které jsou výsledkem jejích relativně nízkých výnosů biomasy. V porovnání s ostatními, většinou víceletými pícevinami, je též sója omezována svou jednoletostí, díky které je většinou využita pouze na jednu seč. Ve výsledku jsou tedy preferovány pro produkci zelené píce spíše alternativní, celkově více výnosné plodiny, které se sóje většinou přibližují i z pohledu kvality píce. Proto se sója pro produkci zelené píce využívá spíše sporadicky, ale její potenciál je v této oblasti často zvyšován použitím směsných kultur s jinými plodinami, které jsou buď přidávány pro zvýšení výnosu zelené hmoty nebo zpestření kvalitativních složek sklizené píce. V tomto směru jsou využívány směsné kultury například s kukuřicí nebo čirokem, ale i dalšími obilninami. Sója je v podmínkách Evropy často limitována délkou vegetačního období, které ve většině případů nedostačuje pro její úspěšné dozrání a sklizeň jejích semen. V těchto oblastech lze hledat využití sóji pro produkci kvalitního doplňku krmné dávky ve formě zelené píce, jako možnou alternativu jejího pěstování (Procházka et al. 2023), zejména pak v ročnicích, kdy jsou ostatní, primárně víceleté píceviny jako jetel či vojtěška, poškozeny mrazy v průběhu zimy či suchými obdobími v letních měsících (Wiederholt & Albrecht 2003). Z tohoto pohledu jsou šlechtěné odrůdy sóji využitelné pro vyšší produkci zelené píce, které jsou však výnosnější většinou na úkor kvality píce, vlivem nižšího zastoupení lusků, a tedy i semen, jakožto hlavních zdrojů kvalitní bílkoviny v píci. Pro tento účel je možné ke zvýšení kvality a zachování příznivých výnosů, využít pozdnější odrůdy pro produkci semen, u kterých není kladen nárok na úspěšné dozrání, jako v případě sklizně na semeno (Wiederholt & Albrecht 2003; Procházka et al. 2023). Sója je za účelem produkce píce pěstována buď na seno (Redfearn et al. 2020), při dosahovaných výnosech okolo 4 tun sušiny na hektar (Procházka et al. 2023), nebo je nejčastěji sklízena za účelem silážování (Redfearn et al. 2020), kde výnosy dosahují dle odrůdy, podmínek ročníku a fáze růstu při sklizni okolo 7-8 tun sušiny na hektar (Procházka et al. 2023). Za účelem získání sena se sója sklízí v ranějších fázích kvetení až formování lusků a za účelem silážování ve fázi formování až dozrávání semen, kdy spodní listy žloutnou, ale stále zůstávají na stoncích a semena začínají vyplňovat lusky (Redfearn et al. 2020; Procházka et al. 2023). Lusky se semeny v těchto fázích zaujímají 40-50 % výnosu. Agrotechnika v průběhu pěstování sóji pro produkci píce se nijak zásadně neliší od běžných pěstitelských zásad při pěstování na semeno. V tomto směru je možné konstatovat, že šířka řádků při založení porostů může mít určitý vliv ve vztahu ke kvalitě a výnosu píce, kde výsev sóji do užších řádků může zapříčinit zvýšení výnosu a kvality sklizené píce. V souhrnu je tedy možné říct, že pěstování sóji pro produkci píce v podmínkách střední Evropy je výhodné v oblastech jejího nižšího uplatnění pro produkci semen a její hlavní výhody v tomto směru lze hledat v kombinaci s dalšími pěstovanými plodinami v rámci směsných kultur, a jejího následného uplatnění jako doplňkové píce ke zpestření živinové základny v rámci krmných dávek pro hospodářská zvířata (Procházka et al. 2023).

3.6 Produkční a výnosotvorné ukazatele u sóji

Výnos je všeobecně vnímán jako hlavní výsledný parametr produkce zemědělských plodin, který vyjadřuje produkci z kvantitativního pohledu. Je následně důležitý jako rozhodovací faktor pro pěstitele, od kterého se odvíjí budoucí pěstitelská rozhodnutí v rámci pěstební technologie dané hodnocené plodiny. Jelikož výnos v řadě případů určitou měrou ovlivňuje i konečný zisk z produkce, je již dlouhodobou snahou tento parametr zvyšovat. Této snaze zejména v poslední době napomáhají moderní technologie, které mají klíčovou roli v mapování výnosu ve vztahu k jeho variabilitě v rámci pozemků i celého zemědělského podniku. Na základě těchto mnohých výsledků mapování začaly postupem času vznikat matematické modely, snažící se predikovat úroveň výnosu za spolupůsobení určitých vnějších i vnitřních faktorů (Wei et al. 2020). Od těchto predikcí se následně začala usuzovat výše tzv. potenciálního výnosu, zejména tržních plodin, který je dán výší výnosu odrůdy dané plodiny, za podmínek neomezené dostupnosti vody a živin a s dokonalým a efektivním zvládnutím vlivu biotických faktorů na produkci (van Ittersum et al. 2013). Výši potenciálního výnosu pro danou oblast je též velice těžké určit, právě z důvodu potřeby naprosto dokonalého zvládnutí pěstitelské technologie, kde tento stav by bylo ve většině případů velice obtížné dosáhnout. Výši potenciálního výnosu pro danou oblast, tak za předpokladu dokonalého zvládnutí pěstitelské technologie, limitují pouze podmínky prostředí, ve kterém je plodina pěstována (Lobell et al. 2009). U sóji se v tomto případě jedná především o výše zmíněné abiotické faktory (viz **Abiotické faktory**). V případě pěstitelské technologie sóji lze výši potenciálního výnosu ovlivnit jednak genetickým potenciálem vybrané odrůdy, a stejně tak vysetím vitálního a zdravého osiva, které je možné inokulovat žádoucími kmeny bakterií (Procházka et al. 2023), a toto osivo je následně vyseto v optimálním termínu na požadovanou meziřádkovou vzdálenost, ve vztahu k možnému navýšení výnosu vlivem těchto opatření v dané oblasti pěstování (Tolikiene et al. 2021). Vliv těchto pěstitelských faktorů spolu s možností závlahy, jako technologie ovlivňující dostupnost vody (Karges et al. 2022), na výši výnosu u sóji je následně rozebrán v části **3.7 Možnosti zvýšení produkce u sóji v podmínkách evropského pěstování**.

U sóji je výše výnosu výsledkem čtyř dílčích ukazatelů, které jsou vzájemně popisovány více autory. Mezi tyto ukazatele je řazen počet rostlin na jednotce plochy, počet lusků na rostlině, resp. na ploše, počet semen v lusku a hmotnost semen, která je v řadě případů vyjádřena jako hmotnost tisíce semen (Žák et al. 2014; Lindsey 2015; Wei et al. 2020). Van Roekel et al. (2015) a Wei et al. (2020) pak ve výsledku tento výnos vyjadřují jako funkci množství semen na určité ploše, obvykle metru čtverečním, a hmotnosti jednotlivých semen sóji. Z těchto dvou proměnných faktorů je u sóji v průběhu ontogeneze dříve zakládán faktor množství semen na plochu oproti jejich hmotnosti, jenž je taky výraznějším faktorem ovlivňujícím konečný výnos více než faktor hmotnosti semen, který ve většině případů vykazuje menší variační koeficient (Singer et al. 2004; De Bruin & Pedersen 2008; Wei et al. 2020).

Množství semen na ploše je dle dříve zmíněných ukazatelů, tedy dané počtem rostlin sóji na jednotce plochy, který se v běžných podmínkách při sklizni pohybuje v rozmezí 45-70 rostlin na metr čtvereční, dále je dáno počtem lusků na rostlinu, a také počtem semen v lusku. Počet lusků na rostlině je následně klíčovým a nejvíce variabilním ukazatelem, který se největší

měrou podílí na rozdílech ve výnosu u sóji a je úzce korelující s množstvím vytvořených květů již v období tvorby květních pupenů, které následně přímo určují možný počet lusků na rostlině sóji. Tento ukazatel většinou kolísá v hodnotách 30-45 lusků na jednu rostlinu sóji (Žák et al. 2014).

Hmotnost semen sóji je pak dle Van Roekela et al. (2015) dále utvářena v období nalévání semen a je úměrná přírůstku hmotnosti jednoho semene za jeden růstový den a počtem těchto růstových dní, při kterých dochází k formování biomasy semene. Oba zmíněné faktory jsou na sobě nezávislé a oba jsou ovlivňovány podmínkami prostředí, avšak každý je jimi ovlivněn v jinou růstovou fázi. Přírůstek hmotnosti semene je determinován jednak odrudovými vlastnostmi, a jednak je nepřímo odvislý od množství lusků, resp. „sinků“ a přímo závislý na asimilující ploše nadzemní biomasy, zejména pak listové plochy. Bylo prokázáno, že výrazným úbytkem listové plochy byl i snížen průměrný denní přírůstek semen, čímž se v konečném důsledku výrazně snížil konečný výnos semen u sóji. Naproti tomu je uváděno, že výrazným snížením množství lusků na rostlině sóji neboli potenciálních sinků, došlo ke zvýšení přírůstků semen ve zbylých luscích (Egli et al. 1989). V případě zájmu o udržení přírůstků hmotnosti semen, je tedy snaha co nejvíce omezit ztrátu listové plochy u sóji, nejen díky vhodné zvolené hustotě založení porostu (Žák et al. 2014). Počet dní určujících nalévání a formování semen se pohybuje u většiny odrůd mezi 22-33 dny, kde sucho, vysoké teploty a stres z nedostatku dusíku jsou hlavními faktory zkracující toto období, což vede k následnému snížení výnosu. Na druhou stranu, teploty, které výrazněji zkracovaly období tvorby semen, se pohybují na hranici 40-44 °C (Thomas et al. 2010), což ve většině zemí střední a severní Evropy nepůsobí značné problémy (Karges et al. 2022) a z hlediska zásobení rostlin dusíkem, bylo prokázáno, že hnojení dusíkem není zásadním limitujícím faktorem z hlediska tvorby výnosu u sóji, zejména díky symbiotickým vztahům kořenů sóji s hlízkovými bakteriemi (Mastrodomenico & Purcell 2012).

Vlivem hodnot výše zmíněných ukazatelů je tedy potenciální výnos sóji za ideálních podmínek pěstování odhadován dle matematických modelů na hodnoty 7 500 až 11 000 kg na hektar (Van Roekel et al. 2015), kde však vlivem značného množství faktorů, které spolupůsobí na konečný výnos v rámci mnoha odlišných lokalit pěstování sóji, je v praktické rovině dosahováno výnosů mezi 167,1 až 10 170 kg sójových semen z hektaru (Wei et al. 2020). V podmínkách střední Evropy je možné dosahovat výnosů v průměru okolo 2700 kg z hektaru, v závislosti na podmínkách pěstování, stejně tak jako na zvolené odrůdě (Karges et al. 2022). Jedním z velice důležitých produkčních ukazatelů u sóji, který je též sledován při odrudovém šlechtění, je, již výše zmíněná, výška nasazení prvního lusu na stonku sóji od země. Tento parametr spolu s vlhkostí semen při sklizni, hraje zásadní roli při sklizni sóji a odvíjí se od něho též výše výsledných sklizňových ztrát (Procházka et al. 2023).

3.7 Možnosti zvýšení produkce u sóji v podmínkách evropského pěstování

Zemědělství je jedno z mála odvětví, které je značně závislé na meteorologických a klimatických podmínkách. Vliv těchto podmínek na zemědělskou produkci může mít zásadní pozitivní, ale i negativní aspekt (Staniak et al. 2021). Produkční ukazatele u sóji jsou dle výše uvedeného, ovlivňovány, jak vnějšími abiotickými a biotickými faktory, tak aplikovanou pěstební technologií s důrazem na výběr vhodné odrůdy do daných podmínek pěstování. Jelikož

jsou klimatické podmínky oblastí střední a severní Evropy považovány za značně protichůdné ve vztahu k pěstebním potřebám sóji (Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Karges et al. 2022), je účelné tyto stresové faktory působící v průběhu vegetace na rostliny sóji, co nejvíce eliminovat pomocí vhodně a účelně zvolených pěstebních a agrotechnických zásahů. Ty mohou ústit alespoň v částečnou stabilizaci výnosů sóji v těchto oblastech (Zimmer et al. 2016; Staniak et al. 2021). Mezi tyto zásahy, které mohou do určité míry působit na konečný výnos, a které lze během zakládání či ošetřování porostů ovlivnit, patří z pohledu sóji zejména inokulace osiva (Zimmer et al. 2016), úprava termínu setí, úprava meziřádkové vzdálenosti (Liu et al. 2008; Berger-Doyle et al. 2014) a použití závlahových systémů (Pedersen & Edlefsen 2013; Berger-Doyle et al. 2014; Karges et al. 2022). U těchto zásahů lze zvláště v podmínkách ekologického hospodaření, spatřovat značnou přidanou hodnotu vlivem omezených možností regulace biotických faktorů a rovněž také omezených možností výživy pěstovaných plodin (Toleikiene et al. 2021). Proto budou v následujících částech tyto zásahy rozebrány z hlediska možného vlivu na konečný výnos sóji v podmínkách evropského pěstování, ale i z pohledu jejich využití v podmínkách ekologického hospodaření v Evropě.

3.7.1 Inokulace osiva

Inokulace osiva sóji specifickými kmeny bakterií rodu *Bradyrhizobium japonicum* je dle výše uvedených informací (viz **Půdní organismy**) naprosto klíčovým opatřením ke stabilizaci a navyšování výnosů v podmínkách evropského pěstování. Z tohoto hlediska byla do současnosti provedena řada provozních pokusů, prokazujících pravdivost tohoto tvrzení (Zimmer et al. 2016; Kühling et al. 2018; Procházka et al. 2023).

Inokulaci těchto specifických kmenů bakterií u sóji lze provádět mnoha způsoby. Nejčastěji se lze setkat s přimícháváním těchto inokulantů neboli spor těchto bakterií přímo k osivu těsně před jeho vysetím. Zde je však možné pozorovat určité riziko mechanického poškození semen vlivem technické realizace těchto způsobů inokulace, které mohou vést až ke snížení klíčivosti semen, nehledě na značnou technickou a pracovní náročnost těchto systémů inokulace. V poslední době se tedy prosazují spíše systémy založené na implementaci různých typů aplikátorů, které buď aplikují inokulanty přímo na povrch půdy před setím sóji, nejčastěji těsně před podzimním zpracováním půdy s následným výsevem meziplodin, které působí jako hostitelské rostliny bakterií do doby založení porostu sóji. Nebo v poslední době nejvíce řešeným způsobem aplikace inokulantů, je jejich aplikace přímo při setí sóji, realizovaná za pomoci aplikátorů, kterými je osazen přímo secí stroj. Inokulant, nejčastěji v kapalně formě, je při tomto způsobu aplikace ukládán, buď přímo do výsevní rýhy k osivu, nebo je aplikován samostatně, nejčastěji několik centimetrů od osiva, kdy je stimulován růst kořenů klíčících rostlin sóji. V případě této oddělené aplikace je možné použít směs inokulantů a rostlinných hnojiv, kde je tímto zvýšena stimulace růstu kořenů ve směru aplikovaného inokulantu. Takto stimulované rostliny mají díky bohatšímu kořenovému systému, zejména na začátku vegetace, vyšší potenciál ke zvládnutí abiotických stresů, jakými může být sucho vyskytující se v evropských podmínkách na začátku vegetace sóji (Procházka et al. 2023).

Z hlediska pozitivního vlivu inokulačních zásahů ve vztahu ke konečné produkci sóji, je důležité zmínit určité interakce, které se mohou na těchto benefitech primárně podílet. Efektivita a účinnost provedené inokulace v podmínkách evropského pěstování závisí primárně

na výběru konkrétních inokulantů, resp. kmenů bakterií, které jsou schopny i za relativně chladnějších podmínek pěstování, jaké jsou v řadě oblastí severní a střední Evropy, efektivně navázat symbiotické vztahy a jsou schopny dostatečné produkce hlízek na kořenech sóji (Kadiata et al. 2012; Zimmer et al. 2016). Z hlediska inokulace je tedy zkoumána vhodnost jednotlivých inokulačních přípravků, ve vztahu k efektivní tvorbě hlízek a symbiotické fixaci v chladných podmínkách pěstování sóji (Zhang et al. 2003; Kadiata et al. 2012). Dále je účelné zmínit, že každá z pěstovaných odrůd sóji, může vykazovat specifickou reakci ve vztahu ke specifickým kmenům bakterií, resp. přípravkům. Je tedy také sledována interakce daných odrůd, resp. genotypů, se specifickými kmeny bakterií, za účelem maximalizace možných benefitů z inokulačních opatření, ve vztahu k úrovni tvorby hlízek na kořenech sóji a konečnou výší a kvalitou produkce (Zimmer et al. 2016; Kühling et al. 2018; Procházka et al. 2023). Tyto kladné dopady inokulačních opatření na produkci lze sledovat zejména z pohledu zvýšené tvorby hlízek na kořenech sóji (Messmer et al. 2012; Zimmer et al. 2016; Kühling et al. 2018), která se následně výrazně promítá do konečného výnosu semen, zvýšení bílkovinné složky semen, a tedy i zvýšení konečného výnosu hrubé bílkoviny na jednotku plochy (Zimmer et al. 2016).

Tyto benefity inokulace ve vztahu k produkci, interpretuje řada studií (Appunu et al. 2008; Žák et al. 2014; Zimmer et al. 2016; Kühling et al. 2018; Procházka et al. 2023), kde vlivem inokulace osiva sóji bylo v podmínkách střední Evropy možné dosáhnout zvýšení výnosů semen sóji až o 57 %, zvýšení bílkovinné složky semen v průměru u všech zkoušených odrůd o 26 % a zvýšení výnosů hrubé bílkoviny na jednotku plochy dokonce až o 99 % v porovnání s neinokulovaným osivem sóji (Zimmer et al. 2016). Jiná studie uvádí podobné benefity navýšení výnosů hrubé bílkoviny a bílkovinné složky semen ve vztahu k inokulaci, avšak také uvádí, že výnos semen nebyl po aplikaci inokulačních opatření prokazatelně vyšší. Tento minimální přínos ve vztahu k výnosu semen v této provedené studii, je však pravděpodobně vysvětlitelný vyšší zásobou minerálního dusíku v půdě u inokulované i neinokulované varianty, kde vyšší symbiotická fixace v rámci inokulované varianty, pravděpodobně nebyla zásadním benefitem a dostupný minerální dusík v půdě plně dostatočoval k pokrytí potřeby rostlin v rámci neinokulované varianty (Kühling et al. 2018).

Pozitivní vliv inokulace je však do určité míry nejvíce spatřován v systémech ekologického hospodaření, které využívají efektu symbiotické fixace dusíku u leguminóz, jako jednoho z hlavních dostupných řešení nedostatku dusíku v půdách v rámci těchto systémů hospodaření (Herridge & Rose 2000). Inokulace osiva sóji v těchto systémech spolu s interakcí dalších agrotechnických opatření, je tedy naprosto klíčové opatření vedoucí k úspěšné tvorbě kořenových hlízek a dostatečné a efektivní fixaci dusíku, který navyšuje výnosy a kvalitu produkce sóji, ale i ostatních plodin v rámci osevních sledů, a do jisté míry tak ovlivňuje konkurenceschopnost těchto systémů hospodaření, nejen v podmínkách evropského zemědělství (Toleikiene et al. 2021).

Z výše uvedených poznatků je zřejmé, že inokulace osiva sóji v podmínkách evropského pěstování má své jednoznačné opodstatnění ve vztahu k možným pozitivním dopadům na konečnou produkci sóji (Zimmer et al. 2016; Kühling et al. 2018). Z tohoto pohledu je též zásadní zaměřit se na výběr vhodného inokulačního přípravku (Kadiata et al. 2012), stejně tak jako na vhodný způsob jeho aplikace a tento přípravek následně kombinovat s vhodně interagující odrůdou sóji, pro dosažení maximálního efektu, jenž možnosti inokulace

v evropských podmínkách v současné době nabízejí (Zimmer et al. 2016; Procházka et al. 2023).

3.7.2 Termín setí

Termín setí je jedním z agrotechnických opatření, kterým lze výrazně ovlivnit vzcházení ve vztahu k podmínkám stanoviště při výsevu, ale také lze skrze něj, regulovat délku vegetace sóji a zásadním způsobem určovat průběh růstových fází u sóji, a tím v konečném důsledku ovlivnit výnos či kvalitu sklizené produkce semen (Serafin-Andrzejewska et al. 2021). Je tedy jedním z důležitých faktorů, který ovlivňuje celkový zisk z produkce sóji (Cox et al. 2018), a často je také nejvíce řešeným v otázce stabilizace výnosů sóji v severněji situovaných oblastech pěstování (De Bruin & Pedersen 2008; Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Toleikiene et al. 2021).

Problematika termínu setí u sóji, jak již bylo zmíněno v předchozích částech této práce, vychází zejména z teploty půdy v hloubce setí, ale i dalších stanovištních podmínek, jako je například vlhkost půdy, které spolu určují vhodnost dané doby pro setí sóji (Kane et al. 1997). Vztah teploty a setí se však neudává pouze v kontrastu s půdou, nýbrž je důležitý i ve vztahu k teplotě vzduchu, zejména v jarním období, kdy se lze v podmínkách Evropy často setkat s náhlými poklesy teplot až pod bod mrazu, zejména v nočních hodinách. Ačkoliv by tedy byla dosažena teplota půdy, která přes den dosahuje hodnot optima pro setí sóji, je zde stále uvažováno riziko těchto častých jarních mrazů, které by mohly případně nižšími teplotami půdy, než je optimum, poškodit vysetá semena sóji a potlačit jejich klíčivost (Fordoński et al. 2023). Nicméně na základě provedených pokusů bylo prokázáno, že dlouhodobé působení nižších teplot na semena sóji, nesnížilo zásadním způsobem jejich klíčivost, ale do jisté míry pouze opozdilo procesy klíčení a vzcházení sóji (Gass et al. 1996; Staniak et al. 2021). A dále nemělo ani zásadní vliv na snížení kvality a výnosu produkce (Staniak et al. 2021). Tato odolnost sóji proti nižším teplotám ze začátku vegetace, je však především odrůdově specifická, a je tedy z tohoto hlediska nezbytné orientovat se na odrůdy, které snášejí takovéto podmínky pěstování, aby bylo možné urychlit jejich výsev v průběhu jarního období (Kane et al. 1997; Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Staniak et al. 2021). Tímto dřívějším výsevem, který se však musí provádět i ve vztahu k ostatním půdním podmínkám, lze následně do značné míry prodloužit období vegetace sóji (Serafin-Andrzejewska et al. 2021). Tímto je i sníženo riziko opožděného zrání, které je často důsledkem pozdních výsevů, kde se při opožděném zrání semen, nemusí tyto semena stihnout sklídit před příchodem prvních podzimních mrazů, které jsou v těchto případech častou příčinou ztrát na výnosech (Staniak et al. 2021; Staton & Hellevang 2023).

Řada autorů se tedy shoduje na brzkém termínu setí sóji, jako na klíčovém agrotechnickém zásahu k dosahování vysokých a stabilních výnosů. Dřívější termín setí byl totiž v řadě případů prokazatelným faktorem, který navyšoval výnos semen, primárně díky vyššímu počtu semen na rostlinách sóji (De Bruin & Pedersen 2008; Borowska & Prusiński 2021; Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Staniak et al. 2021). Nehledě pak na zvýšení podílu oleje, kyseliny olejové a cukerné složky v semenech dříve vyseté sóji (Bellaloui et al. 2015). Z hlediska teplot optimálních pro setí je obvyklý termín setí sóji v oblastech střední a severní části Evropy, typický spíše pro pozdní jarní období, tedy převážně pro období května

(Borowska & Prusiński 2021). V řadě provozních pokusů se však většina autorů shodla, že posun tohoto termínu, napříč nízkým teplotám v jarním období, o jeden až dva týdny dříve, nemá výrazný negativní dopad na porosty sóji, ale ve většině případů tento posun termínu setí znamenal právě výše zmíněný efekt navýšení výnosu a kvality sklizených semen (De Bruin & Pedersen 2008; Borowska & Prusiński 2021; Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Staniak et al. 2021), kde bylo navíc zajištěno bezpečné zrání semen a dosažení sklizňové zralosti v optimálním termínu sklizně (Toleikiene et al. 2021).

Termín setí je tedy z kalendářního hlediska ve většině evropských států, vhodné situovat spíše do druhé dekády měsíce dubna až do první dekády měsíce května (Žák et al. 2014; Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Borowska & Prusiński 2021; Procházka et al. 2023). Dle některých autorů, je napříč tomu vhodné z hlediska pozdních jarních mrazů, objevujících se na přelomu dubna a května v některých středoevropských státech, situovat termín setí sóji až do druhé dekády měsíce května (Fordoński et al. 2023).

Pozdní výsevy v evropských podmínkách jsou mimo výrazné zkrácení vegetačního období u sóji, též rizikové z hlediska nedostatku vody pro klíčení semen v těchto pozdních jarních termínech (Borowska & Prusiński 2021; Lamichhane et al. 2020), obvykle začínajících na přelomu května až června (Toleikiene et al. 2021). Nedostatek vody v tomto období může výrazně narušit procesy klíčení a v konečném důsledku způsobit nevyrovnané vzcházení a mezerovité porosty vlivem nedostatku vláhy, které navíc díky výrazně zkrácené vegetaci, nebudou schopny poskytovat odpovídající výnos semen (Hu & Wiatrak 2012). Na druhou stranu i přes značné dopady pozdních výsevů sóji na snížení výnosu semen, bylo v řadě případů pozorováno zvýšení bílkovinné složky spolu s podílem kyseliny linolenové v semenech sóji, která byla vyseta v průběhu měsíce června. Nicméně tyto změny mohly být též prisuzovány značné variabilitě klimatických faktorů daného ročníku, zejména pak suchu a vysokým teplotám (Bellaloui et al. 2015). Pozdější výsevy zejména v druhé polovině měsíce května, však také našly své opodstatnění z pohledu ekologického způsobu hospodaření. Na základě provedených studií je možné konstatovat, že výsev provedený v druhé polovině měsíce května má zásadní pozitivní vztah k mechanickým metodám likvidace plevelů v rámci ekologického hospodaření. Těmito pozdějšími výsevy sóji bylo možné v těchto systémech hospodaření docílit účinnější regulace plevelného spektra, jelikož bylo možné zasáhnout i druhy, které by se za normálních podmínek brzkých výsevů prosadili výrazněji až ve vzešlých porostech sóji, kde by již nebyly tyto regulační zásahy dostatečně účinné (Teasdale et al. 2018).

V souhrnu je tedy možné říci, že dřívější výsevy sóji v průběhu druhé poloviny měsíce dubna až začátku měsíce května, mají své jednoznačné opodstatnění v podmínkách chladnějších evropských států, kde za předpokladu splnění ostatních půdních podmínek, jako je například vlhkost půdy, které umožní fyzicky provést tento brzký jarní výsev a za předpokladu správného výběru vhodných odrůd sóji, dostatečně přizpůsobených těmto chladnějším podmínkám brzkých jarních výsevů, lze dosáhnout příznivých efektů ve formě navýšení výnosu a kvality sklizené produkce u sóji (Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Staniak et al. 2021).

3.7.3 Meziřádková vzdálenost

Úprava meziřádkové vzdálenosti při zakládání porostů sóji je dalším z faktorů, který může do jisté míry ovlivnit konkurenceschopnost této plodiny v nových oblastech pěstování z hlediska výnosu a kvality produkce (Toleikiene et al. 2021). V obvyklých systémech pěstování sóji se, dle již výše uvedeného, setkáváme nejčastěji s výsevem do užších řádků na vzdálenost 12,5-25 cm, jakožto s obvyklou vzdáleností výsevu v rámci většiny využívaných secích strojů. Nejen z příznivých environmentálních hledisek, primárně ve vztahu k půdě, se však v poslední době častěji přechází k systémům redukovaného zpracování půdy, které pracují na úrovni širších meziřádkových vzdáleností. Obvykle se zde jedná o vzdálenosti 37,5, 45 či 50 cm. Tyto vzdálenosti jsou dané jednak konstrukčním řešením strojů užívaných při této technologii, a jednak jsou často nutné i z hlediska uplatnitelnosti těchto systémů, ve vztahu k množství rostlinných zbytků na povrchu půdy či k prováděné regulaci plevelných rostlin (Procházka et al. 2023).

Vliv na regulaci plevelů je jedním z pohledů, který lze vnímat při úpravě meziřádkové vzdálenosti u sóji. Tento vliv je důležité vztahovat zejména k systémům ekologického hospodaření, kde jsou možnosti regulace plevelného spektra značně omezené (Teasdale et al. 2018; De Notaris et al. 2019). V užších řádcích u sóji je možné díky hustším a dřívěji zapojeným porostům očekávat vliv na rostoucí plevele, které jsou vlivem zastínění v těchto porostech značně potlačeny v růstu a v konkurenci vůči rostlinám sóji (Board et al. 1996). Naproti tomu tyto výsevy neskýtají většinou možnost tyto plevele v pozdějších fázích růstu efektivně regulovat. Širší meziřádkové vzdálenosti jsou tak většinou příznivé z hlediska možné mechanické, ale i chemické regulace plevelných rostlin i v průběhu pozdějších fází vegetace u sóji (Berger-Doyle et al. 2014), kde mechanická cesta likvidace plevelů nemá jen příznivý efekt ve vztahu k citlivosti sóji na většinu herbicidních přípravků (Procházka et al. 2023), ale skýtá také možnost účinné regulace plevelů právě v systémech ekologické produkce, kde jsou chemické cesty regulace plevelného spektra značně omezené (Teasdale et al. 2018; De Notaris et al. 2019).

Z pohledu vlivu meziřádkové vzdálenosti na výnos a kvalitu semen sóji je důležité vnímat tyto vlivy primárně ve skrze rozdílnou dostupnost živin, vláhy, ale i světla v rámci těchto rozdílných šíří výsevu (Holshouser & Whittaker 2002). Je tedy udáváno, že výsevy na širší vzdálenosti ústí obvykle v méně zapojené a řidší porosty, avšak rostliny v nich jsou více rozvětvené a mohutnějšího vzrůstu vlivem snížené konkurence mezi jedinci o dostupné abiotické faktory, což ústí v růst mnohem produktivnějších jedinců oproti užším výsevům. Ty většinou skýtají mnohem méně produktivnější rostliny, avšak o poznání hustší porosty (Toleikiene et al. 2021), které jsou vlivem snížené dostupnosti světla obvykle příznačně celkově vyššími rostlinami (Sobko et al. 2019). Efekt meziřádkové vzdálenosti na konečný výnos a kvalitu semen sóji byl zkoumán autory již v řadě případů. V jednom z těchto případů neměla vzdálenost řádků sóji při výsevu významný vliv na výnos, velikost ani zralost semen. Byla zde však potvrzena výše zmíněná interakce mezi rostlinami sóji a dostupností abiotických faktorů, kde rostliny v užších výsevech poskytovaly o poznání hustší, vyšší a zapojenější porosty, které velkou měrou ovlivňovali růst plevelných rostlin ve spodních patrech (Berger-Doyle et al. 2014).

Tento vliv na výnos, však může potenciálně stoupat, pokud dostupnost abiotických faktorů, zejména pak živin, bude značně omezena. Tato skutečnost je příznačná pro systémy ekologického zemědělství, kde je symbiotická fixace dusíku, jedním z hlavních zdrojů minerálního dusíku v půdě (Herridge & Rose 2000). V návaznosti na toto tvrzení byl v jedné ze studií zkoumán též vliv interakce meziřádkové vzdálenosti a metod inokulace osiva sóji na konečný výnos a kvalitu semen v podmínkách ekologického hospodaření v Evropě. Bylo zjištěno, že meziřádková vzdálenost, stejně jako v předchozích pracích, neměla výrazný vliv na konečný výnos sóji (Toleikiene et al. 2021), což do jisté míry svědčí o značné kompenzační schopnosti této rostliny (Masino et al. 2018; Procházka et al. 2023). Naproti tomu však interakce inokulačních opatření spolu s meziřádkovou vzdáleností měla zásadní vliv na produkci sóji v rámci této studie. Inokulovaná semena sóji vysetá v širších řádcích na 50 cm poskytla prokazatelně o 35 % více rostlinné biomasy, o 29 % více lusků na rostlinu a v konečném důsledku i o 36 % větší výnos z jedné rostliny, než tomu bylo u užších řádků (Toleikiene et al. 2021). Tento příznivý vliv širších řádků na výnos sóji v nových evropských oblastech pěstování byl potvrzen i při pokusech v Dánsku, kde byly širší řádky stanoveny jako optimální řešení pro produkci sóji v těchto oblastech pěstování, podpořeno faktem umožněné mechanické regulace plevelů v průběhu vegetace sóji (Pedersen & Edlefsen 2013). Naproti tomu však bylo zjištěno, že užší řádky mohou v některých letech přinést značné zvýšení výnosu semen, avšak na úkor kvalitativních parametrů (Toleikiene et al. 2021).

Z výše uvedených studií tedy vyplývá, že výběr meziřádkové vzdálenosti ve vztahu k navýšení výnosu je spojován hlavně se sníženou konkurencí plevelů, z pohledu možných omezení jejich růstu, stejně tak jako se zvýšenou dostupností živin, vláhy a světla pro rostliny sóji. Meziřádková vzdálenost neměla ve výše uvedených případech zásadní vliv na výnos semen sóji, což svědčí o značné kompenzační schopnosti této plodiny. Avšak interakce s dalšími opatřeními, jako je například inokulace osiva, může do značné míry příznivě ovlivnit konečný výnos sóji v nových pěstebních oblastech, a zajistit tak možnou výnosovou stabilitu této plodiny z hlediska introdukce do nových oblastí pěstování v rámci Evropy (Toleikiene et al. 2021).

3.7.4 Závlaha

Nedostatek vláhy, zejména v období kvetení až nalévání semen, způsobuje u sóji výrazné potlačení těchto vývojových fází. Zejména ve střední Evropě, kde jsou čím dál častěji měsíce červen a červenec specifické svými velice teplými a suchými průběhy, existuje riziko narušení fází kvetení a zrání u sóji, které většinově připadají svým trváním, právě na tyto kalendářní měsíce (Karges et al. 2022). Z důvodu tohoto rizika vodního stresu u sóji může docházet až k výrazným ztrátám na výnosech v těchto oblastech (Karam et al. 2005; Borowska & Prusiński 2021).

Je tedy zřejmé, že účinné systémy závlah kompenzující tento deficit, mohou mít značný vliv na výši, ale i kvalitu konečné produkce této plodiny (Karam et al. 2005), zejména pak na lehčích půdách v rámci některých států severní Evropy, které trpí dlouhodobým nedostatkem dostupné vláhy pro pěstované plodiny (Pedersen & Edlefsen 2013). Taktéž vliv závlah, stejně jako vliv ostatních výše zmíněných opatření na výnosové ukazatele u sóji, byl zkoumán v řadě pokusů. V kontextu s výše uvedeným Berger-Doyle et al. (2014) uvádí, že vlivem aplikace

závlah byl u sóji zvýšen výnos v průměru o více než 26 %, kde zavlažování rostlin sóji prodloužilo období nalévání semen v průměru o dva až pět dní a též zvětšilo průměrnou výšku rostlin sóji. Pedersen & Edlefsen (2013) při pokusech se sójou v Dánsku zaznamenali zvýšení výnosu u zavlažovaných ploch sóji až o 50 %, v porovnání s nezavlažovanou variantou. Montoya et al. (2017) též prokázali pozitivní efekt zavlažování sóji během suchých ročníků a stanovili jej jako klíčový efekt k navyšování výnosů a konkurenceschopnosti této plodiny. Bajaj et al. (2008) uvádí na základě svých pokusů na území Arkansasu 83% a 17% zvýšení výnosu, resp. výšky rostlin sóji, které byly zavlažovány. Pozitivní vliv závlah prokázali, stejně jako výše zmínění autoři, i Karges et al. (2022), kteří v oblastech severovýchodu Německa pozorovali průměrný 41% nárůst výnosu zavlažovaných rostlin sóji, který zejména v letech se značně suchým průběhem, výrazně ovlivnil konečné hrubé zisky z produkce sóji.

Vodní stres u sóji je dále spojován se snížením kvalitativních parametrů sójových semen, zejména bílkovinného podílu (Rotundo & Westgate 2009). Karges et al. (2022) ale uvedli, že efekt zvýšení bílkovinné složky semen vlivem závlah nebyl dostatečně prokazatelný a silně závisel na průběhu konkrétního ročníku a pěstované odrůdě, avšak ve výrazně suchých ročnicích lze všeobecně předpokládat relativní navýšení výnosu bílkoviny na jednotku plochy při použití závlahových systémů v rámci produkce sóji.

Uplatnění závlahových opatření u sóji tedy z výše uvedeného, silně závisí na průběhu daných ročníků, kde při výrazně suchých a teplotně extrémních průbězích počasí, zejména v průběhu generativních fází u sóji, lze očekávat výrazný pozitivní efekt ve skrze navýšení výnosů hrubé bílkoviny a semen sóji. Uplatnění a udržitelnost těchto opatření, však silně závisí na lokální dostupnosti technických řešení závlah a neméně také na blízké dostupnosti vodních zdrojů vhodných pro použití závlah (Montoya et al. 2021; Karges et al. 2022). Při naplnění těchto požadavků, však závlahová opatření u sóji přinášejí určité možnosti stabilní a vysoké produkce, ve vztahu k introdukci této plodiny do oblastí severní a střední Evropy (Karges et al. 2022).

3.8 Odrůdové možnosti sóji pro oblasti Evropy

Výběr vhodné odrůdy je jedním z nejdůležitějších opatření v rámci pěstební technologie sóji (Recknagel et al. 2021). Zejména pak je toto opatření důležité v oblastech, které jsou vlivem svých nepříznivých klimatických i jiných podmínek pro pěstební využití sóji relativně méně vhodné (Wenda-Piesik & Kazek 2016; Zhang et al. 2020; Hennessy et al. 2022). Výběr odpovídající odrůdy sóji vytváří v tomto směru příznivé podmínky pro dosahování vysokých a stabilních výnosů semen odpovídající kvality (Recknagel et al. 2021) a má v těchto oblastech též jistý vliv na výši vynaložených nákladů na produkci sóji (Hennessy et al. 2022). Optimální výběr odrůdy sóji je závislý především na nadmořské výšce a místních podmínkách pěstování dané oblasti, ale také je odvislý od konečného využití produkce, tedy zda se jedná o sójovou produkci pro potravinářské či jiné využití (Recknagel et al. 2021; Karges et al. 2022). Výběr odrůdy u sóji je tedy důležité důkladně zvážit, zvláště pak v nových oblastech pěstování sóji, jako jsou státy severní a střední Evropy, kde výběr vhodných odrůd zásadním způsobem přispívá k úspěšnosti introdukce této plodiny do těchto oblastí (Fogelberg & Recknagel 2017).

3.8.1 Podmínky ovlivňující introdukci odrůd sóji do evropských oblastí

Již z výše uvedeného je patrné, že sója je plodina relativně náročná na podmínky jejího pěstování, hlavně však z hlediska teploty, délky dne (Zhang et al. 2020) a dostupnosti vláhy (Hartman et al. 2011; Mandić et al. 2017). U sóji jako typické krátkodenní plodiny je důležitou podmínkou jejího růstu striktní střídání krátké světelné periody s periodou tmy, tedy dne a noci (Zhang et al. 2020). Této podmínky je v oblastech střední a severní Evropy během vegetace sóji téměř nemožné dosáhnout, protože tyto oblasti se vlivem své polohy na zemském povrchu vyznačují relativně dlouhými světelnými dny, které negativně působí na růst a vývoj rostlin sóji (Lazauskas et al. 2012; Hennessy et al. 2022). Nejen z hlediska světla, ale i z hlediska teploty již bylo zmíněno, že sója jako teplomilná plodina vyžaduje v období vegetace relativně vyšší teploty (Zhang et al. 2020, Staniak et al. 2021), které jsou zejména ze začátku vegetačního roku v evropských zemích do jisté míry nedostačující požadavkům rostlin sóji (Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Hennessy et al. 2022). Zejména tedy teplota a světlo jsou zásadní faktory z hlediska šlechtění a výběru odrůd sóji do těchto oblastí, jelikož do značné míry ovlivňují nástup vegetačních fází u sóji, hlavně pak nástup procesů kvetení a tvorby semen. Míra citlivosti či tolerance rostlin sóji vůči těmto vlivům je následně klíčová pro úspěšnou a kvalitní produkci semen sóji v těchto méně příznivých oblastech (Zhang et al. 2020).

Bylo zjištěno, že citlivost rostlin sóji na délku dne je převážně geneticky řízena. Na tomto genetickém vlivu byl zjištěn podíl 11 genů a jejich lokusů v rámci genomu sóji, které jsou většinou známy jako „série genů E“ (Jiang et al. 2014; Kurasch et al. 2017). V rámci rozdílných odrůd sóji je následně přítomna různá variabilita citlivosti vůči délce dne (Kurasch et al. 2017; Yang et al. 2019; Zhang et al. 2020) a teplotám za vegetaci (Jia et al. 2014; Kurasch et al. 2017; Zhang et al. 2020). Šlechtění sóji ve vztahu k této citlivosti tedy ústí v produkci odrůd, které jsou uplatnitelné v různých podmínkách a oblastech pěstování, severní Evropou počínaje a tropickými oblastmi konče (Nendel et al. 2023). U odrůd šlechtěných do oblastí s dlouhými světelnými dny byla vlivem genetických mutací v rámci šlechtitelských procesů potlačena citlivost vůči délce dne (Jia et al. 2014), a tyto odrůdy se tak staly potenciálně vhodné i do těchto oblastí pěstování (Wang et al. 2015; Recknagel et al. 2021; Nendel et al. 2023). Tyto oblasti se dle Recknagela et al. (2021) nacházejí převážně nad úrovní 45° severní šířky, kam lze zahrnout převážnou část evropských zemí, a zejména pak části severní a střední Evropy. Spolu s ovlivněním citlivosti na délku dne byla u řady těchto odrůd též ovlivněna rychlost růstu a vývoje vzhledem k dosažení fyziologické zralosti, a tedy zkrácena doba vegetace sóji (Jia et al. 2014). Jelikož jsou oblasti severní a střední Evropy příznačné svým krátkým vegetačním obdobím, jsou odrůdy, jež potenciálně rychleji dosahují své fyziologické zralosti, velice vhodné do těchto oblastí vzhledem k tomu, že je možné uskutečnit jejich sklizeň v optimálním termínu, při kterém rostliny těchto odrůd sóji bezpečně dozrávají (Recknagel et al. 2021). Různé odrůdy sóji, se tedy vyznačují různě dlouhou dobou, při které tyto rostliny sóji začínají kvést a dozrávat, což zásadním způsobem ovlivňuje pěstitelské uplatnění těchto odrůd v oblastech s rozdílnou nadmořskou výškou a s rozdílnými podmínkami pěstování (Cober et al. 1996; Wang et al. 2015).

3.8.2 Klasifikační systémy odrůd sóji

Primárně tedy z důvodu kategorizace odrůd do vhodných oblastí jejich pěstování vznikaly postupem času klasifikační systémy odrůd sóji, které seřadili dostupné odrůdy sóji do skupin dle stejných či podobných nároků na délku dne, teplotní a vláhový režim či délku vegetace (Zhang et al. 2020; Recknagel et al. 2021). V rámci těchto systémů je asi dosud nejvíce užívaný ten kanadsko-americký, jenž dělí odrůdy sóji do třinácti skupin ranosti (Song et al. 2019; Zhang et al. 2020), kde mezi jednotlivými skupinami je uváděn rozdíl v délce vegetace rostlin sóji od deseti do patnácti dní (Caldwell et al. 1973 cited by Song et al. 2019). Tyto skupiny jsou zapisovány pomocí posloupnosti římských číslic a jsou symbolizovány jako skupiny „000“ až „X“ v pořadí od těch nejranějších po ty nejpozději dozrávající (Caldwell et al. 1973 cited by Zhang et al. 2020). V rámci tohoto systému lze z hlediska introdukce odrůd sóji do podmínek severních částí Evropy za vhodné skupiny odrůd považovat ty, s označením „000“, „00“ a „0“ (Recknagel et al. 2021; Hennessy et al. 2022). Mimo tyto skupiny byla v nedávné době ustavena ještě skupina ranějších odrůd s označením „0000“, které se vyznačovali kratší dobou vegetace a dřívějším dozráváním v chladných podmínkách pěstování než odrůdy skupiny „000“ (Jia et al. 2014). Tyto čtyři odrůdové skupiny ranosti byly na základě výzkumu kritické fotoperiody u jednotlivých odrůd sóji, která ovlivňuje jejich procesy kvetení a konečného zrání semen, vyhodnoceny jako méně citlivé k délce dne (Yang et al. 2019), a tedy stanoveny jako vhodné k produkčnímu využití v severoevropských a středoevropských podmínkách pěstování sóji. Tyto odrůdy skupin „0000“ až „0“ jsou považovány za nejvíce perspektivní z hlediska pěstebního uplatnění sóji ve státech, kde je výrazně zkráceno období vegetace, a které se vyznačují relativně chladnějšími podmínkami v průběhu vegetačního roku (Recknagel et al. 2021; Hennessy et al. 2022). Avšak z hlediska výše výnosů a jejich stability je důležité zmínit, že u těchto odrůdových skupin je v důsledku jejich značné tolerance k horším pěstebním podmínkám, do jisté míry jejich značná výnosová stabilita „vykoupena“ jejich často velice nízkými výnosy semen (Recknagel et al. 2021). Tato skutečnost hraje významnou roli při rozhodování o rentabilitě pěstování sóji v oblastech, jež jsou méně pěstitelsky příznivé pro produkční využití této plodiny (Wenda-Piesik & Kazek 2016; Karges et al. 2022; Procházka et al. 2023). Tento vztah mezi délkou vegetace a vytvořenou produkcí, tak do jisté míry znevýhodňuje odrůdy ze skupiny „0000“, které ve většině případů na úkor své výnosové stability neposkytují výnosy v dostatečné výši a kvalitě (Recknagel et al. 2021). Proto se mezi nejběžněji pěstované odrůdy v těchto oblastech uvažují ty, ze skupin raností „000“ až „0“, kde však skupina „0“ je uvažována pro pěstování jen v nejteplejších oblastech střední Evropy (Recknagel et al. 2021; Hennessy et al. 2022; Procházka et al. 2023). Při úspěšném dosažení sklizně zde však dosahuje relativně vysokých výnosů semen s odpovídající kvalitou (Recknagel et al. 2021).

Protože tato kategorizace odrůd sóji do skupin raností je všeobecným a pouze orientačním ukazatelem rychlosti dosažení stavu zralosti, který je navíc uváděn převážně pro oblasti amerického kontinentu, je snaha účelně testovat odrůdy a tvořit seznamy vhodných odrůd v rámci jednotlivých států či oblastí pěstování sóji. Tyto seznamy v rámci evropských zemí většinou vynikají svou vyšší specializací, díky testování a hodnocení produkční stability daných odrůd sóji, které jsou pěstitelsky zkoušeny a hodnoceny přímo v rámci podmínek daného státu či oblasti pěstování (Fogelberg & Recknagel 2017; Recknagel et al. 2021). Tyto seznamy

vhodných či doporučených odrůd sóji jsou v rámci evropských zemí následně publikovány například ve státech jako je Švýcarsko (Vonlanthen et al. 2023), Česká republika (ÚKZÚZ 2023), Maďarsko (Nébih 2023), Polsko (COBORU 2023), Německo (Bundessortenamt 2023) či Rakousko (AGES 2023), kde každý stát je specifikován odlišnými podmínkami pro pěstování sóji, a tudíž jsou zde kladeny rozdílné nároky na výběr vhodných odrůd. Většinou je přesnost a specifičnost těchto seznamů dána též hodnocením vlivu teplot a dostupnosti srážek v oblastech daného státu na růst a vývoj daných odrůd sóji. Toto místní testování a hodnocení odrůd pomáhá při výběru vhodných odrůd do specifických podmínek daného státu, a je tedy nasnadě v případě introdukce sóji do těchto oblastí vybírat vhodné odrůdy právě na základě těchto seznamů. Pokud však nejsou tyto seznamy na území státu se zamýšlenou introdukcí sóji dostupné či publikované, je účelné orientovat se dle dostupných seznamů okolních států, které pěstují tuto plodinu v obdobných klimatických a pěstitelských podmínkách (Recknagel et al. 2021).

3.8.3 Sledované parametry odrůd sóji

Z pohledu šlechtění a výběru vhodných odrůd sóji do dané pěstební oblasti je určena řada parametrů a vlastností, na jejichž základě probíhá proces šlechtění a následný výběr doporučených či vhodných odrůd v rámci území daného státu či oblasti pěstování. Mezi tyto parametry a vlastnosti, které jsou především odrůdově specifické, je možné řadit délku vegetace neboli ranost (Houba et al. 2019; Recknagel et al. 2021; Procházka et al. 2023) a citlivost k délce fotoperiody (Houba et al. 2019; Yang et al. 2019; Recknagel et al. 2021), ale také odolnost rostlin sóji proti poléhání, odolnost proti chorobám, rychlost počátečního růstu, a samozřejmě také výši výnosu semen ve vztahu k ranosti a obsah kvalitativních složek v sójovém semeni, zejména pak dusíkatých látek, resp. bílkovin (Recknagel et al. 2021; Procházka et al. 2023). Od posledně jmenovaného kritéria se též odvíjí další velice důležitý parametr, a sice konečné využití sójové produkce, protože zejména z hlediska potravinářského využití sójového semene k výrobě bílkovinných produktů je ve většině případů důležité splnit kritérium minimálního obsahu sójové bílkoviny v semeni, který je z větší části silně závislý na vlastnostech zvolené odrůdy (Poysa et al. 2006; Zimmer 2016; Recknagel et al. 2021) a ve většině případů též negativně koreluje s konečným výnosem dané odrůdy sóji (Recknagel et al. 2021; Karges et al. 2022). V rámci hodnocení odrůd sóji se také často hodnotí výška a růstový habitus rostlin, hmotnost semen, barva semen či barva pupku semene, odolnost k praskání lusků a výška nasazení prvního luku (Procházka et al. 2023).

V rámci parametru ranosti či délky vegetace rostlin sóji, jsou zejména ve vztahu k evropským oblastem pěstování kladeny na pěstované odrůdy sóji vysoké požadavky z hlediska velice krátkého období vegetace a včasného dozrání semen sóji tak, aby bylo možné bezpečně zajistit mechanizovanou sklizeň, kterou je v těchto oblastech optimální situovat do období měsíce září a v nejhrošších případech též v rámci měsíce října (Recknagel et al. 2021; Procházka et al. 2023). Později totiž ve většině oblastí severní a též střední Evropy hrozí riziko brzkých podzimních mrazů, které inhibují u rostlin sóji procesy zrání, a dochází tak k významným ztrátám na výnosech (Serafin-Andrzejewska et al. 2021). Podzimní období v těchto oblastech, kdy sója ukončuje období svého zrání, je též charakteristické velice chladným a často i deštivým počasím, které též zvyšuje riziko negativního vlivu na konečnou produkci (Nendel et al. 2023). Časté deštivé počasí s následujícími periodami vysychání rostlin výrazně působí na snížení

pevnosti lusků, kde vlivem těchto opakujících se podmínek zrání postupem času dochází k rozpadání lusků, a může tak docházet ke ztrátám semen, a tedy konečné produkce rostlin sóji (Đorđević et al. 2021). Zkrácení období vegetace a urychlení procesů zrání v těchto oblastech, je tedy z hlediska procesu šlechtění vhodných odrůd sóji, naprosto klíčové pro zajištění bezpečného průběhu sklizně semen a omezení ztrát před i při následné sklizni této plodiny (Flohrová et al. 2001; Hennessy et al. 2022; Procházka et al. 2023). Toto je možné nejen díky šlechtění odrůd sóji, které jsou fotoperiodicky neutrální, a tedy nereagují výrazným způsobem na délku dne v těchto oblastech. Díky této jejich vlastnosti je možné urychlit nástup procesů tvorby květů, a ve výsledku tak urychlit procesy zrání v rámci vegetačního období. Tato vlastnost však přináší výše zmíněný nepříznivý efekt na výnos, kdy tyto odrůdy jsou sice schopny dříve a bezpečně dozrát, avšak za cenu nižší vytvořené rostlinné biomasy, čímž je v porovnání s pozdějšími odrůdami výrazně snížen výnos a často i kvalita semen (Recknagel et al. 2021). Při introdukci teplomilné a krátkodenní plodiny jako je sója, je tedy nutné též kalkulovat s těmito skutečnostmi, které je nutné konfrontovat s žádaným přínosem této plodiny v těchto oblastech pěstování (Fogelberg & Recknagel 2017; Karges et al. 2022).

Odolnost proti poléhání je důležitá sledovaná vlastnost u odrůd sóji, protože může zásadním způsobem ovlivňovat výši ztrát semen, a též průběh mechanizované sklizně. Často je tato vlastnost vztahována k výšce rostlin sóji, avšak v tomto případě nelze jednoznačně konstatovat, že vyšší rostliny, jež jsou náchylnější k poléhání, zásadním způsobem zvyšují konečné ztráty produkce semen. Toto tvrzení je často vysvětlitelné tím, že vyšší rostliny sóji též většinou skýtají vyšší nasazení spodních lusků, které jsou snadněji skliditelné při mechanizované sklizni než ty u nižších rostlin. Nižší rostliny jsou tak většinou méně náchylné k polehnutí, avšak jejich nejspodněji nasazené lusky často, zvláště při sklizni běžnými adaptéry, které nejsou schopny kopírovat povrch pozemku, nejsou efektivně sklizeny (Recknagel et al. 2021). V tomto ohledu je však snaha šlechtitelů zvyšovat u odrůd sóji nasazení nejspodnějších lusků, čímž jsou v případě mechanizované sklizně výrazným způsobem sníženy konečné ztráty produkce semen (Procházka et al. 2023).

Odolnost proti chorobám u sóji je vlastnost, která je vztahována zejména proti chorobě bílé plísňovitosti sóji neboli hlízence, která se však vyskytuje též na jiných plodinách, které mohou být se sójou pěstovány v rámci společných osevních postupů. Z tohoto hlediska, pokud není možné dodržet odstup mezi těmito hostitelskými rostlinami (Recknagel et al. 2021; Rostlinolékařský portál 2024), je velice účelné používat odrůdy šlechtěné na rezistenci vůči této chorobě. V případě sóji jsou dostupné odrůdy, které jsou velice úspěšně šlechtěny na částečnou rezistenci vůči této chorobě, a zejména v oblastech a v podmínkách, kde se tato choroba vyskytuje, je účelné tyto odrůdy vybírat a pěstovat (Dorrance & Novakowiski 2017; Recknagel et al. 2021).

Rychlý počáteční růst a vývoj je u rostlin sóji velice žádaná vlastnost, která je vítána nejen z hlediska brzkého zapojení porostu sóji. Tato skutečnost v porostech sóji výrazně snižuje riziko půdní eroze a konkurence plevelů rostlinám sóji, kde zejména pak v systémech ekologického hospodaření, skýtá značnou výhodu v potlačování plevelných rostlin, které jsou zastíněny v počátečních fázích svého růstu (Pedersen & Edlefsen 2013; Recknagel et al. 2021).

3.8.4 Perspektivní odrůdy do oblastí severní a střední Evropy

Z pohledu uvedených skutečností je tedy možné vybírat odrůdy sóji dle hodnocených parametrů, které určují vhodnost dané odrůdy k pěstování ve specifických podmínkách. Tyto podmínky, jak již bylo zmíněno, jsou na většině území států severní a střední Evropy, relativně nepříznivé pro pěstování sóji za účelem vysoké produkce kvalitních semen, avšak kombinací agrotechnických opatření a výběru vhodné odrůdy sóji do dané oblasti je možné dosahovat stabilních výnosů. Tato skutečnost je výsledkem mnoha provozních pokusů a studií, které prokázali úspěšnost pěstování různých odrůd sóji v podmínkách severní a střední Evropy. Vždy bylo v těchto případech vycházeno z účelného výběru raných odrůd, které byly fotoperiodicky neutrální v reakci na délku dne. Na základě těchto studií byla prokázána úspěšnost pěstování různých odrůd sóji na území Švédska (Fogelberg & Lagerberg Fogelberg 2013), jižních oblastí Dánska (Pedersen & Edlefsen 2013), Litvy (Tolėikiene et al. 2021), severního Německa (Karges et al. 2022), Polska (Wenda-Piesik & Kazek 2016; Serafin-Andrzejewska et al. 2021) či na území Rakouska (Mechtler & Hendler 2010). Tyto vhodné odrůdy s různým původem a vlastnostmi se v rámci států EU evidují ve společném katalogu odrůd druhů zemědělských plodin (European commission 2023). Z tohoto katalogu je účelné vybírat odrůdy sóji, jež jsou zároveň evidovány a zkoušeny pro území konkrétního státu, kde je zamýšleno tuto plodinu pěstovat. V případě výběru odrůd, které jsou potenciálně vhodné do dané evropské oblasti, avšak v rámci tohoto katalogu nejsou registrovány, je možné rozmnožovací materiál těchto odrůd dovážet i ze států mimo EU. Pro dovoz těchto odrůd jsou následně stanoveny určité podmínky, jež musí být splněny, aby bylo tento import do států EU možné provést. Je však důležité zmínit, že takto dovážené odrůdy primárně ze států pěstujících GM odrůdy sóji, přinášejí značné riziko zavlečení těchto geneticky modifikovaných jedinců, což může vyústit ve značné legislativní a spotřebitelské problémy (Recknagel et al. 2021).

V rámci výše zmíněných studií bylo zkoušeno v podmínkách severní a střední Evropy značné množství odrůd sóji, kde však jen několik málo z nich, vyšlo z těchto výsledků jako potenciálně vhodných.

V rámci pokusů ve Švédsku bylo testováno v polních podmínkách několik odrůd sóji ze skupiny ranosti „000.“ Mezi tyto odrůdy byly zařazeny dvě české odrůdy, a sice Bohemians a Silesia, dále rakouská odrůda Merlin a jako poslední, ukrajinská odrůda Annoushka. V rámci těchto pokusů bylo dosaženo průměrného výnosu v podmínkách konvenčního hospodaření mezi 1,5-2,4 tunami z hektaru v průměru všech odrůd a průměrného obsahu bílkovin a oleje v semeni 39-41 %, resp. 17 %. Zejména obsahy bílkovin v semenech byly na velmi vysoké, a tudíž vyhovující úrovni. Dále bylo konstatováno, že z důvodu časných podzimních mrazů v těchto oblastech pěstování je naprosto nezbytné, aby pěstované odrůdy sóji v těchto oblastech bezpečně dozrávali v průběhu září. V souhrnu těchto pokusů bylo řečeno, že všechny zmíněné odrůdy byly prokazatelně zralé a připraveny ke sklizni v průběhu října. Nejen tímto bylo možné konstatovat, že tyto odrůdy sóji jsou vhodné k pěstebnímu využití až do 59° severní zeměpisné šířky, za předpokladu výběru záhřevných a kvalitních půd v rámci těchto oblastí pěstování (Fogelberg & Lagerberg Fogelberg 2013).

Podobné výsledky přinesly též pokusy na území Dánska, které potvrdily úspěšnost pěstování raných odrůd sóji v oblastech jižních částí tohoto státu. Jako vybrané odrůdy zde byly použity převážně rakouské odrůdy, mezi něž patřila například odrůda Merlin, jako referenční

odruža, která má vysoký potenciál k pěstebnímu využití v těchto oblastech, dále byly použity dvě srbské odrůdy, a sice Gracia a Favorit, které měly též velice dobré výsledky v rámci provedených polních pokusů v těchto oblastech pěstování (Pedersen & Edlefsen 2013).

Pokusy s pěstováním sóji na území Litvy, které byly prováděny na úrovni 55° severní zeměpisné šířky, také prokázaly úspěšnou introdukci této plodiny nad její současnou hranici pěstování v Evropě. Tyto polní pokusy byly prováděny v systému ekologického hospodaření za účelem zjištění perspektivních alternativ pěstování sóji i v těchto systémech v rámci nových oblastí pěstování. V rámci těchto pokusů byla opět použita rakouská odrůda Merlin ze skupiny ranosti „000.“ Délka vegetace této odrůdy se v pozorovaných letech pohybovala v rozmezí 142 až 161 dní v závislosti na ročníku a termínu setí. V průběhu dvou let odrůda Merlin poskytla v tomto pokusu v ekologických podmínkách hospodaření průměrné výnosy 1345 kg z hektaru a 1477 kg z hektaru (Toleikiene et al. 2021). První zmíněný výnos semen byl téměř srovnatelný s průměrným výnosem sóji na území Polska v témže roce pěstování (Wenda-Piesik & Kazek 2016). V souhrnu tohoto pokusu autoři konstatovali, že za přispění vhodných agrotechnických zásahů je možné rané odrůdy sóji, jako je odrůda Merlin, úspěšně pěstovat i za jejich současnou severní hranici pěstování (Toleikiene et al. 2021).

Na území Polska byla též provedena řada odrůdových pokusů s pěstováním sóji v méně příznivých oblastech pěstování. V jednom z pokusů situovaného na území jihozápadu Polska, bylo prokázáno úspěšná produkce odrůd Merlin a Lissabon, kde druhá zmíněná odrůda dosahovala v chladných podmínkách dolního Slezska prokazatelně vyšších výnosů. Z tohoto pokusu vyplynula jednoznačná potřeba výběru odrůd, které lépe snášejí podmínky dlouhých a chladných dní v těchto oblastech pěstování (Serafin-Andrzejewska et al. 2021).

V jednom z dalších pokusů, který byl založen v severozápadní části polského státu, byla na úspěšnost pěstování v těchto oblastech testována řada velmi raných odrůd ze skupiny „000.“ Z těchto odrůd byla stanovena ukrajinská odrůda Layma, jakožto nejvíce odolná suchým podmínkám pěstování a v těchto podmínkách poskytla též nejvyšší výnosy ze všech testovaných odrůd. Mezi odrůdy s největšími vytvořenými semeny patřila švýcarská odrůda Gallec a maďarská odrůda Aldana, které byly též spolu s odrůdami Amarak a Merlin, dalšími velice výnosnými odrůdami na suchých a špatně zásobených půdách. Na kvalitnějších půdách byly jako nejvíce výnosné, stanoveny odrůdy Merlin, Amarak, Aldana, Mavka a Layma, které byly též stanoveny jakožto nejvíce rentabilní z hlediska výnosů a kvality semen v těchto oblastech pěstování (Wenda-Piesik & Kazek 2016).

Při pokusech na území Německa byla mimo úspěšnosti daných odrůd v chladných podmínkách pěstování, testována též úspěšnost inokulace různými kmeny bakterií. Z těchto výsledků byla zřejmá účinnost inokulačních opatření na výnos a kvalitu produkce sóji, kde zejména u odrůdy Protina byla prokázána úspěšnost jejího pěstování v interakci s inokulací a v této oblasti bylo tuto odrůdu možné vypěstovat za účelem výroby tofu. Obě zbylé odrůdy, tedy Merlin a Bohemians, poskytly při vhodné inokulaci velice dobré výnosy s odpovídající kvalitou semen, a byly tudíž vhodné ke krmnému zpracování (Zimmer et al. 2016).

V jednom z dalších pokusů v severní části Německa bylo ověřováno produkční využití a rentabilita odrůd ze skupiny raných odrůd sóji. Mezi tyto byly zařazeny odrůdy Merlin a Sultana, jakožto potenciální odrůdy ke krmným účelům a dále odrůda Protibus, jakožto zástupce potenciální odrůdy k potravinářskému zpracování. Obě zmíněné „krmné“ odrůdy dosahovaly v průměru vyšších a stabilnějších výnosů (okolo 2700 kg z hektaru) než

„potravinářská“ odrůda Protibus, která dosahovala průměrných výnosů okolo 1300 kg z hektaru, a byly tudíž vyhodnoceny jako vhodnější do těchto chladnějších oblastí pěstování. Ve výsledku tedy nebyla odrůda Protibus stanovena jako pěstitelsky uplatnitelná v těchto oblastech, zejména díky její vyšší citlivosti na nízké teploty, čímž v těchto podmínkách poskytovala velice nízké a nestabilní výnosy. Jako velice vhodná byla naopak stanovena odrůda Merlin, která je díky svému velice rychlému počátečnímu rozvoji uplatnitelná i v podmínkách hustě zaplevelených pozemků, kde dokáže již velice brzy vytvořit zapojený porost, a konkurovat tak rostlinám plevelů. Této vlastnosti je potenciálně možné využít zejména v systémech ekologické produkce. Obě odrůdy ke krmenému využití splnili díky svým výnosům a kvalitě semen požadované parametry, a bylo tak možné je k těmto účelům využít (Karges et al. 2022).

3.9 Introdukce sóji ve vztahu ke změně klimatu

Jedním z hlavních aspektů, který sehrává zásadní roli v myšlence introdukce tak perspektivní plodiny, jakou je sója, je možný vliv klimatické změny na všeobecně vnímanou zemědělskou produkci (Kühling et al. 2018; Guilpart et al. 2019; Nendel et al. 2023). Sója je, dle již dříve uvedených skutečností, výrazně závislá na působení abiotických, a stejně tak biotických faktorů, které významně ovlivňují její pěstební uplatnění v rámci nových, ale i stávajících pěstebních oblastí. V těchto oblastech je produkce zemědělských plodin z větší části ovlivňována právě místními klimatickými podmínkami, kde teplota, dopadající sluneční záření a dostupnost vody a živin jsou hlavními faktory, jenž tuto produkci zásadním způsobem ovlivňují. Z tohoto hlediska je nutné vnímat, že biologické procesy náležející do rostlinné zemědělské výroby jsou primárně postaveny na základním biologickém procesu, kterým je fotosyntéza. Tento proces je ve svém základu silně závislý na výše zmíněných faktorech, které do určité míry ovlivňují jeho průběh a intenzitu, a tudíž do jisté míry ovlivňují výsledný efekt z rostlinné produkce v zemědělství (Maracchi et al. 2005). Vliv klimatu, nejen na produkci a rozšíření pěstebních ploch sóji, je nutné vnímat především v kontextu teploty, dostupné vláhly a světelného záření, které jak již bylo dříve uvedeno, jsou zásadními faktory působícími na produkční schopnosti rostlin sóji. Právě tyto klimatické faktory spolu s minoritním přispěním řady dalších, jsou zodpovědné za pěstební uplatnění této plodiny v možných oblastech jejího pěstování, zejména skrze vliv na délku a průběh vegetačního období, které zásadním způsobem ovlivňují schopnost rostlin sóji v těchto oblastech růst, kvést, vyvíjet se a dozrávat, a poskytovat tak příznivé výnosy semen s optimální kvalitou (Hartman et al. 2011; Žák et al. 2014; Karges et al. 2022). Zejména pak v oblastech severněji situovaných států je tento potenciál rostlin sóji značně omezený vlivem nízkých teplot, omezené dostupnosti vláhly v důležitých fenologických fázích rostlin sóji, a v konečném důsledku je tedy značně potlačen díky výrazně zkrácenému období vegetace (Serafin-Andrzejewska et al. 2021; Nendel et al. 2023). Pěstování sóji v těchto podmínkách je dle výše uvedeného značně závislé na výběru vhodné odrůdy, snažící se tyto relativně nepříznivé podmínky pěstování, avšak je též důležité přizpůsobení základních agrotechnických opatření, které zásadním způsobem pozitivně ovlivňují uplatnění těchto odrůd v méně příznivých oblastech pěstování. I přes tyto úspěšné opatření ve vztahu k pěstování sóji v těchto oblastech, je však tato přizpůsobivost těchto odrůd a koncepce agrotechnických opatření výrazným způsobem nadále limitována tím nejvíce vnímaným konečným faktorem,

kterým je výnos. Ten je totiž díky výrazně zkrácenému období vegetace, na které jsou tyto odrůdy sóji adaptovány, značně negativně ovlivňován právě celkově kratší dobou, během které se tvoří biomasa těchto odrůd sóji a tím i utváří konečný objem a kvalita produkce (Recknagel et al. 2021). Tyto nižší výnosy sóji, tak hrají významnou úlohu při rozhodování o pěstebním uplatnění a rentabilitě pěstování této plodiny v nových, severněji situovaných, oblastech pěstování (Wenda-Piesik & Kazek 2016; Karges et al. 2022). Tento negativní aspekt výnosů v těchto oblastech, je však zejména v posledních desetiletích výrazně potlačován vlivem nástupu klimatické změny, která má mimo svých negativních dopadů též potenciál pozitivně ovlivnit introdukci teplomilných plodin, jako je sója, do nových, především severněji situovaných, oblastí pěstování nejen v Evropě (Kühling et al. 2018; Guilpart et al. 2019; Coleman et al. 2021; Nendel et al. 2023).

3.9.1 Dopad klimatické změny na zemědělskou produkci

Vliv klimatické změny, nejen na zemědělskou produkci, je již delší dobu pozorovatelný v celosvětovém měřítku a je předmětem řady studií (Maracchi et al. 2005; Nelson et al. 2009; Wheeler & Von Braun 2013; Potopová 2018; Žalud et al. 2020; Zhao et al. 2022; Žalud et al. 2023). V rámci této změny klimatu je zásadním a asi nejdůležitějším aspektem, vnímaný trend globálního růstu průměrných teplot na naší planetě. Tento je dle většiny těchto studií způsoben zejména vyššími koncentracemi radiačně aktivních plynů neboli „skleníkových plynů“ (Maracchi et al. 2005; Nelson et al. 2009; Wheeler & Von Braun 2013; Žalud et al. 2020; Žalud et al. 2023). Ty jsou v procesu známém jako „skleníkový efekt“ životně důležité pro existenci života na naší planetě, jak ho známe. Díky tomuto procesu je možné na Zemi udržet průměrnou globální teplotu na hranici, která je optimální pro život většiny organismů na této planetě (Žalud et al. 2020). Avšak zejména v posledních několika desítkách let, je pozorován výrazný trend nárůstu koncentrace těchto plynů v atmosféře, nejen díky intenzivní lidské činnosti, který má za následek postupné zvyšování průměrných teplot v globálním měřítku (Wheeler & Von Braun 2013). Jako důkaz tohoto trendu je uváděno zvýšení teploty nad pevninou o přibližně 1,5 °C a zvýšení celkové průměrné teploty přibližně o 0,8 °C v porovnání s předindustriální dobou (Wheeler & Von Braun 2013; Žalud et al. 2020). Je tedy zřejmé, že všeobecné oteplování klimatu již není událostí budoucích let, ale že se s ním většina populace této planety potýká již v současné době, a je tedy účelné tento fakt racionálně přijmout a zhodnotit jeho pozitivní a negativní dopady, nejen na zemědělskou produkci ve vztahu k introdukci plodin jako je sója, ale také spolu s tímto zhodnocením začít hledat účinné cesty, jak se na negativní důsledky tohoto jevu dostatečně a účelně připravit (Nelson et al. 2009; Zhao et al. 2022). Tento trend zvyšující se teploty klimatu je znatelný mimo jiné i ve státech Evropy, kde zapříčiňuje výrazné dopady na zemědělskou produkci (Maracchi et al. 2005; Žalud et al. 2020; Nendel et al. 2023; Zhao et al. 2022). V souhrnu těchto dopadů je ve vztahu k evropskému pěstování plodin, zejména díky povaze této práce ve vztahu k pěstování sóji, důležité zmínit dvě hlavní oblasti Evropy, na které by mohla mít změna evropského klimatu potenciální dopady z hlediska budoucího pěstitelského uplatnění této perspektivní plodiny.

3.9.1.1 Vliv zvýšené koncentrace CO₂

Klimatická změna je ve vztahu k zemědělské produkci vnímána nejen skrze oteplování, ale je příznačné zmínit, že i související zmíněný nárůst skleníkových plynů, může mít do jisté míry vliv na produkci zemědělských plodin (Kühling et al. 2018). Jedním z těchto plynů je totiž, na naší planetě velice důležitý, oxid uhličitý, jež je také molekulou, která hraje důležitou roli v procesu fotosyntézy (Žalud et al. 2020). Ve vztahu k tomuto procesu, který je zásadní pro rostlinnou výrobu v zemědělském sektoru, je uváděn kladný vztah mezi nárůstem oxidu uhličitého v atmosféře a efektivitou fotosyntézy a využití vody rostlinami (Ainsworth et al. 2002; Coleman et al. 2021). Tento vztah, který je patrný zejména u rostlin skupiny C3, kam je zařazena i sója, může kladně ovlivňovat konečné výnosy těchto rostlin, ve skrze jejich navýšení, právě v důsledku vyšší efektivity fotosyntézy a využití vody (Oikawa et al. 2010).

3.9.1.2 Vliv sucha

Kromě tohoto efektu z navýšení produkce vlivem vyšší koncentrace oxidu uhličitého, je důležité na klimatickou změnu pohlížet i ze strany hydrologického cyklu, který zejména skrze dostupnost srážek během vegetace, též značně ovlivňuje pěstební uplatnění a výslednou produkci zemědělských plodin (Potopová 2018; Nendel et al. 2023; Žalud et al. 2023). Globální trend zvýšené teploty se v rámci tohoto cyklu promítá zejména ve skrze zvýšenou evapotranspiraci, která ústí zejména v posledních letech k extrémně suchým periodám během vegetačního období. Spolu se zvýšenou evapotranspirací, tedy celkovým výparem vody, je účinek sucha prohlubován i změnou srážkových poměrů. V případě srážek je udáváno, že vlivem klimatické změny se zásadním způsobem nemění v čase jejich množství, tedy celkové úhrny, nýbrž jejich rozložení a intenzita během roku (King et al. 2018; Žalud et al. 2020). Zejména během zimního období je možné v evropských státech pozorovat změnu skupenství vody oproti normálnímu stavu, kdy vlivem relativně teplých zim v posledních letech se též výrazně prohlubuje absence sněhové pokrývky v těchto oblastech. Je tedy mimo její ochranou funkci proti nízkým teplotám, potlačena též funkce zásoby vody pro jarní období (Maracchi et al. 2005; Žalud et al. 2020; Žalud et al. 2023). Tento negativní dopad je též prohlouben relativně špatnou retenční schopností současné zemědělsky využívané krajiny, což v konečném důsledku vede ke značnému deficitu vody v krajině během vegetační sezóny, nejen u rostlin sóji (Potopová 2018; Žalud et al. 2016; Zhao et al. 2022). Tento jev výrazně suchých ročníků, spolu s čím dál častěji dokládávanými extrémními jevy počasí například v podobě přívalových dešťů či extrémně teplých frontálních vln, je nutné též vnímat jako potenciální dopad klimatické změny na evropskou zemědělskou produkci, která je nucena hledat řešení, jak se těmto potenciálním rizikovým jevům v budoucnu přizpůsobit (Maracchi et al. 2005; Potopová 2018; Zhao et al. 2022; Žalud et al. 2023).

3.9.2 Predikce budoucích dopadů klimatické změny na zemědělskou produkci

Tento budoucí vývoj klimatických faktorů a jejich dopady na zemědělskou produkci ve vztahu ke klimatické změně, je tedy účelné dopředu predikovat, aby bylo možné již v současnosti hledat cesty k účinnému řešení těchto dopadů na budoucí produkci (Nendel et al. 2023; Zhao et al. 2022). K tomuto účelu byly vyvinuty a jsou hojně využívány různé

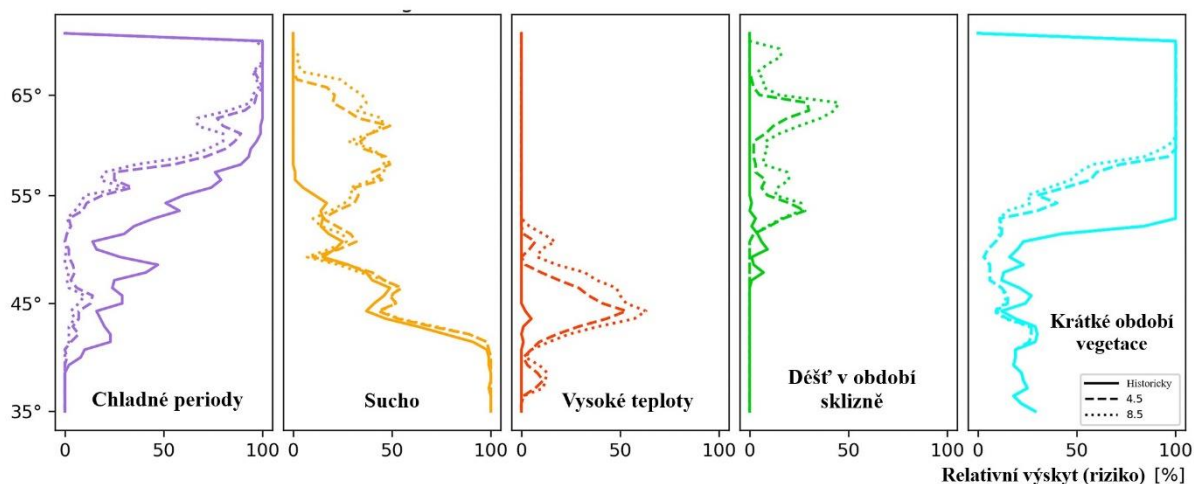
předpovědní modely, které pracují s informacemi o biologických procesech rostlin, které mají vliv na růst a konečný výnos těchto plodin, a také v kontrastu s tímto, využívají informace o faktorech, které určitým způsobem regulují výnos v dané modelované oblasti pěstování (Nendel et al. 2023; Nelson et al. 2009). Jsou tedy postaveny na základě určitých biofyzikálních modelů, jako například DSSAT, které pracují s informacemi o vlivu faktorů klimatu, půdních podmínek či dostupných živin na danou produkci určité plodiny a dále na základě modelů, které pracují s informacemi o těchto faktorech, již v konkrétní oblasti pěstování, která je zájmem této predikce (Nelson et al. 2009), tedy například o uplatňovaných agrotechnických opatřeních a vývoji klimatických faktorů na území dané části Evropy (Nendel et al. 2023). Výsledkem predikcí těchto modelů na základě budoucího působení všech započítaných faktorů je většinou hodnota výnosu dané plodiny v budoucím predikovaném období a oblasti. Tento údaj většinou totiž slouží jako základní podklad pro následné rozhodování o pěstebním uplatnění dané plodiny v určité oblasti pod vlivem predikovaných klimatických ale i jiných podmínek (Potopová 2018; Guilpart et al. 2022). Na základě predikcí těchto modelů v rámci několika studií, je tudíž možné zhodnotit možnou perspektivu sóji jako plodiny pro budoucí pěstební uplatnění v rámci predikovaných podmínek evropského klimatu (Guilpart et al. 2019; Coleman et al. 2021; Guilpart et al. 2022; Nendel et al. 2023).

3.9.3 Budoucí vývoj pěstebních oblastí sóji v Evropě ve vztahu ke změně klimatu

Na základě možného vývoje klimatu v evropských oblastech vlivem klimatické změny bylo pěstební uplatnění sóji v budoucích letech rozděleno pomyslnou hranicí rozdílných podmínek klimatu v rámci Evropy. Tímto vznikly dvě možné perspektivní oblasti budoucího pěstování sóji, kde každá z těchto oblastí je specifikována různými predikovanými dopady klimatické změny. Tyto oblasti je možné z tohoto hlediska rozdělit na oblasti jižnějších až východních částí Evropy a na oblasti severní a střední Evropy (Maracchi et al. 2005; King et al. 2018; Guilpart et al. 2019; Nendel et al. 2023).

3.9.3.1 Budoucí vývoj pěstování sóji v oblastech východní a jižní Evropy

V souvislosti s predikcí dopadů klimatické změny bylo v rámci pěstování sóji v současných evropských oblastech, které jsou hojně rozšířeny v příznivých podmínkách jižních částí Evropy a též nemalé části střední Evropy, stanoveno možné riziko spojené s postupným snižováním produkčních ploch a výnosů u sóji. Toto riziko je spojeno zejména s dopady zvyšující se teploty, což je v těchto oblastech v budoucnu spojováno s výraznými negativními dopady na pěstování sóji (Guilpart et al. 2019; Nendel et al. 2023). Dopad klimatické změny je spojován s častějšími výskyty extrémních jevů počasí, které jsou v těchto teplejších oblastech pěstování spojovány s četným výskytem vln veder a extrémně suchých period počasí (Wheeler & Von Braun 2013; Potopová 2018; Žalud et al. 2020; Nendel et al. 2023), zejména během kritických fenologických fází sóji (Nendel et al. 2023, Karges et al. 2022). Tyto jevy, tak mohou mít při budoucím pěstování této plodiny ve zmíněných oblastech, nepříznivé efekty ve skrze snížení výnosu vlivem sucha, či dokonce úplné abcese květů vlivem výrazně teplých period počasí (Hartman et al. 2011; Puteh et al. 2013; Nahar et al. 2016). Zejména z pohledu rizika vysokých teplot během vegetace, které jsou v současnosti i minulých dobách minoritním rizikovým faktorem, je v rámci predikovaných klimatických scénářů



Obrázek 3: Relativní riziko klimatických faktorů za vegetaci sóji pod vlivem změny klimatu v Evropě vzhledem k zeměpisné šířce (upraveno podle Nendel et al. 2023)

pozorován značný nárůst, a tudíž zvýšené riziko těchto jevů ve vztahu k pěstování sóji. Stejně jako riziko extrémně teplých klimatických vln, je během budoucích predikcí pozorováno též zvýšené riziko sucha, které má v těchto oblastech již v současnosti značný negativní vliv na výnos, zejména v období kvetení a tvorby semen u rostlin sóji (Nendel et al. 2023).

Tyto skutečnosti znázorňuje **Obrázek 3**, kde přibližnou hranicí mezi oblastmi jižní Evropy a potenciálními oblastmi rozšíření sóji v severní a střední Evropě, je dle Nendela et al. (2023) hranice 45° zeměpisné šířky. V rámci tohoto obrázku je znázorněn vývoj těchto rizikových klimatických faktorů na základě dvou budoucích klimatických scénářů v porovnání s historickými daty. Prvním tímto scénářem je RCP 4.5, který je specifikován nižšími dopady klimatické změny, a druhým pak RCP 8.5, který specifikují výraznější dopady probíhající klimatické změny.

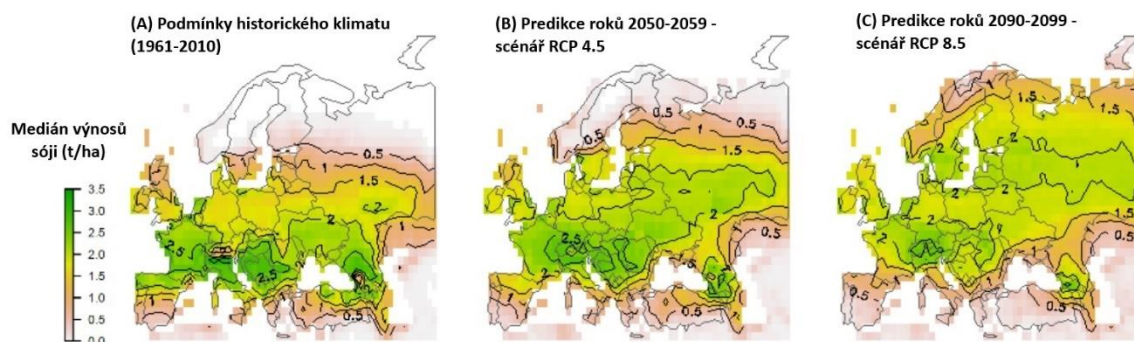
Nárůst oblastí postižených rizikem sucha je odhadován dle různých klimatických scénářů v rozmezí 28-29 % na většině území Evropy (Nendel et al. 2023). Na druhou stranu je možné vlivem klimatické změny očekávat značné snížení počtu dní s chladným či mrazivým průběhem počasí v těchto oblastech pěstování (viz **Obrázek 3**), což v kontrastu s pěstováním teplomilné plodiny, jakou je sója, může výrazně ovlivnit dobu setí a délku vegetace této plodiny (Nendel et al. 2023), avšak tento efekt bude do značné míry potlačen suchými podmínkami, které by naopak mohly mít důsledek ve skrze zkrácení vegetační doby vlivem nedostatku vody pro tyto rostliny (Maracchi et al. 2005). Na druhou stranu bylo konstatováno, že pozitivní efekt z navýšení oxidu uhličitého v rámci klimatické změny, může do jisté míry kompenzovat až úplně eliminovat vliv sucha na konečný výnos sóji (Nendel et al. 2023).

Nicméně z množství těchto již stanovených predikcí, které se v souhrnu shodují v negativních dopadech sucha a horkých vln na budoucí pěstování sóji v těchto oblastech, je účelné se zamyslet nad možnými řešeními těchto negativních dopadů na budoucí produkci sóji v těchto suchých a horkem zasažených oblastech (Zhao et al. 2022). Jednou z nejvíce zmiňovaných alternativ ve vztahu k této problematice je cesta šlechtění odrůd, které budou do jisté míry odolné suchu, a to ať už skrze zlepšení efektivity jejich hospodaření s vodou, tak ve skrze efektivní tvorbu kořenové soustavy a zvýšení jejich příjmu vody (Žalud et al. 2020; Nendel et al. 2023; Zhao et al. 2022). Tyto odrůdy však mají potenciál v suchých oblastech

pouze za předpokladu přizpůsobení i dalších okolností. Zejména v této oblasti řešené jsou alternativní způsoby zakládání porostů sóji, které v těchto oblastech s extrémními vlivy počasí mají možný potenciál ve skrze zlepšení hospodaření s půdní vláhou, čímž dokáží efektivně stabilizovat výnosy i v suchých ročnicích pěstování (Žalud et al. 2020; Zhao et al. 2022; Procházka et al. 2023). Avšak tím nejvíce zmiňovaným opatřením, které je diskutováno jako nejdůležitější opatření ve vztahu k probíhající klimatické změně a dopadům sucha, je opatření závlah (Karam et al. 2005; Nelson et al. 2009; King et al. 2018; Nendel et al. 2023). Toto opatření je bráno jako vůbec nejvíce vhodné k eliminaci horkých a suchých period během vegetace sóji v teplejších oblastech jejího pěstování v Evropě (Nendel et al. 2023). Mimo účinné doplnění dostupné vláhky pro rostliny sóji, je též zodpovědné za částečné schlazení rostlin i okolního prostředí, čímž udržuje optimální teplotní i vláhové požadavky rostlin sóji (Ghafarian et al. 2022). Opatření závlah je však do budoucna problematické zejména z důvodu omezených zdrojů závlahové vody v těchto oblastech, a je tedy jedním z možných problémů při uplatnění těchto opatření, kde pro využití závlah při pěstování sóji, bude do budoucna klíčové zlepšit retenci, nejen závlahové vody v zemědělské krajině (Potopová 2018; Žalud et al. 2016).

3.9.3.2 Introdukce sóji do oblastí střední a severní Evropy vlivem klimatické změny

Jedním z hlavních příznivých efektů klimatické změny a jejích dopadů na produkční uplatnění sóji v evropských oblastech, je posun produkčních ploch sóji vlivem stoupajících teplot do severněji situovaných oblastí jejího pěstování. Tento trend byl pozorován mnoha autory v rámci jejich pokusů a studií a též byla na základě klimatických modelů prokázána jeho uplatnitelnost při současném vývoji klimatu (King et al. 2018; Kühling et al. 2018; Guilpart et

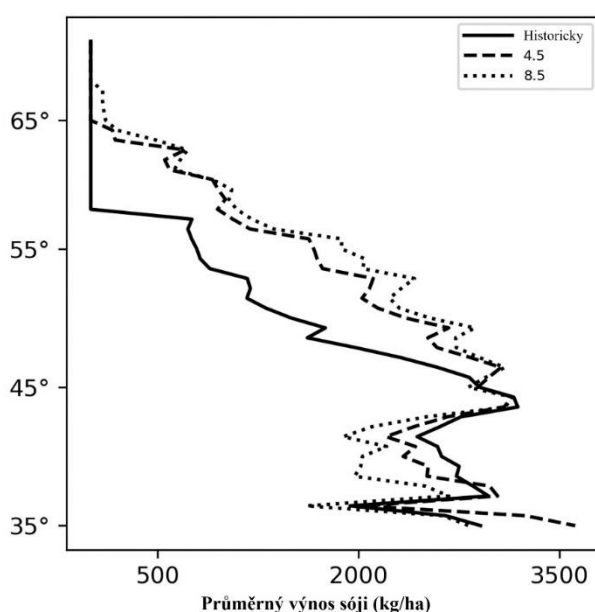


Obrázek 4: Navýšení pěstebních ploch a výnosů sóji vlivem změny klimatu v Evropě (upraveno podle Guilpart et al. 2019)

al. 2019; Coleman et al. 2021; Guilpart et al. 2022; Nendel et al. 2023). Napříč současnými limitními faktory pěstování sóji v oblastech severní a částí střední Evropy, je spatřováno příznivé hledisko eliminace těchto faktorů, zejména pak nízkých teplot, které limitují délku vegetace těchto teplomilných zemědělských plodin. To je vysvětlitelné díky výraznému oteplování těchto oblastí Evropy vlivem dopadů klimatické změny. Tyto dopady sice dle předešlého výrazně negativně postihnou současné oblasti pěstování sóji vlivem vysokých teplot a sucha, nicméně umožní rozšíření a introdukci teplomilných plodin, jako je sója, do severních oblastí (King et al. 2018; Guilpart et al. 2019; Nendel et al. 2023), kde se tato plodina dosud

minoritně pěstovala (Zimmer et al. 2016). Tento potenciální efekt zvýšení pěstebních ploch sóji by mohl být navíc podpořen myšlenkou využití odrůd sóji z pozdnějších skupin ranosti, které již nebudou díky klimatické změně nadále limitovány délkou vegetačního období, a navíc budou schopné poskytnout díky této skutečnosti výrazně vyšší výnosy než současné pěstované odrůdy z nižších ranostních skupin (Maracchi et al. 2005; Nendel et al. 2023).

Efekt navýšení výnosů sóji pod rozdílnými klimatickými scénáři potvrzuje i Guilpart et al. (2019) a znázorňuje jej **Obrázek 4**, kde lze vidět změnu na mediánech výnosů v jednotlivých oblastech Evropy pod vlivem rozdílných klimatických scénářů. Je zde porovnáván historický vývoj výnosů a ploch sóji v letech 1961-2010, se dvěma již zmíněnými klimatickými scénáři v letech 2050-2059 pro RCP 4.5 a v letech 2090-2099 pro RCP 8.5. Dále je efekt zvýšených výnosů sóji dokumentován i v rámci **Obrázek 5**, kde lze zejména ve vyšších zeměpisných



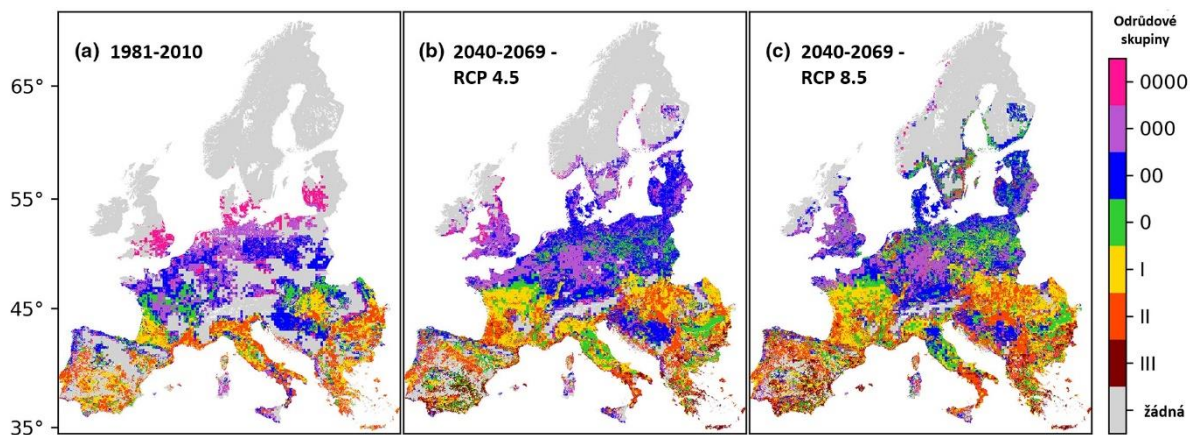
Obrázek 5: Změna výnosů sóji dle zeměpisné šířky pod vlivem klimatických scénářů RCP 4.5 a RCP 8.5 (upraveno podle Nendel et al. 2023)

šířkách spatřovat narůstající tendenci výnosů pod vlivem shodných klimatických scénářů jako v předchozím případě. Oblasti severní a střední Evropy specifikované zeměpisnými šířkami vyššími než 45°, jsou v tomto případě jednoznačně pozitivně ovlivněny klimatickou změnou z hlediska výnosů sóji (Nendel et al. 2023). Tento efekt introdukce sóji do severních oblastí Evropy a využití těchto odrůd někteří autoři dokonce vnímají tak, že budou tyto odrůdy schopny poskytnout daleko vyšší výnosový efekt, než bude negativní dopad sucha v jižnějších oblastech, a tento, tak bude kompenzován vyššími výnosy sóji v severněji situovaných oblastech (Guilpart et al. 2019; Nendel et al. 2023).

Možné uplatnění odrůd sóji z pozdnějších skupin ranosti v Evropě vlivem klimatické změny je potvrzeno i díky klimatickým modelům a příklad dále znázorňuje **Obrázek 6**. Nicméně i přes značné prodloužení období vegetace vlivem klimatické změny, které se odhaduje ke konci 21. století až na 2 měsíce (Ruosteenoja et al. 2016), je nutné zmínit, že i nadále budou přetrvávat, zejména v jarním období, občasné velice výrazné mrazivé periody,

kteře budou mít i nadále, stejně jako doposud, významný vliv na počáteční fáze vegetace rostlin sóji (Potopová 2018; Nendel et al. 2023).

Extrémní jevy počasí typické pro nadcházející klimatickou změnu nejsou však výjimkou ani pro severní oblasti pěstování. Stejně tak jako v ostatních částech Evropy i v severních



Obrázek 6: Možnosti uplatnění jednotlivých skupin odrůd sóji v Evropě pod vlivem rozdílných klimatických scénářů v jednotlivých letech (upraveno podle Nendel et al. 2023)

státech je vlivem zvyšující se teploty očekáván nárůst celkové evapotranspirace a tento výpar bude způsobovat výrazné dopady sucha na vegetaci sóji (viz **Obrázek 3**), zejména pak ze začátku roku (Nendel et al. 2023), kdy probíhá vzházení sóji, a tato rostlina má tudíž vysoké požadavky na půdní vláhu (Žák et al. 2014). Tento negativní dopad bude nadále prohlouben skutečností teplých zim a omezeného výskytu sněhové pokrývky (Žalud et al. 2020), jehož negativní dopad byl zmíněn již výše. Naproti tomu však je předpokládáno oproti oblastem jihu a východu Evropy, mírné navýšení úhrnů srážek pro severoevropské oblasti, které budou navíc do jisté míry umocněny jejich nepravidelným a velice intenzivním rozložením během roku (Prein et al. 2016; Donat et al. 2016). Tyto extrémní přívalemé deště, které budou střídát periody sucha mohou být značným rizikem pro všechny pěstované plodiny v těchto oblastech (King et al. 2018; Nendel et al. 2023; Zhao et al. 2022). Jedním z dalších problémů s těmito predikcemi srážek je i předpokládaný fakt, že vyšší úhrny srážek budou typičtější pro období pozdního léta až podzimu, kdy rostliny sóji dozrávají. Chladnější a vlhčí počasí ke konci vegetační sezóny sóji, by tak výrazným způsobem mohlo ovlivňovat procesy dozrávání sóji, a též komplikovat průběh sklizně této plodiny (King et al. 2018; Nendel et al. 2023) s konečným důsledkem na snížení výnosů (Đorđević et al. 2021). Toto riziko je taktéž předmětem **Obrázek 3**. Je však také předpokládáno, že výskyt těchto extrémně vlhkých podzimů bude značně prostorově a časově variabilní a vždy bude záviset na průběhu daného ročníku v konkrétní oblasti, a je tedy možné předpokládat spíše vyšší negativní dopad sucha, zejména zpočátku vegetačního roku, než deštivých period podzimu v rámci klimatické změny a pěstování sóji (Nendel et al. 2023). Na základě těchto dat, je tedy nevyhnutelným faktem, že benefity produkce v důsledku introdukce, nejen rostlin sóji, do severních oblastí Evropy, však budou na druhou stranu výrazně potlačovány výskytem extrémních meteorologických jevů (Wheeler & Von Braun 2013; Nendel et al. 2023). Na tyto jevy bude účelné se připravit již s předstihem za pomoci vhodných opatření, které budou moci alespoň částečně eliminovat tyto negativní dopady extrémních jevů počasí. Mezi tyto možné opatření jsou v případě vyšších úhrnů srážek pokládány zejména

aplikace odvodňovacích soustav, stejně tak jako aplikace protierozních opatření v rámci pěstebních technologií. Zejména vzhledem k dopadům sucha, bude účelné, stejně jako v ostatních oblastech Evropy, budování a aplikace závlahových systémů, které budou schopné alespoň částečně kompenzovat nepříznivé dopady sucha a vysokých teplot v těchto severních oblastech pěstování. A dále k eliminaci účinků sucha bude zajisté nutností prosazování opatření, jež budou schopny zvýšit aktuální retenční kapacitu současné zemědělské krajiny, například za pomoci budování retenčních nádrží, či úpravou agrotechnických opatření pro zakládání porostů zemědělských plodin (Žalud et al. 2020; King et al. 2018; Nendel et al. 2023; Zhao et al. 2022).

Introdukce sóji do oblastí severní Evropy vlivem klimatické změny by přineslo mimo zmíněnou vyšší produkci, též žádaný efekt diverzifikace osevních postupů (Nendel et al. 2023), ve kterých má sója vlivem svých mnohých výše zmíněných agrotechnických i environmentálních benefitů značný pozitivní vliv. Nicméně tento stav je též závislý na jisté konkurenční schopnosti sóji s ostatními plodinami v evropských osevních postupech, zejména pak perspektivními obilninami a ostatními leguminózami (Reckling et al. 2018). Tato problematika je nastíněna v části **3.10 Hledisko konkurence sóji s ostatními plodinami v Evropě**.

Introdukce sóji do severněji situovaných oblastí je mimo jiné též výrazně podřízena skutečností kvality půdních podmínek v těchto oblastech. Kde občasné velice nevhodná kvalita půdních podmínek v potenciálních severněji situovaných oblastech pěstování hraje důležitou podmínku, která by měla být brána v potaz při zamýšlené introdukci této plodiny do těchto oblastí (King et al. 2018). Dalším velice důležitým aspektem této introdukce je fakt, že většina těchto oblastí, které budou vlivem klimatické změny potenciálně vhodné k pěstování sóji, skýtá značnou environmentální hodnotu, zejména díky množství akumulované organické hmoty v přirozených stanovištích, které nebyly doposud široce hospodářsky využívány (Scharlemann et al. 2014; Bradshaw & Warkentin 2015). Dále je nutné vzít v potaz, že tyto oblasti jsou též ekologickými stanovišti se značnou diverzitou mnoha různých druhů rostlin a živočichů, kteří by mohli být vlivem zemědělského využití těchto oblastí do značné míry negativně zasaženi (Tunney et al. 2014). Tyto všechny ekologické aspekty introdukce zemědělských plodin, jako je sója, by též měly být kriticky zhodnoceny v měřítku krátkodobých a dlouhodobých důsledků, aby se dal maximálně eliminovat případný negativní a nevratný dopad této introdukce ve vztahu k okolní krajině a v ní přirozeně se vyskytujícím organismům (King et al. 2018).

3.10 Hledisko konkurence sóji s ostatními plodinami v Evropě

Leguminózy, jejichž pozitivní efekty při jejich pěstování jsou již dlouhou dobu pozorovány, primárně veskrze symbiotickou fixací dusíku, jsou i přes řadu těchto pozitivních vlivů setrvale čím dál méně uplatňovány v rámci evropských osevních postupů (Iannetta et al. 2016). Zejména tedy od okamžiku klíčového objevu Haber-Boschova procesu, který je využíván primárně při výrobě průmyslových dusíkatých hnojiv v zemědělském odvětví (Erisman et al. 2008), které jsou z pohledu zemědělců považovány za spolehlivější a přesněji dávkovatelný zdroj dusíku, byla zlepšující role leguminóz v rámci osevních postupů značně upozaděna (Magrini et al. 2016). Představenou klesající roli v osevních postupech u těchto plodin, kam je řazena taktéž sója, je možné demonstrovat na příkladu klesající plochy v Evropě,

využité právě k pěstování těchto plodin, kde od roku 1961 s plochou téměř 11,3 milionu hektarů je sledován značný pokles na zhruba 3,4 milionu hektarů v roce 2005 (Rochon et al. 2004). Na tomto lze též sledovat značnou stoupající preferenci evropských zemědělců po pěstování plodin nespádajících do skupiny leguminóz, a tudíž vyžadujících značné dodatečné vstupy v podobě aplikace dusíkatých hnojiv, kde zejména plodiny ze skupiny obilnin jsou v tomto ohledu nejhojněji zastoupeny, protože zejména oproti sóje skýtají značné možnosti uplatnění z hlediska trhu a též skýtají ve většině případů daleko vyšší úroveň celkového zisku z produkce (Iannetta et al. 2016). Tento klesající trend pěstování leguminóz v Evropě, nejen tedy sóji, je na základě předchozího, možné posuzovat primárně z pohledu výnosů a možnosti odbytu těchto plodin na evropském trhu. Tyto plodiny jsou totiž z historického pohledu velice „opomíjeny“ v oblasti šlechtění oproti primárně pěstovaným obilninám, které postupem času díky tomuto získaly značnou konkurenční výhodu nad pěstováním a uplatněním luskovin, nebo též všeobecněji řečeno leguminóz (Magrini et al. 2016). Nejen díky tomuto, plodiny jako je sója a další z této skupiny poskytují méně stabilní a všeobecně nižší výnosy semen, než je tomu u obilnin, avšak je nutné též porovnávat tento přínos s kvalitativní stránkou produkce, kde leguminózy poskytují v tomto ohledu o poznání vyšší výnosy bílkoviny díky jejich

Tabulka 2: Obsahy vybraných složek semen leguminóz (upraveno podle Vollmann 2016)

Plodiny	Bílkoviny (%)	Obsah oleje (%)	Sacharidy (%)	Vláknina (%)
Hrách setý (<i>Pisum sativum</i>)	25,7	1,6	68,6	1,6
Bob obecný (<i>Vicia faba</i>)	26,7	2,3	64	7,2
Cizrna beraní (<i>Cicer arietinum</i>)	22,7	5	66,3	3
Fazol obecný (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	24,1	1,8	65,2	4,5
Vigna zlatá (<i>Vigna radiata</i>)	27,2	1,3	66,6	0,9
Fazol mořský (<i>Vigna mungo</i>)	26,9	1,6	66,9	1,9
Čočka kuchyňská (<i>Lens culinaris</i>)	28,6	0,8	67,3	0,8
Vigna čínská (<i>Vigna unguiculata</i>)	27	5	62	-
Kajan indický (<i>Cajanus cajan</i>)	27	5	62	-
Podzemnice olejná (<i>Arachis hypogaea</i>)	30	50	14	-
Lupina bílá (<i>Lupinus albus</i>)	34-45	9-15	-	3-10
Lupina úzkolistá (<i>Lupinus angustifolius</i>)	28-38	5-7	-	13-17
Lupina proměnlivá (<i>Lupinus mutabilis</i>)	32-46	13-23	-	7-11
Sója luštinatá (<i>Glycine max</i>)	35-52	14-24	34-41	-

obsahovému složení semen (Reckling et al. 2018). Na příkladu sóji se tento průměrný výnos bílkoviny pohybuje na úrovni 900 kg na hektar v porovnání s většinou ostatních leguminóz, olejných plodin a většiny obilnin, jejichž výnos bílkoviny (v semenech) se pohybuje v rozmezí 200 až 600 kg na hektar (Hartman et al. 2011). Tento úpadek v pěstování leguminóz je dále možné zesílit vlivy potravinových trendů, které postupem času oslabily uplatnění luštění

v rámci jídelníčků, nejen evropských obyvatel, ve prospěch živočišných zdrojů bílkovin, primárně masných produktů (de Visser et al. 2014).

Nicméně z hlediska sóji, jakožto plodiny spadající mezi leguminózy pěstované za účelem produkce semen, je důležité navázat na informace uvedené již ve vybraných částech této práce, a sice ty, že sója je jako zdroj kvalitní bílkoviny naprosto klíčová pro zajištění krmivové základny v evropských chovech nepřezhýkavých zvířat, tedy primárně v oblasti výkrmu prasat a drůbeže (Vollmann 2016; Cromwell 2017; Román 2023). V této oblasti využití je však v Evropě zastoupeno mnoho plodin obsahujících koncentrovanou bílkovinnou složku, a to jak v semenech, tak ve vegetativních částech těchto plodin. Tyto konkurenční plodiny spadající stejně jako sója do skupiny leguminóz, by mohly být z hlediska zajištění bílkovinné složky krmiv, ale i potravy, jistou alternativou k pěstování, a tudíž i k introdukci sóji do evropských oblastí (Toleikiene et al. 2021; Karges et al. 2022). Z pohledu těchto plodin lze definovat jejich nejčastěji uváděné členění, a sice podle obsahového složení jejich semen. Většina těchto plodin totiž v evropských podmínkách spadá složením svých semen do skupiny luskovin, které jsou typické vysokým zastoupením sacharidové složky, škrobem, ve svých semenech. Tuto skutečnost uvádí **Tabulka 2**.

Ačkoliv je sója příznačná vysokým zastoupením bílkoviny ve svém semeni, je spíše než mezi luskoviny, řazena mezi olejné plodiny díky vysokému obsahu oleje v semeni, pro který se značným způsobem pěstuje primárně na území amerického kontinentu. I přes tuto odlišnost v členění, je však tato plodina nejen v evropských podmínkách primárně využívána jako hlavní zdroj bílkoviny jak v potravinářském, tak zejména v krmivářském sektoru (Vollmann 2016). Právě v již zmíněném krmivářském využití je však na území Evropy v posledních desetiletích pozorováno značné riziko, které je primárně zastoupené kritickou závislostí Evropy na této plodině vůči třetím zemím, zejména amerického kontinentu (Hartman et al. 2011; de Visser et al. 2014; Vollman 2016; Zander et al. 2016; Debaeke et al. 2022). Tato závislost je především daná vysokou soběstačností zemí Evropy v produkci zvířecí bílkoviny, která je primárním zdrojem bílkovinné složky potravy evropského obyvatelstva. Zvířata podílející se na této produkci jsou však z většiny, zejména ve zmíněných chovech prasat a drůbeže, krmena právě sójovou bílkovinou, která je za tímto účelem pěstována a dovážena do Evropy primárně ze států amerického kontinentu (de Visser et al. 2014; Román 2023). Tento proces kromě negativních dopadů na globální klima díky převozům produkce této plodiny na značné vzdálenosti taktéž postihuje značným negativním způsobem biodiverzitu oblastí, kde se sója za tímto účelem pěstuje (Vollmann 2016). To je způsobené likvidací přirozených stanovišť mnoha druhů živočichů a rostlin, primárně ve skrze odlesňování amazonského pralesa v Brazílii, který je nahrazován pěstebními plochami pro plodiny jako je sója (Gill et al. 2015). Je také možné zmínit negativní dopad na lokální potravinovou bezpečnost v zemích Latinské Ameriky, které jsou postiženy primárním využitím těchto pěstebních oblastí k zajištění exportu potravin a krmiv vůči oblastem jako je Evropa (Tschardt et al. 2012). Z těchto skutečností je zřejmé, že evropská závislost na sóje vůči třetím zemím přináší značná negativa i globální rizika, pro která skýtá zvýšení ploch nejen sóji, ale i ostatních leguminóz v Evropě jisté řešení. Tento fakt si uvědomuje i Evropská unie, která nejen v důsledku výše jmenovaných rizik, které se s tímto importem sóji pojí, stanovila cíle v rámci „Proteinové strategie EU,“ které by se měly pokusit tuto evropskou závislost na dovozu sójového proteinu postupně snižovat (Román 2023). Riziko této závislosti bylo možné prakticky pozorovat v roce 1973, kde Spojené státy americké

výrazně omezily, primárně díky nepřízní podmínek a nízkým výnosům sóji, svůj vývoz sóji vůči ostatním zemím. Tento stav ústil v uvědomění si značné a rizikové závislosti EU na sójovém proteinu ze třetích zemí, čímž by v případech jako byl rok 1973 nebylo možné zajistit dostatečné množství krmiv a potravin, s následnými velice negativními dopady na produkční sektory v Evropě (Magrini et al. 2016). Tento stav přiměl implementaci řešení, které by postupně vykryli potřebu sóji pro evropské země, čímž jsou čím dál častěji zkoušeny a pěstovány alternativní plodiny a zdroje bílkovin (Magrini et al. 2016; Reckling et al. 2018), či jsou vyvíjeny snahy o introdukci sóji do evropských oblastí (Toleikiene et al. 2021; Debaeke et al. 2022; Karges et al. 2022).

V kontextu sóji a alternativních leguminóz, které by mohly potenciálně krýt tuto vysokou potřebu sójové bílkoviny v evropských oblastech hraje důležitou roli fakt, že sója mezi těmito plodinami vyniká svým nejvyšším zastoupením bílkoviny v semenech, což také prezentuje **Tabulka 2**, kde však kromě obsahu a koncentrace bílkovin v semeni je daleko zásadnější aspekt jejich kvality (Vollmann 2016), přičemž jak již bylo zmíněno, sója jako jedna z mála plodin poskytuje vyvážené a bohaté zastoupení důležitých aminokyselin, které z ní dělají zmiňovaný „zlatý standard“ v oblasti bílkovinných krmiv (Cromwell 2017). Díky tomuto vysokému obsahu bílkovin poskytuje též nejvyšší výnosy bílkoviny na plochu v porovnání s ostatními bílkovinnými plodinami (Hartman et al. 2011). Nejen tyto skutečnosti zásadně zvýhodňují její postavení vůči ostatním plodinám v pěstebním uplatnění (Vollmann 2016). V chladnějších oblastech severní a střední Evropy se zamýšlenou introdukcí sóji se však tato myšlenka střetává s konkurencí ostatních leguminóz, které by mohly být potenciálně vhodnější a stabilnější v těchto oblastech pěstování (de Visser et al. 2014; Toleikiene et al. 2021; Karges et al. 2022). V této konkurenci plodin lze vycházet z členění, které vymezují Toker a Mutlu (2011) citováni Vollmannem (2016) a kteří tyto plodiny člení na leguminózy teplých či tropických oblastí, kam řadí sóju, fazol či podzemnici, a leguminózy chladnějších oblastí, kde hlavním zástupcem je uváděn hrách. Ten je také v zásadě nejvíce zmiňovanou plodinou, vůči které se posuzuje konkurence sóji v nových oblastech Evropy, nejen proto, že hrách je v současné době nejpěstovanější leguminózou v evropských podmínkách.

Konkurenci sóji a těchto plodin, zejména pak hrachu, je možné posuzovat jak z hlediska zmíněného obsahu látek v produkci a jejího využití, tak z hlediska již také zmíněných příznivých efektů leguminóz v rámci osevních postupů (Toleikiene et al. 2019). Tyto efekty lze vztahovat zejména k fixaci vzdušného dusíku, která je rozdílná u jednotlivých druhů leguminóz, a tudíž je odhadován i rozdílný výsledný efekt na produkci ostatních plodin v těchto osevních postupech (Nemecek et al. 2008). V rámci studie provedené Toleikiene et al. (2019) je porovnáván zmíněný efekt fixace dusíku leguminózami na výslednou produkci jarní pšenice v podmínkách evropského pěstování. V rámci této studie bylo jednak zjištěno, že inokulovaná sója vyprodukovala v podmínkách ekologické produkce průměrný výnos 1622 kg na hektar, což bylo více než výnos hrachu a jarní pšenice ve stejném pokusu. Je tedy účelné zmínit, že

agrotechnická opatření jako je inokulace osiva, mohou zásadním způsobem přispět ke konkurenceschopnosti sóji vůči ostatním plodinám v těchto oblastech. Stejně jako ve výnosu samotné sóji, byl pozorován příznivý efekt pěstování sóji vůči hrachu i v navýšení výnosu následující jarní pšenice, kde pěstování úspěšně inokulované sóji zvýšilo bilanci dusíku v půdě o 20,6 kg na hektar a taktéž zvýšilo výnos jarní pšenice o 920 kg na hektar. Hrách v tomto porovnání vyšel ve všech případech s negativní bilancí dusíku v půdě, čemuž odpovídalo i nižší navýšení výnosu pšenice, které činilo průměrně 534 kg na hektar. V tomto ohledu je však nutné zmínit, že efekt tohoto příznivého působení by mohl být do značné míry závislý na podmínkách pěstování, tudíž nelze na základě této studie jednoznačně prokázat přímou konkurenční výhodu sóji nad rostlinami hrachu v tomto aspektu navýšení výnosů ostatních plodin v rámci osevních sledů. Nicméně z pohledu konkurence leguminóz rostlinám sóji bylo na základě této studie dále zjištěno, že daleko větší konkurenci rostlinám sóji z pohledu příznivých efektů v osevních sledech skýtají plodiny, které jsou pěstovány a sklizeny za účelem produkce bílkovinné píče.

Tabulka 3: Potřebné navýšení výnosů vybraných bílkovinných plodin pro dosažení potenciální hodnoty produkce pšenice v evropských státech (upraveno podle de Visser et al. 2014)

	Sója luštinatá	Brukev řepka	Slunečnice roční	Lupina	Hrách setý	Bob obecný	Tolice vojtěška
Francie	103 %	45 %	87 %	170 %	111 %	70 %	44 %
Španělsko	zavlažované	173 %	119 %	194 %	615 %	373 %	307 %
	nezavlažované	139 %	102 %	180 %	602 %	532 %	283 %
Maďarsko	74 %	49 %	43 %	267 %	148 %	189 %	93 %
Nizozemsko	174 %	70 %	-	-	120 %	108 %	67 %
Německo	teplé oblasti	102 %	64 %	52 %	233 %	203 %	167 %
	průměrné o.	76 %	36 %	-	164 %	96 %	90 %
	chladné o.	111 %	11 %	-	193 %	62 %	42 %
Itálie	Lombardie	75 %	117 %	63 %	154 %	139 %	262 %
	Emilia- Romagna (sever)	89 %	52 %	75 %	-	138 %	190 %
	Toskánsko	135 %	43 %	46 %	-	114 %	144 %
Polsko	139 %	41 %	92 %	213 %	149 %	125 %	3 %
EU-27	63 %	25 %	64 %	443 %	120 %	112 %	36 %

V tomto pokusu byl tímto způsobem pěstován Jetel luční ve směsi s jarním Ječmenem setým. Tato kultura poskytla ve všech letech nejvyšší efekt navýšení bilance dusíku v půdě a taktéž nejvyšší efekt navýšení výnosů jarní pšenice, a tedy zásadně převyšovala příznivé působení sóji v tomto osevním postupu. Tento stav je vysvětlován vyšší akumulací dusíkatých látek v semenech sóji a hrachu, jakožto leguminóz pro produkci semen, čímž většina těchto látek je následkem tohoto sklizena a odvezena s produkcí z pozemku (Iannetta et al. 2016). U sóji byly tyto hodnoty „odvezeného“ dusíku až 80 % z celkového akumulovaného dusíku. U hrachu pak byla tato hodnota o poznání menší, avšak stále významná a pohybovala se na úrovni 69 % (Toleikiene et al. 2019). Pícní plodiny tedy v tomto případě zásadně konkurují těmto plodinám v akumulaci a fixaci dusíku ve vegetativních částech a ve vztahu k následnému příznivému efektu na výnosy ostatních plodin v osevních postupech, ale také značným způsobem převyšují

tyto plodiny v oblasti stability výnosů bílkovinné produkce a nižší citlivosti na nepříznivé klimatické podmínky (Stoddard 2013).

Z pohledu konkurence sóji ostatním plodinám v evropských oblastech je však nejzásadnějším aspektem konkurenční výhoda obilnin nad leguminózami právě z pohledu zmíněných vyšších hodnot stabilních výnosů (Reckling et al. 2018; Magrini et al. 2016). Tato nižší stabilita výnosů jarních leguminóz sklizených na semeno vůči ozimým plodinám, jako je nejvíce zmiňovaná a pěstovaná Pšenice setá, byla prokázána Recklingem et al. (2018), kteří konstatovali, že tato výnosová nestabilita leguminóz je do určité míry způsobená jejich jarním charakterem setí, přičemž ozimé plodiny, jako je ozimá pšenice, jsou v tomto směru daleko odolnější nedostatku vody v jarním období růstu zejména v severoevropských oblastech. To je vysvětlitelné zejména díky dostatečně založenému a hlubokému kořenovému systému již

Tabulka 4: Potřebné navýšení výnosů vybraných bílkovinných plodin pro dosažení potenciální hodnoty produkce kukuřice v evropských státech (upraveno podle de Visser et al. 2014)

	Sója luštinatá	Brukev řepka	Slunečnice roční	Lupina	Hrách setý	Bob obecný	Tolice vojtěška	
Francie	64 %	17 %	51 %	118 %	70 %	38 %	17 %	
Španělsko	zavlažované	20 %	-4 %	29 %	215 %	108 %	79 %	-63 %
	nezavlažované	20 %	1 %	41 %	252 %	217 %	92 %	-26 %
Maďarsko	20 %	3 %	-1 %	153 %	70 %	99 %	33 %	
Nizozemsko	101 %	25 %	-	-	61 %	52 %	22 %	
Německo	teplé oblasti	47 %	19 %	10 %	142 %	120 %	93 %	39 %
	průměrné	65 %	27 %	-	147 %	83 %	77 %	51 %
	chladné	136 %	24 %	-	228 %	81 %	59 %	95 %
Itálie	Lombardie	-4 %	18 %	-11 %	39 %	30 %	98 %	-48 %
	Emilia-Romagna (sever)	48 %	20 %	37 %	-	87 %	128 %	7 %
	Toskánsko	20 %	-12 %	-10 %	-	32 %	51 %	13 %
Polsko	53 %	-9 %	23 %	101 %	59 %	44 %	-62 %	
EU-27	30 %	0 %	31 %	334 %	76 %	69 %	8 %	

z období podzimu u těchto ozimých plodin (Thorup-Kristensen et al. 2009). Avšak taktéž zmínili, že leguminózy sklizené na semeno prokázaly stabilnější výnosy než ostatní plodiny seté v jarním období, v tomto případě se jednalo primárně o cukrovku či brambory, které jsou známé svou horší tolerancí k abiotickým, ale i biotickým stresům než většina takto pěstovaných plodin (Reckling et al. 2018). V případě konkurence ostatním plodinám ve skrze uplatnění mnohých environmentálních i ekonomických benefitů a z hlediska snížení závislosti na dovozu sóji, je však na základě výše zmíněného nevyhnutelným faktem, že pro toto uplatnění leguminóz, jako je sója, do evropských osevních postupů, bude do budoucna potřebné zaměřit se na zlepšení výnosové úrovně a stability skrze šlechtění a intenzivní pěstování těchto plodin, aby bylo možné dosáhnout alespoň vyrovnaného konkurenčního postavení leguminóz a obilnin

v těchto pěstebních systémech (Zander et al. 2016). Tuto potřebu zvýšení výnosů sóji ale i dalších leguminóz v evropských zemích srovnává de Visser et al. (2014) v porovnání s výnosy dvou nejvíce pěstovaných obilnin v zemích Evropy, a sice kukuřice a pšenice. Tyto skutečnosti následně zobrazuje Tabulka 3 a **Tabulka 4**. Tyto údaje dokumentují zřejmou potřebu navýšení výnosů nejen sóji v evropských oblastech, které jsou v současné době relativně málo schopné konkurovat tak výnosným a pěstitelsky uplatnitelným plodinám jako je kukuřice a pšenice. Dále je možné pozorovat, že výnosová konkurence leguminóz je vyšší v měřítku pšenice než v porovnání s vysoce výnosnou plodinou, jakou je kukuřice. Nicméně i na základě těchto údajů je nutné konstatovat, že srovnání výnosové úrovně a stability těchto plodin bude opět značně závislé na místních podmínkách pěstování v dané oblasti, a tudíž značně variabilní, kde do jisté míry je možné, že leguminózy v určitých příznivých oblastech pěstování konkurenčně převýší zmíněné dvě obilniny nebo též budou v nepříznivých oblastech zcela nekonkurenceschopné.

Jednou z oblastí konkurenční výhody těchto plodin vůči do jisté míry jednostranně založeným obilninám je i fakt mnohých vedlejších produktů, které vyvstávají při produkci semen leguminóz. U sóji je tímto vedlejším produktem primárně v zemích Evropy spatřován její vysoce hodnotný olej, který dosahuje uplatnění nejen v průmyslovém zpracování. Požadované navýšení výnosů k dosažení konkurenceschopnosti obilninám, by bylo tímto u sóji značně posíleno i díky vyšší produkci a odbytu sójového oleje v evropských oblastech. Tento efekt znázorňuje též **Tabulka 5**, kde je kromě úrovně vyprodukovaného sójového oleje znázorněno též potřebné navýšení výnosů produkce, navýšení produkce škrobu u ostatních plodin či pěstební výměra daných plodin v Evropě potřebná k vyrovnání konkurenceschopnosti pšenice, jakožto hlavní srovnávací plodiny (de Visser et al. 2014).

Tabulka 5: Výnos a vliv jeho navýšení u jmenovaných plodin na produkci oleje a škrobu, potřebné pěstební plochy a jejího zastoupení v EU k vyrovnání produkce Pšenice seté (upraveno podle de Visser et al. 2014)

Plodina	Výnos			Olej Produkce (M tun)	Škrob Produkce (M tun)	Potřebná plocha (km ²)	Plocha v rámci EU při navýšení (%)
	Současný (t/ha)	Požadovaný (t/ha)	Navýšení (%)				
Sója	2,7	3,4	30	3,9	0	57,264	5,4
Řepka	3,1	3,1	0	13,8	0	111,846	10,5
Slunečnice	2,2	2,9	31	20,3	0	163,277	15,4
Lupina	1	4,2	334	1,9	0	51,934	4,9
Hrách	2,7	4,8	76	0	15,5	72,683	6,8
Bob	2,7	4,5	69	0	11,1	63,553	6
Vojtěška	40,2	43,6	8	0	0	40,294	3,8

Na základě výše zmíněných výzkumů a informací je možné konstatovat, že pro budoucí uplatnění a silnou konkurenční pozici sóji vůči ostatním leguminózám či primárně pěstovaným obilninám v evropských osevních postupech, bude do jisté míry potřebné zlepšit procesy šlechtění a výzkumu této plodiny pro dosahování stabilních a vysokých výnosů (de Visser et al. 2014; Zander et al. 2016), taktéž bude v nových oblastech pěstování nutné vybudovat a realizovat vhodné odbytové možnosti sójové produkce (de Visser et al. 2014; Debaeke et al.

2022) a především bude nutné vzít v úvahu značné kladné environmentální i ekonomické benefity plynoucí z pěstování leguminóz jako je sója a porovnávat je s okamžitými, ale i dlouhodobými přínosy v rámci produkčního pěstování zemědělských plodin v těchto evropských osevních postupech (Nemecek et al. 2008; Reckling et al. 2018). Konkurenční výhoda bílkovinných plodin, a především sóji v nových evropských oblastech by měla zásadní přínos ve skrze snížení závislosti na importu této plodiny ze třetích zemí (de Visser et al. 2014; Román 2023), který má značné negativní dopady nejen na globální úroveň klimatu (Gill et al. 2015) a zajištění potravinové bezpečnosti v těchto zemích, primárně amerického kontinentu (Tschardt et al. 2012).

3.11 Ekonomické hledisko introdukce sóji do evropských podmínek

Sója, jakožto leguminózní plodina, která se pěstuje za účelem produkce hodnotných semen, je často v evropských podmínkách, stejně jako řada dalších plodin z této skupiny, zatracována z hlediska ekonomiky kvůli nízkým a málo stabilním výnosům, které by mohli mít výrazný vliv na konečnou hodnotu hrubých zisků z její produkce (Preissel et al. 2017; Reckling et al. 2020). Tyto zisky jsou z ekonomického hlediska tvořeny v první řadě jednak náklady vynaloženými k získání zmíněné produkce a taktéž výnosy, které lze chápat na úrovni produkční, tedy výnosy semen, či na úrovni finanční, které jsou utvářeny primárně výkupními cenami za vyprodukovanou a prodanou sójovou produkci (Karges et al. 2022). Z hlediska výkupních možností sójové produkce v Evropě je však spatřováno příznivé hledisko díky širokým možnostem uplatnění sójové produkce v evropských státech (Sibert & Tränkner-Benslimane 2020 cited by Karges et al. 2022), jejichž poptávka po sójovém proteinu, který i mimo jiné skutečnosti pochází z produkce geneticky nemodifikovaných rostlin sóji, zejména v posledních letech výrazně narostla (Karges et al. 2022). Pro sóju se tak i přes hledisko výrazně nestabilních a nezdělaných kdy i nízkých výnosů v Evropě, naskytá možnost odbytu její produkce, která je v těchto oblastech čím dál více žádaná (Wolf & Schätzl 2017). Hrubé zisky při pěstebním uplatnění sóji v těchto oblastech závisí dle dříve řečeného primárně na konečném výnosu semen, který utváří i konečný objem finančních příjmů za prodanou sójovou produkci. Tyto výnosy jsou v těchto oblastech výrazně závislé jak na vybrané odrůdě sóji, tak na výběru vhodného pozemku k pěstování či na aktuálních klimatických podmínkách v průběhu daného roku (Zarina et al. 2021). Výběr odrůdy má však kromě vlivu na konečný výnos, taktéž vliv na konečné uplatnění sójové produkce (Karges et al. 2022), primárně ve skrze obsah bílkovin v sójovém semeni, který je značně odrůdově variabilní (Zimmer et al. 2016). Kromě odrůd pro krmné využití jsou dostupné i odrůdy šlechtěné na zvýšený obsah sójové bílkoviny v semenech, které při jejich prodeji nacházejí uplatnění v potravinářském odvětví (Zhang et al. 2010). Jedná se primárně o využití k výrobě potravin jako je tofu (Zimmer et al. 2016; Poysa et al. 2006), které je v evropských státech, zejména v poslední době, velice žádané (Kurasch et al. 2017). Tyto potravinářské odrůdy mají taktéž prokazatelně vyšší výkupní ceny za jejich merkantil, které by mohli znamenat jistý benefit při jejich pěstování v evropských oblastech (Reckling et al. 2020; Karges et al. 2022).

Nicméně i přes příznivá hlediska, jako jsou vyšší výkupní ceny za potravinářskou sójovou produkci, je pěstební uplatnění sóji v Evropě z hlediska ekonomiky značně potlačováno jinými plodinami, které nacházejí uplatnění skrze vyšší a stabilnější výnosy, které napomáhají jejich

odbytu a taktéž zajišťují vyšší a stabilnější formu zisků pro evropské pěstitele (Preissel et al. 2017; Wolf & Schätzl 2017; Zarina et al. 2021). Zde se však pro sóju v Evropě naskýtá jistá příležitost při jejím uplatnění v ekologických systémech hospodaření, které i přes mnohdy výrazně nižší výnosy a leckdy i vyšší vstupy do pěstebního cyklu sóji, nabízejí výhodu díky výrazně vyšším výkupním cenám a možnostem, které ve většině případů spolehlivě vyrovnají i nepřízeň nižších výnosů a vyšších nákladů v těchto systémech pěstování (Wolf & Schätzl 2017; Cox et al. 2019; Reckling et al. 2020). Cox et al. (2019) v tomto ohledu prokázali, že sója pocházející z ekologické produkce měla o 800 až 900 USD vyšší příjmy na hektar než sója, která pocházela z konvenční produkce, a to i přes vyšší náklady a 9-14% snížení výnosů semen v ekologické produkci. Tento efekt dále jmenovali i Reckling et al. (2020), kteří u ekologicky vyprodukované sóji stanovili průměrné výkupní ceny na 830 € za tunu sójové produkce, které ústily v průměrnou hodnotu hrubého zisku na úrovni 892 € na hektar, která byla velice příznivá i přes vysoké variabilní náklady pohybující se na úrovni 781 € na hektar. U produkce z konvenčního způsobu hospodaření pak stanovili hodnoty průměrných hrubých zisků na hodnotu 197 € na hektar, jejichž nízká hodnota byla primárně ovlivněna nižšími výkupními cenami, pohybujícími se na úrovni 360-390 € za tunu sójové produkce semen. Je dále nutné uvést, že v obou případech, tedy ekologické i konvenční produkci, byly průměrné hodnoty dosažených výnosů všech variant obou způsobů hospodaření takřka stejné a kulminovali okolo průměrné hodnoty 2 tun na hektar.

Kde lze však spatřovat jisté rozdíly v hodnotě dosažených výnosů a taktéž v hodnotách dosažených zisků z produkce sóji v evropských podmínkách, je volba a následná produkce různých typů odrůd, kde byly u odrůd sóji pěstovaných na krmné využití zjištěny výrazně vyšší a stabilnější výnosy v porovnání s odrůdami pěstovanými pro využití potravinářské (Reckling et al. 2020; Karges et al. 2022). Tedy ačkoliv mají potravinářské odrůdy vyšší zastoupení sójové bílkoviny v semeni, která je požadována při potravinářském zpracování (Zhang et al. 2010), tak poskytují výrazně nižší výnosy hrubé bílkoviny na hektar v porovnání s krmnými odrůdami, které tento efekt kompensují vyššími výnosy semen na sklizenou plochu (Scott & Kephart 1997). Z hlediska ekonomiky pěstování sóji v evropských oblastech je tedy účelné se zamyslet, zda je vyšší výkupní cena za produkci potravinářských odrůd schopna převýšit konečný efekt vyšších výnosů, a tudíž vyššího objemu zisku u odrůd na krmné využití. Tento vztah byl též cílem jednoho z pokusů v severních oblastech Německa, který byl prováděn v podmínkách ekologického hospodaření. Autoři v tomto pokusu uvedli, že odrůda sóji Protibus pro potravinářské využití poskytla průměrné výnosy semen na úrovni 1700 kg na hektar a průměrné hrubé zisky z produkce na úrovni 751 €/ha, které byly i přes téměř o 100 € vyšší výkupní ceny, nedostatečné k vyrovnání hrubých zisků z produkce krmných odrůd, které díky průměrným výnosům 2800 kg/ha u odrůdy Sultana, dosahovaly výše 1423 €/ha. Tyto dosažené hrubé zisky byly navíc výrazně zvýšeny při aplikaci závlahových opatření u obou typů odrůd, zejména pak ve výrazně suchých ročních pěstování. Po aplikaci závlah se hrubý zisk u krmné odrůdy Sultana zvýšil na hodnoty 2008 €/ha a u potravinářské odrůdy Protibus na hodnoty 1307 €/ha. I přes vyšší, v tomto případě kalkulované variabilní, náklady po aplikaci těchto opatření, které byly nákladem stanoveny na hodnotu 1,34 €/ha/mm závlahové vody, bylo dosaženo výrazně vyšších zisků z produkce u obou odrůd sóji, a tyto zisky z aplikace závlah tak spolehlivě pokryly stanovené náklady na toto opatření (Karges et al. 2022). Závlahy jsou však stále napříč prokázaným, nejen ekonomickým, přínosům stále málo uplatňované. Jeden z důvodů pro tuto

přetrvávající nízkou aplikaci závlah je také ten, že většina půdy, která je využívána pro pěstování evropských plodin je v převážné většině pronajatá, což jistým způsobem komplikuje stavbu a použití těchto systémů (Reckling et al. 2020).

V tomto pokusu byla též porovnána ekonomická konkurence sóji a dalších plodin v systému ekologické produkce. V porovnání s lupinou dosáhla sója, zejména pak po aplikaci závlah, výrazně vyšších zisků z produkce, kde byly tyto zisky u produkce lupiny stanoveny na hodnoty 488 €/ha a 822 €/ha u krmné, resp. potravinářské odrůdy. Tyto nižší zisky u této plodiny lze v podmínkách Evropy přisuzovat relativně nižším výkupním cenám, kde tento fakt je dále prohlouben občasně nižšími výnosy semen a hrubé bílkoviny na hektar, než je tomu v případě sóji. V porovnání s pšenicí pěstovanou v ekologickém systému produkce dosáhla sója opět, hlavně pak v případě krmných odrůd, vyšších zisků z produkce. U pšenice byly zisky stanoveny na úroveň 581 €/ha a 755 €/ha pro krmnou, resp. potravinářskou odrůdu pšenice (Karges et al. 2022).

Z výše uvedených skutečností je tedy zřejmé, že ekonomické uplatnění sóji v evropských oblastech je spatřováno zejména díky benefitům vyšších výkupních cen za produkci pocházející ze systémů ekologického hospodaření. Sója byla díky tomuto schopna překlenout i relativně nižší výnosy a vyšší náklady v těchto systémech a poskytnout příznivé zisky, které se rovnali či většinou předčili zisky z produkce u ostatních plodin v těchto systémech hospodaření (Cox et al. 2019; Reckling et al. 2020; Karges et al. 2022). Nicméně i z tohoto hlediska je důležité zmínit, že se stále v systémech ekologické produkce vyskytují plodiny, které sóje v tomto směru výrazně konkurují, kde jako příklad lze uvést ekologickou produkci kukuřice, která skýtá výrazně vyšší benefity z navýšení výkupních cen za ekologickou produkci (Cox et al. 2019). Dále je důležité kalkulovat s faktem, že ekologicky hospodařící pěstitelé jsou typičtí spíše v oblasti menších podniků, které disponují taktéž většinou menšími výměrami zemědělské půdy, což by mohlo dále výrazně omezit široké produkční uplatnění této plodiny v nových oblastech pěstování (Delbridge & King 2016). Jedním z velice důležitých faktorů, který hraje taktéž roli v této relativně pomalejší introdukci sóji do ekologických systémů hospodaření je rozdíl ve výnosech v pokusných a následně praktických podmínkách pěstování. Pokusné podmínky v rámci i výše zmíněných studií jsou občasně až velice příznivé pro produkční uplatnění sóji a často se velice liší od značně variabilních podmínek při následném uplatnění této plodiny v praktických osevních postupech podniků v rámci nových pěstebních oblastí (Kravchenko et al. 2017). Tento fakt následně hraje významnou roli při přechodu k pěstování této plodiny, nejen ve zmíněných ekologických systémech hospodaření (Delbridge & King 2016). V souvislosti s tímto je však do ekonomického přínosu sóji v těchto oblastech žádoucí zahrnout též její příznivé efekty na výnosy následných plodin či redukci potřebných N hnojiv, které hrají taktéž nemalou roli při ekonomickém zhodnocení pěstebního uplatnění této plodiny v evropských oblastech pěstování (Preissel et al. 2017; Reckling et al. 2020). Ekonomickou výhodu této plodiny nad ostatními plodinami v oblastech Evropy je tedy v souhrnu možné výrazně podpořit výběrem vhodné odrůdy, která je pěstována v systémech ekologického hospodaření a v dané oblasti poskytuje stabilní výnosy semen a požadovaný obsah bílkovin v semeni, který je klíčový pro její případné potravinářské uplatnění, a nejen z tohoto hlediska ovlivňuje výši výkupní ceny a konečného zisku ze sklizené a prodané sójové produkce, která je v oblastech Evropy výrazně žádaná nejen z hlediska toho, že je prostá geneticky modifikovaných jedinců (Karges et al. 2022).

4 Závěr

Na základě informací podaných v této práci lze konstatovat, že budoucí pěstební uplatnění sóji ve středoevropských a severoevropských oblastech pěstování, kde je tato plodina doposud minoritně zastoupena, je vysoce podporováno díky širokému potravinářskému a krmivářskému využití sójové produkce. V těchto případech je sója primárně ceněná pro svůj vysoký obsah kvalitní bílkovinné složky, zejména pak pro vysoké zastoupení aminokyseliny lysinu, která je prvotním limitujícím faktorem výživy v evropských chovech prasat. Taktéž je u této plodiny kladně nahlíženo na její meliorační působení v evropských osevních postupech, čímž příznivě působí nejen na výnosy následných, především obilných, plodin.

Pěstební uplatnění sóji je nejvíce perspektivní zejména z pohledu snížení závislosti evropských států na importu této plodiny ze třetích zemí, primárně však ze zemí amerického kontinentu. V tomto kontextu bylo zmíněno, že EU se v uplynulých letech stala druhým největším dovozcem sóji a sójových produktů na světě. Snížení této závislosti a vyšší pěstební uplatnění této plodiny v oblastech Evropy, je však omezováno řadou nepříznivých, především klimatických faktorů, které do jisté míry brání uplatnění této plodiny v evropských oblastech.

Jakožto nejvýznamnější byl v tomto ohledu shledán vliv světelných podmínek, spolu s vlivem dostupnosti vláhy na průběh vegetace sóji. Tyto dva faktory, zejména pak z hlediska procesů kvetení a tvorby semen, působily u sóji v evropských podmínkách značné komplikace. Vliv světelných podmínek se jevil u sóji jako problematický primárně vzhledem k délce fotoperiody, kdy příliš dlouhé světelné dny, příznačné pro evropské oblasti, výrazně prodlužovaly období kvetení a tvorby biomasy, a zvyšovaly tak riziko špatného dozrávání semen a snížených výnosů. Dostupnost vláhy během vegetace u sóji se jevila jako nejvíce problematická vzhledem k častému výskytu suchých period během letních měsíců, kdy rostliny sóji kvetou. Tyto suché periody spolu s přispěním nevhodně zvolených pěstebních podmínek, především volby lehkých a výsušných půd, vedly k výrazné redukci výnosu u sóji, a značně tak komplikovaly její uplatnění v evropských podmínkách.

Alespoň částečnou eliminaci těchto nepříznivých dopadů zmíněných faktorů, lze spatřovat ve zvyšující se dostupnosti odrůd, které mají potenciál pěstebního uplatnění v těchto méně příznivých evropských oblastech. V kontextu těchto odrůd byla zmíněna řada, již v současné době, velice perspektivních odrůd, které poskytovaly v rámci pokusů na území evropských států velice příznivé výnosy a taktéž vyhovující kvalitu sklizených sójových semen.

Uplatnění těchto odrůd je dále významně podporováno správnou úrovní agrotechniky, a také opatřeními jako jsou inokulace osiva, úprava meziřádkové vzdálenosti či posun termínu výsevu, jež příznivě ovlivňovaly stabilitu a úroveň výnosů v těchto oblastech. Zároveň i aplikace závlah byla spatřována jako klíčové opatření ke zmírnění rizik spojených s výskyty extrémních období sucha v řadě oblastí jižní, ale i severní a střední Evropy. V těchto případech konečný kladný efekt z provedení závlahových opatření do značné míry převyšoval náklady spojené s touto aplikací. Z pohledu inokulace osiva sóji pak bylo uvedeno, že toto opatření má výrazný pozitivní efekt zejména veskrze výskyt specifických kmenů bakterií, které jsou klíčové k realizaci symbiotické fixace dusíku u rostlin sóji, a které jsou nedostatečně zastoupeny v řadě evropských půd, kam je sója pěstitelsky introdukována. Vlivem tohoto opatření, tak bylo v evropských oblastech pozorováno výrazné navýšení výnosu a kvality sklizených semen.

Introdukce sóji do evropských oblastí je, zejména v posledních letech, taktéž významně podporována působením nastupující klimatické změny. Ta přispívá díky globálnímu zvyšování teplot zejména k posunu pěstebních ploch sóji do severněji situovaných oblastí, jež byly doposud, primárně z důvodu vysokých teplotních nároků této plodiny, nevhodné k jejímu pěstování. Kromě posunu pěstebních ploch sóji do severněji situovaných oblastí Evropy, se však na druhou stranu předpokládá výrazný negativní dopad klimatické změny na pěstování sóji v oblastech jižní a východní Evropy, které by mohly být potenciálně zasaženy extrémními klimatickými jevy, především pak výrazně suchými a teplými periodami během vegetačního období. Tyto periody sucha, které jsou však často střídány periodami extrémních přívalových dešťů, by mohly způsobovat značná rizika při produkčním uplatnění sóji v oblastech jižní, ale i severní Evropy. V souvislosti s tímto byl tedy zmíněn příznivý vliv protieročních opatření, spolu s možnostmi alternativních způsobů zakládání porostů sóji, jež jsou do značné míry schopné eliminovat nepříznivé působení těchto očekávaných extrémních klimatických jevů.

Zkoumaná konkurenceschopnost sóji vůči ostatním plodinám, stejně tak jako výsledná ekonomická rentabilita pěstování sóji v evropských oblastech je ve výsledku výrazně podporována možnostmi zvýšeného odbytu sójové produkce a možným pěstebním uplatněním této plodiny v rámci ekologických systémů hospodaření. U těchto systémů lze spatřovat značné benefity, primárně veskrze navýšení výkupních cen za ekologicky vyprodukovaný merkantil sóji. Příznivě též na ekonomickou rentabilitu pěstování sóji působilo uplatnění odrůd, které byly pěstovány za účelem krmivářského využití sklizených semen. Tyto odrůdy sice v porovnání s potravinářsky využitelnými, poskytovaly produkci s nižším obsahem bílkovin, a tudíž se u nich předpokládala i nižší výkupní cena, avšak v těchto oblastech poskytovaly celkově vyšší zisky za prodaný merkantil, což bylo vysvětleno o poznání vyššími výnosy semen na jednotku plochy.

Sója má tedy z hlediska uplatnění v oblastech severní a střední Evropy širokou perspektivu, primárně z pohledu, v současnosti, dostupných odrůd, jež jsou výrazně podporovány nástupem klimatické změny, která působí posun pěstebních ploch sóji, nejen do severněji situovaných oblastí Evropy.

5 Literatura

- AGES. 2023. Österreichische Beschreibende Sortenliste 2023 Landwirtschaftliche Pflanzenarten. AGES, Schriftenreihe. Available from https://bsl.baes.gv.at/fileadmin/BSL/pdf-Version/BSL2023_end.pdf (accessed March 2024).
- Ainsworth EA et al. 2002. A meta-analysis of elevated [CO₂] effects on soybean (*Glycine max*) physiology, growth and yield. *Global Change Biology* **8**:695–709.
- Albareda M, Rodríguez-Navarro DN, Temprano FJ. 2009. Soybean inoculation: Dose, N fertilizer supplementation and rhizobia persistence in soil. *Field Crops Research* **113**:352–356.
- Applegate CC, Rowles JL, Ranard KM, Jeon S, Erdman JW. 2018. Soy Consumption and the risk of prostate cancer: An updated systematic review and meta-analysis. *Nutrients* **10**:40.
- Appunu C, Sen D, Singh M, Dhar B. 2008. Variation in symbiotic performance of *Bradyrhizobium japonicum* strains and soybean cultivars under field conditions. *Journal of Central European Agriculture* **9**:169–174.
- Bajaj S, Chen P, Longer DE, Shi A, Hou A, Ishibashi T, Brye KR. 2008. Irrigation and planting date effects on seed yield and agronomic traits of early-maturing Soybean. *Journal of Crop Improvement* **22**:47–65.
- Bellaloui N, Bruns HA, Abbas HK, Mengistu A, Fisher DK, Reddy KN. 2015. Agricultural practices altered soybean seed protein, oil, fatty acids, sugars, and minerals in the Midsouth USA. *Frontiers in Plant Science* **6**:31.
- Berger-Doyle J, Zhang B, Smith SF, Chen P. 2014. Planting date, irrigation, and row spacing effects on agronomic traits of food-grade Soybean. *Advances in Crop Science and Technology* **2**:149.
- Board JE, Zhang W, Harville BG. 1996. Yield rankings for soybean cultivars grown in narrow and wide rows with late planting dates. *Agronomy Journal* **88**:240–245.
- Borowska M, Prusiński J. 2021. Effect of soybean cultivars sowing dates on seed yield and its correlation with yield parameters. *Plant, Soil and Environment* **67**:360–366.
- Bradshaw CJA, Warkentin IG. 2015. Global estimates of boreal forest carbon stocks and flux. *Global and Planetary Change* **128**:24–30.
- Bundessortenamt. 2023. Beschreibende Sortenliste: Getreide, Mais, Öl- und Faserpflanzen, Leguminosen, Rüben, Zwischenfrüchte. Bundessortenamt, Hannover. Available from https://www.bundessortenamt.de/bsa/media/Files/BSL/bsl_getreide_2023.pdf (accessed March 2024).
- Cai Y, Chen L, Zhang Y, Yuan S, Su Q, Sun S, Wu C, Yao W, Han T, Hou W. 2020. Target base editing in soybean using a modified CRISPR/Cas9 system. *Plant Biotechnology Journal* **18**:1996.
- Câmara GMS, Sediya T, Dourado-Neto D, Bernardes MS. 1997. Influence of photoperiod and air temperature on the growth, flowering and maturation of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill). *Scientia Agricola* **54**:149–154.

- Česká internistická společnost. 2024. Tuky a zdraví. Národní zdravotnický informační portál, Praha. Available from <https://www.nzip.cz/clanek/484-tuky-a-zdravi> (accessed January 2024).
- Cober ER, Tanner JW, Voldeng HD. 1996. Genetic control of photoperiod response in early-maturing, near-isogenic Soybean lines. *Crop Science* **36**:601–605.
- COBORU. 2023. SOJA.Listy odmian zalecanych do uprawy na obszarze województw na rok 2024. COBORU. Available from https://coboru.gov.pl/Publikacje_COBORU/LOZ/loz_soja.pdf (accessed March 2024).
- Coleman K, Whitmore AP, Hassall KL, Shield I, Semenov MA, Dobermann A, Bourhis Y, Eskandary A, Milne AE. 2021. The potential for soybean to diversify the production of plant-based protein in the UK. *The Science of the Total Environment* **767**:144903.
- Cox W, Hanchar JJ, Cherney J, Sorrells M. 2019. Economic responses of Maize, Soybean, and Wheat in three rotations under conventional and organic systems. *Agronomy* **9**:424.
- Cox WJ, Hanchar JJ, Cherney J. 2018. Agronomic and economic performance of maize, soybean, and wheat in different rotations during the transition to an organic cropping system. *Agronomy* **8**:192.
- Crews TE, Peoples MB. 2004. Legume versus fertilizer sources of nitrogen: ecological tradeoffs and human needs. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **102**:279–297.
- Cromwell GL. 2017. Soybean Meal – An Exceptional Protein Source. Soybean Meal Info Center. Available from <https://www.soymeal.org/soy-meal-articles/soybean-meal-an-exceptional-protein-source/> (accessed January 2024).
- Cui C et al. 2020. Effects of soy isoflavones on cognitive function: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition Reviews* **78**:134–144.
- De Bruin JL, Pedersen P. 2008. Soybean seed yield response to planting date and seeding rate in the upper midwest. *Agronomy Journal* **100**:696–703.
- de la Riva EG et al. 2023. From functional diversity to human well-being: A conceptual framework for agroecosystem sustainability. *Agricultural Systems* **208**:103659.
- De Notaris C, Rasmussen J, Sørensen P, Melander B, Olesen JE. 2019. Manipulating cover crop growth by adjusting sowing time and cereal inter-row spacing to enhance residual nitrogen effects. *Field Crops Research* **234**:15–25.
- De Visser CLM, Schreuder R, Stoddard F. 2014. The EU's dependency on soya bean import for the animal feed industry and potential for EU produced alternatives. *OCL* **21**:D407.
- Debaeke P, Forslund A, Guyomard H, Schmitt B, Tibi A. 2022. Could domestic soybean production avoid Europe's protein imports in 2050?. *OCL* **29**:38.
- Delbridge T, King R. 2016. Transitioning to organic crop production: A dynamic programming approach. *Journal of Agricultural and Resource Economics* **41**:481–498.
- DESTATIS. 2023. Arable land after the main groups and crops. Statistisches Bundesamt. Available from <https://www.destatis.de/EN/Themes/Economic-Sectors->

- Enterprises/Agriculture-Forestry-Fisheries/Field-Crops-Grassland/Tables/arable-land-after-the-main-groups-and-crops.html#fussnote-1-61774 (accessed January 30, 2024).
- Donat MG, Lowry AL, Alexander LV, O’Gorman PA, Maher N. 2016. More extreme precipitation in the world’s dry and wet regions. *Nature Climate Change* **6**:508–513.
- Dorđević V, Balesevic Tubic S, Miladinović J. 2021. Harvesting soybean. Institute of Field and Vegetable Crops Novi Sad, Serbia. Available from https://www.legumehub.eu/is_article/harvesting-soybean/ (accessed March 2024).
- Dorrance AE, Novakowski JH. 2017. Sclerotinia Stem Rot (White Mold) of Soybean. *Ohioline*. Available from <https://ohioline.osu.edu/factsheet/plpath-soy-3> (accessed March 2024).
- Dostálová R. 2001. *Fazol obecný*. Profi Press, Praha. Available from <https://uroda.cz/fazol-obecny/> (accessed January 31, 2024).
- Egli DB, Ramseur EL, Zhen-Wen Y, Sullivan CH. 1989. Source-sink alterations affect the number of cells in Soybean cotyledons. *Crop Science* **29**:732–735.
- Erisman JW, Sutton MA, Galloway J, Klimont Z, Winiwarter W. 2008. How a century of ammonia synthesis changed the world. *Nature Geoscience* **1**:636–639.
- European commission. 2023. Common catalogue of varieties of agricultural plant species - 2023. European commission. Available from https://food.ec.europa.eu/document/download/79b91903-aa0f-41cb-92aa-d8ef5481a87d_en?filename=plant-variety-catalogues_agricultural-plant-species.pdf&prefLang=cs (accessed March 2024).
- European Commission. 2024. Oilseeds and protein crops: Balance sheet for oilseeds. European commission. Available from https://agriculture.ec.europa.eu/data-and-analysis/markets/overviews/balance-sheets-sector/oilseeds-and-protein-crops_en (accessed January 2024).
- Eurostat. 2024. Oilseeds and protein crops trade. European Commission. Available from <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DashboardCereals/OilseedTrade.html#> (accessed January 2024).
- FAO. 2006. *Livestock’s long shadow: environmental issues and options*. FAO, Rome. Available from <https://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm> (accessed April 2024).
- FAO. 2023a. *Agricultural production statistics 2000-2022*. FAO, Rome. Available from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed January 2024).
- FAO. 2023b. *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2023*. FAO, Rome. Available from <https://www.fao.org/3/cc8166en/online/cc8166en.html#chapter-2> (accessed January 2024).
- FAO. 2023c. *Trade: Crops and livestock products*. FAO, Rome. Available from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL> (accessed January 2024).

- Fernandez-Lopez A, Lamothe V, Delample M, Denayrolles M, Bennetau-Pelissero C. 2016. Removing isoflavones from modern soyfood: Why and how?. *Food Chemistry* **210**:286–294.
- Ferreira MC, De Andrade SD, Ligia LM, Takemura SM, Hungria M. 2000. Tillage method and crop rotation effects on the population sizes and diversity of bradyrhizobia nodulating soybean. *Soil Biology and Biochemistry* **32**:627–637.
- Flohrová A. 2001. *Sója – perspektivní plodina?*. Profi Press, Praha. Available from <https://uroda.cz/soja-perspektivni-plodina/> (accessed March 2024).
- Florou-Paneri P, Christaki E, Giannenas I, Bonos E, Skoufos I, Tsinas A, Tzora A, Peng J. 2014. Alternative protein sources to soybean meal in pig diets. *Journal of Food, Agriculture & Environment* **12**(2):655-660.
- Fogelberg F, Lagerberg Fogelberg C. 2013. Swedish soya bean cropping – Introduction of a hot crop to a cool climate. *Legume Perspectives* **1**:31–32.
- Fogelberg F, Recknagel J. 2017. Developing soy production in central and northern Europe. Pages 109-124 in Murphy-Bokern D, Stoddard FL, Watson CA, editors. *Legumes in cropping systems*. CABI, EU.
- Fordoński G, Okorski A, Olszewski J, Dąbrowska J, Pszczółkowska A. 2023. The effect of sowing date on the growth and yield of Soybeans cultivated in north-eastern Poland. *Agriculture* **13**:2199.
- Gass T, Schori A, Fossati A, Soldati A, Stamp P. 1996. Cold tolerance of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) during the reproductive phase. *European Journal of Agronomy* **5**:71–88.
- Gawęda D, Nowak A, Haliniarz M, Woźniak A. 2020. Yield and economic effectiveness of Soybean grown under different cropping systems. *International Journal of Plant Production* **14**:475–485.
- Ghafarian F, Wieland R, Nendel C. 2022. Estimating the evaporative cooling effect of irrigation within and above Soybean canopy. *Water* **14**:319.
- Gill M, Feliciano D, Macdiarmid J, Smith P. 2015. The environmental impact of nutrition transition in three case study countries. *Food Security* **7**:493–504.
- Grossman JM, Schipanski ME, Sooksanguan T, Seehaver S, Drinkwater LE. 2011. Diversity of rhizobia in soybean [*Glycine max* (Vinton)] nodules varies under organic and conventional management. *Applied Soil Ecology* **50**:14–20.
- Guilpart N, Iizumi T, Ben Ari T, Makowski D, Makowski Assessing D. 2019. Assessing area suitable for diversification crops: an example on soybean in Europe under climate change using machine learning. *European Conference on Crop Diversification*, Budapest. Available from https://www.researchgate.net/publication/336810715_Assessing_area_suitable_for_diversification_crops_an_example_on_soybean_in_Europe_under_climate_change_using_machine_learning (accessed February 2024).
- Guilpart N, Iizumi T, Makowski D. 2022. Data-driven projections suggest large opportunities to improve Europe’s soybean self-sufficiency under climate change. *Nature Food* **3**:255–265.

- Hartman GL, West ED, Herman TK. 2011. Crops that feed the World 2. Soybean-worldwide production, use, and constraints caused by pathogens and pests. *Food Security* **3**:5–17.
- Hennessy M, Recknagel J, Alves S, Murphy K, Burke B. 2022. Growing soybean in north-western Europe. The Agriculture and Food Development Authority. Available from https://www.legumehub.eu/is_article/growing-soybean-in-north-western-europe/ (accessed March 2024).
- Hernanz JL, Sánchez-Girón V, Navarrete L. 2009. Soil carbon sequestration and stratification in a cereal/leguminous crop rotation with three tillage systems in semiarid conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **133**:114–122.
- Herridge D, Rose I. 2000. Breeding for enhanced nitrogen fixation in crop legumes. *Field Crops Research* **65**:229–248.
- Holshouser DL, Whittaker JP. 2002. Plant population and row-spacing effects on early Soybean production systems in the mid-atlantic USA. *Agronomy Journal* **94**:603–611.
- Houba M. 2019. Pěstování luskovin (2): Sója - Glycine. Asociace pěstitelů a zpracovatelů luskovin, z.s. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/pestovani-luskovin-2-soja-glycine> (accessed January 2024).
- Hu M, Wiatrak P. 2012. Effect of planting date on Soybean growth, yield, and grain quality: Review. *Agronomy Journal* **104**:785–790.
- Hufnagel J, Reckling M, Ewert F. 2020. Diverse approaches to crop diversification in agricultural research. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **40**:1–17.
- Hungria M, Franchini JC, Campo RJ, Crispino CC, Moraes JZ, Sibaldelli RNR, Mendes IC, Arihara J. 2006. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: Contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. *Canadian journal of plant science* **86**:927–939.
- Iannetta PPM et al. 2016. A comparative nitrogen balance and productivity analysis of legume and non-legume supported cropping systems: The potential role of biological nitrogen fixation. *Frontiers in Plant Science* **7**:1700.
- Jarecki W, Bobrecka-Jamro D. 2021. Effect of sowing date on the yield and seed quality of Soybean [*glycine max (L.) merr.*]. *Journal of Elementology* **26**:7–18.
- Jia H, Jiang B, Wu C, Lu W, Hou W, Sun S, Yan H, Han T. 2014. Maturity group classification and maturity locus genotyping of early-maturing Soybean varieties from high-latitude cold regions. *PLOS ONE* **9**:e94139. Public Library of Science. Available from <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0094139> (accessed March 1, 2024).
- Jiang B, et al. 2014. Allelic Combinations of Soybean Maturity Loci E1, E2, E3 and E4 Result in Diversity of Maturity and Adaptation to Different Latitudes. *PLoS ONE* **9** (e106042) DOI: 10.1371/journal.pone.0106042.
- Kadiata BD, Schubert S, Yan F. 2012. Assessment of different inoculants of *Bradyrhizobium japonicum* on nodulation, potential N₂ fixation and yield performance of soybean (*Glycine max L.*). *Journal of Animal & Plant Sciences* **13**:1704–1713.

- Kane MV, Steele CC, Grabau LJ. 1997. Early-maturing Soybean cropping system: II. growth and development responses to environmental conditions. *Agronomy Journal* **89**:459–464.
- Karam F, Masaad R, Sfeir T, Mounzer O, Rouphael Y. 2005. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. *Agricultural Water Management* **75**:226–244.
- Karges K, Bellingrath-Kimura SD, Watson CA, Stoddard FL, Halwani M, Reckling M. 2022. Agro-economic prospects for expanding soybean production beyond its current northerly limit in Europe. *European Journal of Agronomy* **133**:126415.
- Kazda J, Mikulka J, Prokinová E. 2010. *Encyklopedie ochrany rostlin*. Profi Press, Praha.
- Keyser HH, Li F. 1992. Potential for increasing biological nitrogen fixation in soybean. Pages 119-135 in Ladha JK, George T, Bohlool BB, editors. *Biological Nitrogen Fixation for Sustainable Agriculture*. Springer, Dordrecht.
- King M, Altdorff D, Li P, Galagedara L, Holden J, Unc A. 2018. Northward shift of the agricultural climate zone under 21st-century global climate change. *Scientific Reports* **8**:1–10.
- Kravchenko AN, Snapp SS, Robertson GP. 2017. Field-scale experiments reveal persistent yield gaps in low-input and organic cropping systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **114**:926–931.
- Kühling I, Hüsing B, Bome N, Trautz D. 2018. Soybeans in high latitudes: effects of *Bradyrhizobium* inoculation in Northwest Germany and southern West Siberia. *Organic Agriculture* **8**:159–171.-
- Kurasch AK, et al. 2017. Identification of mega-environments in Europe and effect of allelic variation at maturity E loci on adaptation of European soybean. *Plant, Cell & Environment* **40**:765–778.
- Kwack SJ, Kim KB, Kim HS, Yoon KS, Lee BM. 2009. Risk Assessment of Soybean-based phytoestrogens. *Journal of Toxicology and Environmental Health* **72**:1254–1261.
- Lamichhane JR, Constantin J, Schoving C, Maury P, Debaeke P, Aubertot JN, Dürr C. 2020. Analysis of soybean germination, emergence, and prediction of a possible northward establishment of the crop under climate change. *European Journal of Agronomy* **113**:125972.
- Lazauskas S, Povilaitis V, Antanaitis Š, Sakalauskaitė J, Sakalauskienė S, Pšibišauskienė G, Auškalnienė O, Raudonius S, Duchovskis P. 2012. Winter wheat leaf area index under low and moderate input management and climate change. *Journal of Food, Agriculture and Environment* **10**:588–593.
- Lindsey L. 2015. Estimating Soybean yield. Agronomic Crops Network. Available from <https://agcrops.osu.edu/newsletter/corn-newsletter/2015-26/estimating-soybean-yield> (accessed January 2024).
- Liu X, Jin J, Wang G, Herbert SJ. 2008. Soybean yield physiology and development of high-yielding practices in Northeast China. *Field Crops Research* **105**:157–171.

- Lobell DB, Cassman KG, Field CB. 2009. Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources* **34**:179–204.
- Magrini MB, Anton M, Cholez C, Corre-Hellou G, Duc G, Jeuffroy MH, Meynard JM, Pelzer E, Voisin AS, Walrand S. 2016. Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics* **126**:152–162.
- Mandić V, Bijelić Z, Krnjaja V, Simić A, Ružić-Muslić D, Dragičević V, Petričević V. 2017. The rainfall use efficiency and soybean grain yield under rainfed conditions in Vojvodina. *Biotechnology in Animal Husbandry* **33**:475–486.
- Maracchi G, Sirotenko O, Bindi M. 2005. Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. *Climatic Change* **70**:117–135.
- Masino A, Rugeroni P, Borrás L, Rotundo JL. 2018. Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. *European Journal of Agronomy* **98**:14–24.
- Mastrodomenico AT, Purcell LC. 2012. Soybean nitrogen fixation and nitrogen remobilization during reproductive development. *Crop Science* **52**:1281–1289.
- McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD, Morgan CA, Sinclair LA, Wilkinson RG. 2011. *Animal Nutrition*. Pearson Education, Harlow.
- Mechtler K, Hendl M. 2010. Ertrags- und Qualitätsentwicklung bei Öl- und Eiweißfrüchten in der Sortenwertprüfung. 61.Tagung der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs **61**:79–85.
- Messina M, Duncan A, Messina V, Lynch H, Kiel J, Erdman Jr. JW. 2022. The health effects of soy: A reference guide for health professionals. *Frontiers in Nutrition* **9**:970364.
- Messmer M, et al. 2012. Breeding for improved soybean-Bradyrhizobia symbiosis for cool growing conditions in Central Europe. 10th European Nitrogen Fixation Conference, Munich. Available from https://orgprints.org/id/eprint/21797/1/Poster_BreedingSoybeaninCentralEurope__final.pdf (accessed January 2024).
- Mikolášková K. 2006. Ombrická kontinentalita v Evropě a České republice [BSc. Thesis]. Univerzita Karlova, Praha.
- Montoya F, García C, Pintos F, Otero A. 2017. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. *Agricultural Water Management* **193**:30–45.
- Nahar K, Hasanuzzaman M, Fujita M. 2016. Heat stress responses and thermotolerance in soybean. Pages 261-284 in Miransari M, editor. *Abiotic and Biotic Stresses in Soybean Production*. Academic Press, Cambridge.
- Nébih. 2023. Szántóföldi Növények Nemzeti fajtajegyzék 2023. Nébih. Available from <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/81819/Fajtajegyz%C3%A9ksz%C3%A1nt%C3%B3f%C3%B6ld+20230510.pdf/5169595d-045e-2c4b-7842-ef2161a77c37?t=1685455670458> (accessed March 2024).

- Nelson GC, et al. 2009. Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
- Nemecek T, von Richthofen JS, Dubois G, Casta P, Charles R, Pahl H. 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *European Journal of Agronomy* **28**:380–393.
- Nendel C, et al. 2023. Future area expansion outweighs increasing drought risk for soybean in Europe. *Global Change Biology* **29**:1340–1358.
- OECD/FAO. 2019. OECD-FAO Agricultural Outlook 2019-2028. OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Available from https://read.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2019-2028_agr_outlook-2019-en#page4 (accessed January 2024).
- Oerke EC. 2006. Crop losses to pests. *The Journal of Agricultural Science* **144**:31–43.
- Oikawa S, Miyagi KM, Hikosaka K, Okada M, Matsunami T, Kokubun M, Kinugasa T, Hirose T. 2010. Interactions between elevated CO₂ and N₂-fixation determine soybean yield—a test using a non-nodulated mutant. *Plant and Soil* **330**:163–172.
- PCC Group. 2022. Tuky. PCC Group. Available from <https://www.products.pcc.eu/cs/academy/tuky/> (accessed January 2024).
- Pedersen SS, Edlefsen OØ. 2013. Soya beans - experience from a project in Denmark. *Legume perspectives* **1**:33–34.
- Potopová V. 2018. Nové poznatky, které jsou odrazem změny klimatu - vliv sucha na rostlinnou produkci. Česká zemědělská univerzita v Praze. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/nove-poznatky-ktere-jsou-odrazem-zmeny-klimatu-vliv-sucha-na-rostlinnou-produkci> (accessed March 2024).
- Poysa V, Woodrow L, Yu K. 2006. Effect of soy protein subunit composition on tofu quality. *Food Research International* **39**:309–317.
- Prein AF, Rasmussen RM, Ikeda K, Liu C, Clark MP, Holland GJ. 2016. The future intensification of hourly precipitation extremes. *Nature Climate Change* **7**:48–52.
- Preissel S, Reckling M, Bachinger J, Zander P. 2017. Introducing legumes into European cropping Systems: Farm-level economic effects. Pages 209–225 in Murphy-Bokern D, Stoddard FL, Watson CA, editors. *Legumes in Cropping Systems*. CABI, EU.
- Preissel S, Reckling M, Schläfke N, Zander P. 2015. Magnitude and farm-economic value of grain legume pre-crop benefits in Europe: A review. *Field Crops Research* **175**:64–79.
- Procházka P, et al. 2023. Sója luštinatá. Agrární komora České republiky, Praha.
- Pulkrábek J, Capouchová I. 2003. Speciální fytotechnika. Česká zemědělská univerzita v Praze. Available from <https://agrobiologie.cz/SMEP3/Fytotechnika/fyto/php/skripta/index.html> (accessed January 2024).

- Puteh AB, ThuZar M, Mondal MMA, Abdulah AP, Halim MRA. 2013. Soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] seed yield response to high temperature stress during reproductive growth stages. *Australian Journal of Crop Science* **7**:1472–1479.
- Rahman MdM, Alam MS, Islam MdM, Kamal MZU, Rahman GKMM, Haque MM, Miah MdG, Biswas JC. 2022. Potential of legume-based cropping systems for climate change adaptation and mitigation. Pages 381-402 in Meena RS, Kumar S, editors. *Advances in Legumes for Sustainable Intensification*. Academic Press, Cambridge.
- Reckling M, Bergkvist G, Watson CA, Stoddard FL, Bachinger J. 2020. Re-designing organic grain legume cropping systems using systems agronomy. *European Journal of Agronomy* **112**:125951.
- Reckling M, Döring TF, Bergkvist G, Stoddard FL, Watson CA, Seddig S, Chmielewski FM, Bachinger J. 2018. Grain legume yields are as stable as other spring crops in long-term experiments across northern Europe. *Agronomy for Sustainable Development* **38**:1–10.
- Recknagel J, Rittler L, Murphy-Bokern D. 2021. Choosing soybean cultivars. LTZ Augustenberg/Sojaförderring e.V. Available from https://www.legumehub.eu/is_article/choosing-soybean-cultivars/ (accessed March 2024).
- Redfearn D, Mueller N, Drewnoski M. 2020. Harvesting Soybeans for Hay or Silage. Nebraska extension. Available from <https://cropwatch.unl.edu/2020/harvesting-soybeans-hay-or-silage> (accessed April 2024).
- Rietjens IMCM, Lousse J, Beekmann K. 2017. The potential health effects of dietary phytoestrogens. *British Journal of Pharmacology* **174**:1263–1280.
- Robertson GP, Paul EA, Harwood RR. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: Contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* **289**:1922–1925.
- Rochon JJ, Doyle CJ, Greef JM, Hopkins A, Molle G, Sitzia M, Scholefield D, Smith CJ. 2004. Grazing legumes in Europe: a review of their status, management, benefits, research needs and future prospects. *Grass and Forage Science* **59**:197–214.
- Román AA. 2023. EU protein strategy. EPRS. Available from [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPRS_BRI\(2023\)751426_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2023/751426/EPRS_BRI(2023)751426_EN.pdf) (accessed January 2024).
- Rostlinolékařský portál. 2024. Choroby: bílá plísnovitost sóje. ÚKZÚZ. Available from https://eagri.cz/public/app/srs_pub/fytoportal/public/?key=%222eb5788ffd084b2d28065f0ae34742a2%22#rlp|so|choroby|detail:2eb5788ffd084b2d28065f0ae34742a2|popis (accessed March 2024).
- Rotundo JL, Westgate ME. 2009. Meta-analysis of environmental effects on soybean seed composition. *Field Crops Research* **110**:147–156.
- Ruosteenoja K, Räisänen J, Venäläinen A, Kämäräinen M. 2016. Projections for the duration and degree days of the thermal growing season in Europe derived from CMIP5 model output. *International Journal of Climatology* **36**:3039–3055.

- Salvagiotti F, Cassman KG, Specht JE, Walters DT, Weiss A, Dobermann A. 2008. Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review. *Field Crops Research* **108**:1–13.
- Santachiara G, Borrás L, Rotundo JL. 2017. Physiological processes leading to similar yield in contrasting Soybean maturity groups. *Agronomy Journal* **109**:158–167.
- Scharlemann JPW, Tanner EVJ, Hiederer R, Kapos V. 2014. Global soil carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management* **5**:81–91.
- Scott RA, Kephart KD. 1997. Selection for yield, protein, and oil in soybean crosses between adapted and introduced parents. *Field Crops Research* **49**:177–185.
- Serafin-Andrzejewska M, Helios W, Jama-Rodzeńska A, Kozak M, Kotecki A, Kuchar L. 2021. Effect of sowing date on soybean development in south-western poland. *Agriculture (Switzerland)* **11**:413.
- Shen J, Yuan L, Zhang J, Li H, Bai Z, Chen X, Zhang W, Zhang F. 2011. Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiology* **156**:997–1005.
- Singer JW, Malone RW, Meek DW, Drake D. 2004. Predicting yield loss in indeterminate Soybean from pod density using simulated damage studies. *Agronomy Journal* **96**:584–589.
- Skládanka J. 2006. Multimediální učební texty píceinářství: Sója luštinatá (*Glycine soja* L.). Ústav výživy a píceinářství MZLU v Brně. Available from https://web2.mendelu.cz/af_222_multitext/picniny/sklady.php?odkaz=soja.html (accessed January 2024).
- Sobko O, Hartung J, Zikeli S, Claupein W, Gruber S. 2019. Effect of sowing density on grain yield, protein and oil content and plant morphology of soybean (*Glycine max* L. Merrill). *Plant, Soil and Environment* **65**:594–601.
- Song W, et al. 2019. Standard cultivar selection and digital quantification for precise classification of maturity groups in Soybean. *Crop Science* **59**:1997–2006.
- SoyStats. 2023. International: World Vegetable Oil Consumption. The American Soybean Association. Available from <http://soystats.com/international-world-vegetable-oil-consumption/> (accessed January 2024).
- Stagnari F, Maggio A, Galieni A, Pisante M. 2017. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* **4**:1–13.
- Staniak M, Stępień-Warda A, Czopek K, Kocira A, Baca E. 2021. Seeds quality and quantity of Soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivars in response to cold stress. *Agronomy* **11**:520.
- Staton M, Hellevang K. 2023. Harvesting and handling frost-damaged soybeans. Michigan state university extension. Available from https://www.canr.msu.edu/news/how_to_manage_frost_damaged_soybeans (accessed January 2024).

- Stoddard FL. 2013. The case studies of participant expertise in Legume Futures. Legume Futures Report 1.2. Available from https://www.legumehub.eu/is_article/agronomic-case-studies-in-legume-futures/ (accessed March 2024).
- Štranc P, Štranc J, Štranc D. 2013. Produkce sóji ve světě, v EU a ČR. Česká zemědělská univerzita v Praze. Available from http://konference.agrobiologie.cz/2013-08-20/pdf/01-Stranc-Stranc-Stranc_PRODUKCE_SOJI_VE_SVETE,_V_EU_A_CR.pdf (accessed January 2024).
- Sun L, Yuan Z. 2022. Seed morphology of soybean. *Advances in Botanical Research* **102**:349–375.
- Taku K, Melby MK, Kronenberg F, Kurzer MS, Messina M. 2012. Extracted or synthesized soybean isoflavones reduce menopausal hot flash frequency and severity: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Menopause* **19**:776–790.
- Teasdale JR, Mirsky SB, Cavigelli MA. 2018. Meteorological and management factors influencing weed abundance during 18 years of organic crop rotations. *Weed Science* **66**:477–484.
- Thomas JMG, Boote K, Pan D, Allen LH. 2010. Elevated temperature delays onset of reproductive growth and reduces seed growth rate of soybean. *Journal of AgroCrop Sciences* **1**:19–32.
- Thorup-Kristensen K, Cortasa MS, Loges R. 2009. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses?. *Plant and Soil* **322**:101–114.
- Toleikienė M, Brophy C, Arlauskienė A, Rasmussen J, Gecaitė V, Kadžiulienė Ž. 2019. The introduction of soybean in an organic crop rotation in the Nemoral zone: the impact on subsequent spring wheat productivity. *Zemdirbyste-Agriculture* **106**:321–328.
- Toleikiene M, Slepetyš J, Sarunaite L, Lazauskas S, Deveikyte I, Kadziulienė Z. 2021. Soybean development and productivity in response to organic management above the northern boundary of Soybean distribution in Europe. *Agronomy* **11**:214.
- Tscharntke T, Clough Y, Wanger TC, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whitbread A. 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation* **151**:53–59.
- Tunney TD, McCann KS, Lester NP, Shuter BJ. 2014. Effects of differential habitat warming on complex communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **111**:8077–8082.
- ÚKZÚZ. 2023. Seznam doporučených odrůd 2024: Sója. ÚKZÚZ. Available from https://eagri.cz/public/portal/-a31232---LKbdX86R/soja?_linka=a535612 (accessed March 2024).
- Vagadia BH, Vanga SK, Raghavan V. 2017. Inactivation methods of soybean trypsin inhibitor – A review. *Trends in Food Science & Technology* **64**:115–125.

- Van Berkum P, Eardly BD. 1998. Molecular evolutionary systematics of the Rhizobiaceae. Pages 1-24 in Spaink HP, Kondorosi A, Hooykaas PJJ, editors. *The Rhizobiaceae*. Springer, Dordrecht.
- Van Ittersum MK, Cassman KG, Grassini P, Wolf J, Tittone P, Hochman Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field Crops Research* **143**:4–17.
- Van Roekel RJ, Purcell LC, Salmerón M. 2015. Physiological and management factors contributing to soybean potential yield. *Field Crops Research* **182**:86–97.
- Vijaya Raghavan GS, Harper JM, Kienholz EW. 1974. Nutritive value of salt-bed roasted Soybeans for broiler chicks. *Poultry Science* **53**:547–553.
- Vollmann J. 2016. Soybean versus other food grain legumes: A critical appraisal of the United Nations International Year of Pulses 2016. *Die Bodenkultur: Journal of Land Management Food and Environment* **67**:17–24.
- Vonlanthen T, Tallant M, Baux A. 2023. Liste der empfohlenen Sojasorten für die Ernte 2024. Agroscope Transfer. Available from <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/en/home/topics/plant-production/field-crops/crops/soja/sortenlisten-soja.html> (accessed March 2024).
- Wang C, Wu T, Wu C, Jiang B, Sun S, Hou W, Han T. 2015. Changes in photo-thermal sensitivity of widely grown Chinese soybean cultivars due to a century of genetic improvement. *Plant Breeding* **134**:94–104.
- Wei MCF, Molin JP. 2020. Soybean yield Estimation and its components: A linear regression approach. *Agriculture* **10**:348.
- Wenda-Piesik A, Kazek M. 2016. Productivity of early maturing cultivars of Soybeans (*Glycine max* L. Merr) in north-western Poland. 14th ESA Congress, Edinburgh. Available from <https://www.researchgate.net/publication/308916626> (accessed March 2024).
- Wheeler T, Von Braun J. 2013. Climate change impacts on global food security. *Science* **341**:508–513.
- Wiederholt R, Albrecht K. 2003. Using soybean as forage. *Focus on forage* **5**(13):1–2.
- Wolf L, Schätzl R. 2017. Wettbewerbsfähigkeit der Öko-Sojabohne in der Praxis Ergebnisse aus dem deutschen Soja-Netzwerk. 14. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Freising-Weißenstephan. Available from <https://orgprints.org/id/eprint/31921/> (accessed March 2024).
- Xiao CW, Wood CM, Robertson P, Gilani GS. 2012. Protease inhibitor activities and isoflavone content in commercial soymilks and soy-based infant formulas sold in Ottawa, Canada. *Journal of Food Composition and Analysis* **25**:130–136.
- Yang W, Wu T, Zhang X, Song W, Xu C, Sun S, Hou W, Jiang B, Han T, Wu C. 2019. Critical photoperiod measurement of Soybean genotypes in different maturity groups. *Crop Science* **59**:2055–2061.
- Žák Š, Hašana R, Bušo R. 2014. *Metodika pěstování sóji*. ProfiPress, Praha.

- Žalud Z, et al. 2020. Zemědělské sucho v České republice - vývoj, dopady a adaptace. Agrární komora České republiky, Praha. Available from <https://www.intersucho.cz/userfiles/file/ZemedelskeSucho.pdf> (accessed March 2024).
- Žalud Z, et al. 2023. Změna klimatu a sucho v zemědělské krajině od roku 2015. Mendelova univerzita v Brně. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/management-a-legislativa/management/zmena-klimatu-a-sucho-v-zemedelske-krajine-od-roku-2015> (accessed March 2024).
- Žalud Z, Hlavinka P, Zahradníček P, Štěpánek P, Semerádová D, Bartošová L, Možný M, Trnka M. 2016. Monitoring zemědělského sucha v České republice. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i./Mendelova univerzita v Brně. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/monitoring-zemedelskeho-sucha-v-ceske-republice> (accessed March 2024).
- Zander P, et al. 2016. Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **36**:1–20.
- Zarina L, Zarina L, Piliksere D, Cerina S. 2021. Gross margin comparison of cultivation of different legume species in the organic farming system. *Agronomy Research* **19**:1216–1222.
- Zhang B, Chen P, Florez-Palacios SL, Shi A, Hou A, Ishibashi T. 2010. Seed quality attributes of food-grade soybeans from the U.S. and Asia. *Euphytica* **173**:387–396.
- Zhang F, Charles TC, Pan B, Smith DL. 1996. Inhibition of the expression of *Bradyrhizobium japonicum* nod genes at low temperatures. *Soil Biology and Biochemistry* **28**:1579–1583.
- Zhang F, Lynch DH, Smith DL. 1995. Impact of low root temperatures in soybean [*Glycine max.* (L.) Merr.] on nodulation and nitrogen fixation. *Environmental and Experimental Botany* **35**:279–285.
- Zhang H, Prithiviraj B, Charles TC, Driscoll BT, Smith DL. 2003. Low temperature tolerant *Bradyrhizobium japonicum* strains allowing improved nodulation and nitrogen fixation of soybean in a short season (cool spring) area. *European Journal of Agronomy* **19**:205–213.
- Zhang LX, Liu W, Tsegaw M, Xu X, Qi YP, Sapey E, Liu LP, Wu TT, Sun S, Han TF. 2020. Principles and practices of the photo-thermal adaptability improvement in soybean. *Journal of Integrative Agriculture* **19**:295–310.
- Zhang LX, Kyei-Boahen S, Zhang J, Zhang MH, Freeland TB, Watson CE, Liu X. 2007. Modifications of optimum adaptation zones for Soybean maturity groups in the USA. *Crop Management* **6**:1–11.
- Zhao J, et al. 2022. Priority for climate adaptation measures in European crop production systems. *European Journal of Agronomy* **138**:126516.
- Zimmer S, Messmer M, Haase T, Piepho HP, Mindermann A, Schulz H, Habekuß A, Ordon F, Wilbois KP, Heß J. 2016. Effects of soybean variety and *Bradyrhizobium* strains on yield, protein content and biological nitrogen fixation under cool growing conditions in Germany. *European Journal of Agronomy* **72**:38–46

