



Hrách je tradiční
luskovina našich polí

Hrách přispívá ke zvýšení
úrodnosti půdy

 **AGRÁRNÍ KOMORA**
České republiky


MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

Luskoviny zaujímají mezi
plodinami jedinečné místo,
protože živí jak půdu, tak lidi.

Sir R. H. Biffen

Publikace Agrární komory České republiky

HRÁCH SETÝ

Vedoucí autorského kolektivu
Ing. Pavel Procházka, Ph.D.

Obsah

1.	Původ a domestikace (Holec)	7
2.	Systematika hrachu (Holec)	8
3.	Historie pěstování hrachu na území ČR (Holec)	11
3.1.	Počátky pěstování hrachu	11
3.2.	Středověk a počátek novověku	12
3.3.	19. století a zavedení pěstování pelušky	13
3.4.	Počátek 20. století	15
3.5.	90. léta 20. století až současnost	17
3.6.	Hrách jako modelová rostlina	19
4.	Biologické vlastnosti (Holec)	22
5.	Vývoj rostliny hrachu (Holec)	30
6.	Nároky na prostředí (Holec)	38
7.	Osivo hrachu (Procházka)	39
7.1.	Klíčení semen	39
7.1.1.	Klíčivost osiva a polní vzcházivost	40
7.2.	Stárnutí semen	41
7.3.	Metody zjišťování vitality osiva	45
7.3.1.	Konduktivita	45
8.	Úpravy osiv před založením porostu hrachu (Procházka, Brant)	46
8.1.	Inokulace osiva hrachu	47
8.1.1.	Význam inokulace	47
8.1.2.	Rizika při inokulaci osiva a manipulaci s ním	49
8.1.3.	Metody inokulace (Brant, Procházka)	50
8.2.	Fungicidní moření (Procházka P.)	53
9.	Pěstební technologie (Brant, Procházka, Holejšovský, Dreksler)	55
9.1.	Agroekologické nároky hrachu (Procházka)	55
9.2.	Technologie zakládání porostů hrachu (Brant)	56
9.2.1.	Seťové lože a uložení semen v půdě	56
9.2.2.	Prostorové rozmístění půdní hmoty	56
9.2.3.	Voda a vzduch v půdě	57
9.2.4.	Bobtnání, klíčení a vzcházení	58
9.2.5.	Hloubka uložení osiva	59
9.2.6.	Orientace uložení semene v půdě	62
9.2.7.	Vzájemná konkurence semen a rostlin	63
9.2.8.	Struktura porostů a vývoj rostlin	64
9.2.9.	Variabilita rozmístění rostlin	64
9.2.10.	Vývoj rostlin ve vztahu ke struktuře porostu	65
9.3.	Pěstování hrachu setého v širších řádcích (Brant)	73
9.4.	Vnitrodruhová variabilita rostlin (Brant)	81
9.5.	Hrachy jako pomocná plodina (Brant, Procházka)	81
9.5.1.	Hrách polní a rolní jako pomocná plodina	82
9.5.2.	Dynamika růstu a role pomocné plodiny	83

9.5.3.	Kvalitativní parametry nadzemní a podzemní biomasy	87
9.6.	Využití hrachů v porostech ozimé řepky (Brant, Procházka)	91
9.6.1.	Efekty pomocných plodin v porostech ozimé řepky	92
9.6.2.	Vliv na půdní vlastnosti	92
9.6.3.	Regulace plevelů pomocnými plodinami	93
9.6.4.	Výnosy ozimé řepky při využití pomocných plodin	96
9.6.5.	Další systémy pěstování ozimé řepky s pomocnou plodinou	100
9.7.	Využití hrachů v porostech obilnin (Brant)	100
9.7.1.	Využití ozimých a jarních forem	100
9.7.2.	Výnosy ozimé pšenice	102
9.8.	Využití hrachů v porostech brambor (Holejšovský)	104
9.8.1.	Ověřování v podmínkách České republiky	105
9.8.2.	Vývoj porostů během vegetace	108
9.8.3.	Vliv na produkci a kvalitu hlíz	108
9.9.	Hrachy a ozelenění meziřadí ve chmelnicích (Dreksler, Brant)	109
10.	Výživa a hnojení hrachu (Procházka)	113
10.1.	Dusík	113
10.2.	Draslík	113
10.3.	Hořčík	114
10.4.	Stimulace hrachu	114
11.	Ochrana proti škodlivým činitelům (Procházka)	115
11.1.	Regulace zaplevelení	115
11.2.	Škůdci	115
11.3.	Choroby	117
12.	Sklizeň hrachu (Procházka)	117
13.	Potravinářské využití hrachu (Jurkaninová)	119
13.1.	Chemické složení a výživová hodnota	119
13.1.1.	Bílkoviny a aminokyselinové složení	120
13.1.2.	Tuky	120
13.1.3.	Sacharidy	121
13.1.4.	Vláknina	121
13.1.5.	Minerální látky a vitaminy	121
13.1.6.	Minerální látky	121
13.1.7.	Vitaminy	122
13.1.8.	Výživová hodnota	122
13.1.9.	Antinutriční látky	123
13.1.10.	Bioaktivní látky a zdravotní účinky	124
13.1.11.	Alergenní potenciál hrachových proteinů	124
13.2.	Senzorické vlastnosti a odrůdové rozdíly	125
13.3.	Potravinářské využití hrachu a jeho složek	125
13.3.1.	Mlýnské výrobky	126
13.1.4.	Proteinové koncentráty a izoláty, rostlinné náhrady masa	126
13.1.5.	Hrachové nápoje a jogurty	127
13.1.6.	Klíčené produkty z hrachu	127
13.1.6.	Enkapsulační systémy a obalové materiály	127
14.	Pícní využití hrachu (Hakl)	128
15.	Seznam literatury	130

Předmluva

Hrách setý je dlouhodobě nedílnou součástí plodin pěstovaných v české republice a současně je z hlediska objemu pěstování nejvýznamnější luskovinou našich polí. Hrách v posledních letech prodělal velký rozvoj jednak z hlediska rozšíření a jednak z hlediska pěstebních technologií. Na základě těchto skutečností vznikla potřeba shrnout jak dosavadní poznatky, tak i poznatky současného výzkumu do komplexní publikace. Vznikla tak publikace, která přináší shrnutí dosavadních postupů a informací, ale také shrnutí současného výzkumu včetně původních výsledků jednotlivých autorů kolektivu Katedry agroekologie a rostlinné produkce ČZU v Praze a zároveň Centra precizního zemědělství při ČZU v Praze.

Abstrakt

Hrách setý je v agroekologických podmínkách ČR dlouhodobě nejvýznamnější luskovinou. Od roku 2013, kdy byla v Čechách historicky nejnižší plocha hrachu, se jeho pěstování opět rozšířilo na současné plochy okolo 50 tisíc hektarů. V současných měnících se agroekologických podmínkách a neustále se měnící legislativou, dochází v posledních letech k výraznému posunu využití hrachu v pěstebních systémech zemědělských podniků.

Předkládaná publikace zahrnuje současné trendy zakládání porostů hrachu jak klasicky, nebo v systémech, které využívají hrách jako pomocnou plodinu a to standardních, dosud používaných technologií, tak i principů precizního zemědělství. V publikaci je dále shrnutí vývoje pěstování hrachu od historie po současnost, možností potravinářského a pícního využití. Vzhledem k důrazu na kvalitu osiva při zakládání porostů hrachu je zde věnována značná pozornost vitalitě osiva a možnostem ovlivnění kvality zakládání porostů.

V publikaci je zahrnuta celá řada originálních výsledků jednotlivých autorů, kteří se problematikou hrachu zabývají již řadu let, a to jak vitalitou osiva, tak i modifikací pěstební technologie a implementací principů precizního zemědělství.

Abstract

In the agroecological conditions of the Czech Republic, field peas have long been the most important legume crop. Since 2013, when the area sown with peas reached its historical minimum, their cultivation has expanded again and currently covers approximately 50,000 hectares. Under changing agroecological conditions and an evolving legislative framework, the role of peas within the cropping systems of agricultural enterprises has undergone a significant shift in recent years.

This publication addresses current trends in pea cultivation, both in conventional systems and in cropping systems where peas are used as a companion crop, incorporating standard cultivation technologies as well as principles of precision farming. It also provides an overview of the historical development of pea cultivation up to the present, including its uses for food and feed. Given the emphasis on seed quality in pea production, particular attention is devoted to seed vitality and approaches to influencing crop establishment and overall production quality.

The publication presents a number of original findings by authors with long-term experience in pea research, focusing on seed vitality, the modification of cultivation technologies, and the implementation of precision farming principles.

Původ a domestikace

Hrách (rod *Pisum* L.) patří do čeledi rostlin bobovitých (*Fabaceae*). K jeho nejbližším příbuzným patří hrachor (rod *Lathyrus*) a dále rod *Vavilovia*, což jsou vytrvalé rostliny s nápadnými květy. Jediný druh tohoto rodu, *V. formosa*, roste ve vysokohorských oblastech Kavkazu, kde vytváří nízké trsy s podzemním oddenkem. *Vavilovia* byla dokonce určitou dobu řazena k hrachům, byla označována jako druh *Pisum formosum* a tvoří přechod mezi rody hrách a hrachor. Všechny tyto tři rody jsou si natolik blízce příbuzné, že je některé botanické systémy řadí do jediného rodu *Lathyrus*, hrách je pak označován jako *Lathyrus oleraceus*, což je název, který navrhl již J. B. Lamarck v roce 1779.

V rámci rodu *Pisum* jsou obvykle rozlišovány dva druhy, a to *P. sativum* L., hrách setý, a *P. fulvum* Sibth. & Sm., planý druh hrachu se žlutooranžovými květy. Areál jeho přirozeného výskytu je omezen na Blízký Východ, ale zavlečen byl i do Severní Ameriky. Zřídka bývá pěstován, někdy i jako okrasná rostlina, větší význam má coby genetický zdroj pro šlechtění hrachu, především jako potenciální donor rezistence k houbovým chorobám kulturního hrachu, ale například i k napadení zrnokazem hrachovým. Někdy bývá samostatně vyčleňován i druh *P. abyssinicum* A. Braun, který je pěstován v oblasti Etiopie a Jemenu, pravděpodobně je ale hybridního původu a častěji bývá označován jen jako poddruh hrachu setého (*P. sativum* subsp. *abyssinicum*).

Planá forma hrachu, *P. sativum* subsp. *elatius*, (syn. *P. elatius*, *P. humile*) se přirozeně vyskytuje ve velké části Středomoří a na Blízkém Východě, tedy v oblasti jižní a jihovýchodní Evropy, severní Afriky, jihozápadní Asie. V rámci Evropy se s ním můžeme setkat až po Maďarsko, dříve se předpokládal jeho možný výskyt i na jižním Slovensku (nedoložené údaje). Jedná se o poddruh hrachu podobný pelušce, vyznačuje se pestrými červenofialovými květy a drobnými, tmavými semeny. Lodyhy dorůstají délky až 2 m. Přirozeně roste ve stepních trávnících, křovinách, na okrajích řídkých lesů. Již tento planý hrách byl lidmi konzumován jako potrava dávno před jeho domestikací. Doklady o tom byly nalezeny například na lokalitě jeskyně Shanidar v pohoří Zagros v dnešním Iráku a jsou datované do doby před 46 000 lety, kdy zde žili zástupci neandrtálců.

K domestikaci hrachu došlo v oblasti Blízkého Východu (Levanta) přibližně před 11 000 lety, hrách je tedy jednou z nejstarších kulturních rostlin a společně s čočkou také nejstarší domestikovanou luskovinou v této oblasti. Hrách je řazen mezi tzv. zakladatelské plodiny Úrodného půlměsíce. První doklady o jeho pěstování pocházejí z dnešní Sýrie a Izraele. K vlastní domestikaci došlo pravděpodobně nezávisle na sobě na několika místech. Domestikované formy se od planých lišily tenším osemením, což umožňovalo snadnější konzumaci semen, většími semeny a menší pukavostí lusků. Tato domestikovaná forma byla součástí souboru plodin, který si první zemědělci přinášeli na nová místa k osídlení. Jak se postupně zemědělství šířilo z oblasti svého vzniku, šířilo se tedy i pěstování hrachu.

Systematika hrachu

Vědecký název *Pisum sativum* přiřadil hrachu setému v roce 1753 Carl Linné. Synonymem je pak název *Pisum commune*, který publikoval v roce 1884 botanik Armand Clavaud. Linné ve svých pracích rozlišoval hrách setý (*P. sativum* L.) a hrách rolní (*P. arvense* L.) jako samostatné druhy. Toto pojetí se uplatňovalo až do druhé poloviny 20. století. Již od počátku 19. století byl hrách rolní v některých pracích považován jen za poddruh hrachu setého, v rámci něhož pak byly v případě kulturního hrachu rozlišovány poddruhy *P. sativum* subsp. *sativum* a subsp. *arvense* (hrách setý rolní). V rámci subsp. *sativum* pak byly odlišovány konvariety či variety *sativum* (hrách setý polní, obrázek 1), *medullare* (hrách setý dřeňový) a *saccharatum* (hrách setý cukrový), s tím, že poslední dvě konvariety byly souhrnně označovány jako hrách zahradní. Některé systémy vnitrodruhového členění hrachu setého nepracují se samostatnými skupinami zahradního hrachu, ale jednotlivé odrůdy této skupiny přiřazují coby zahradní formy jak k hrachu polnímu, tak k peluškám, podle znaků jako je barva květů a semen. Později se upustilo i od členění pěstovaných forem hrachu na jednotlivé poddruhy a druh *Pisum sativum* se ve své kulturní formě členil jen na konvariety *sativum*, *speciosum* (syn. *arvense*), *medullare* a *sachcaratum*. Botanická literatura v rámci názvosloví kulturních rostlin postupně upustila od používání termínu konvarieta a přešla nejprve na označení „skupina odrůd“, které znamená prakticky totéž, co konvarieta (doslova soubor variet, tedy odrůd),



Obrázek 1: Úponkový typ polního hrachu na počátku květu (foto Holec).

v současnosti se pak preferuje jen označení „skupina“. Tento přechod od poměrně striktně vymezených taxonomických kategorií typu poddruh je vcelku logický, neboť zvláště odrůdy zahradního hrachu představují velmi pestrou skupinu se znaky jak hrachu polního, tak i pelušky.

V rámci odrůd hrachu pěstovaných na našem území tedy můžeme rozlišovat následující skupiny:

Skupina *Sativum* – polní hrách pěstovaný pro suchá semena k potravinářskému využití, uplatnění ale nacházejí i v krmivářství. Kvete bíle, semena jsou kulovitá, s hladkým povrchem, žlutá nebo zelená, mají dobrou vařivost (vařením postupně měknou). Jedná se o dominantní formu hrachu pěstovanou na orné půdě v ČR v čisté kultuře, v menší míře jsou odrůdy polního hrachu pěstované i ve směskách ke krmným účelům, jako meziplodiny a na zelené hnojení. V současné době v této skupině převládají odrůdy intermediárního vzrůstu, úponkového typu (obrázek 1).

Skupina *Speciosum* (syn. *Arvense*) - peluška, krmný hrách, rolní hrách – kvete pestře, květy jsou červenofialové (obrázek 2), červené nebo růžové, u báze palistů je antokyanově zbarvená skvrna (prstenec), zralá semena jsou kulovitá (častěji) nebo hranatá, šedá, hnědá nebo pestře zbarvená - mramorovaná, nahořklá. Nemají potravinářské užití, dají se omezeně využít ke krmným účelům (holubi). Peluška je významnou krmnou luskovinou, je pěstována především k produkci biomasy jak k pícnímu využití, tak jako významný a dnes v podstatě nezastupitelný komponent směsí mezipločin, na zelené hnojení apod. Oproti polnímu hrachu vytváří větší množství biomasy a lépe snáší i horší podmínky prostředí, je ji možné tedy pěstovat i tam, kde se již polnímu hrachu nedaří. Oproti polnímu hrachu se v případě pelušek ve větší míře využívají i ozimé odrůdy jako součást ozimých směsek.



Obrázek 2: Kvetoucí porost pelušky (foto Holec).

Skupina *Medullare* - dřeňový hrách – kvete bíle, semena jsou zhranatělá, většinou zelená, zralá nejsou vařivá. Sklízají se nezralá zelená semena, tzv. hrášek, který se následně konzervuje (zamražením, sterilací) a využívá v kuchyni, případně i celé lusky, které se využívají jako plodová zelenina. Dřeňový hrách je pěstován jak ve velkovýrobní technologii, tak i drobnými pěstiteli v rámci samozásobitelství. Dnes se k dřeňovým hrachům řadí i odrůdy hrachu na vylupování, tedy pěstované na sklizeň zelených lusků (obrázek 3), z nichž se následně po vyloupenutí zelená semena bezprostředně konzumují, obvykle za čerstva (syrova) bez další úpravy. V této skupině se vyskytují i odrůdy kvetoucí pestře, s různou barvou a tvarem semen. Některé z nich byly dříve řazeny i mezi pelušky.



Obrázek 3: Odstupňované výsevy zahradního hrachu pro postupnou sklizeň zelených lusků (foto Holec).

Skupina *Axiphium* (syn. *Saccharratum*, *Macrocarpon*) – cukrový hrách – kvete bíle nebo pestře, semena jsou hladká a kulatá, nebo slabě kulovitě hranatá až hranatá, chlopně lusků jsou na rozdíl od ostatních skupin odrůd hrachu bez pergamenové blány, díky tomu jsou lusky za zelena křehké a chutné, lusky je tudíž možné konzumovat celé a využívat jako lahůdkovou zeleninu jak za čerstva, tak po kuchyňské úpravě (podobně jako fazolové lusky). Celé lusky jsou často dokonce chutnější, sladší než samotná semena. Absence pergamenové blány vede k tomu, že za plné zralosti chlopně lusků nedrží pevný tvar, ale sesychají se kolem semen, což dává luskům charakteristický „růžencovitý“ tvar. Oproti ostatním skupinám hrachu tedy lusky cukrových odrůd nejsou tzv. luštivé. Cukrový hrách je pěstován především drobnými pěstiteli, případně zelinářskými podniky.

Odrůdy dřeňového a cukrového hrachu jsou společně označovány jako zahradní hrách (obrázek 3), jejich sklizená zelená semena pak jako hrášek (pro odlišení od suchých semen polního hrachu). Kvůli relativně velkému sklonu k poléhání se některé odrůdy tzv. zahradního hrachu pěstují ve směsných kulturách například se zahradním bobem (obrázek 4).



Obrázek 4: Zahradní hrách v samozásobitelské kultuře pěstovaný společně se zahradním bobem (foto Holec).

Historie pěstování hrachu na území ČR

Počátky pěstování hrachu

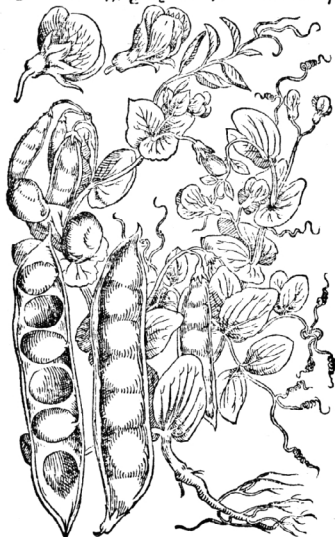
Hrách patří k nejstarším plodinám, pěstovaným na našem území. Byl k nám přinesen již prvními zemědělci na počátku období neolitu, které se u nás datuje do doby před 7 500 lety. Společně s pšenicí jednozrnkou, dvouzrnkou, čočkou a lnem byl základem pravěkého zemědělství ve střední Evropě. Právě díky pěstování luskovin s jejich vyšším obsahem proteinů byli již pravěcí zemědělci schopni získávat nutričně hodnotnou a pestrou stravu, kterou by jim dominantní obilniny nemohly samostatně poskytnout. Zpočátku se pravděpodobně pěstovaly formy hrachu podobné spíše peluše, ještě v době římské autoři uvádějí, že hrách není příliš oblíbený, ani chutný. Následně však převládly formy typické pro dnešní polní hrách a ty se v našich zemích staly jedním ze základů jídelníčku. Pozici hlavní pěstované luskoviny si hrách podržel až do dnešních dní.

Středověk a počátek novověku

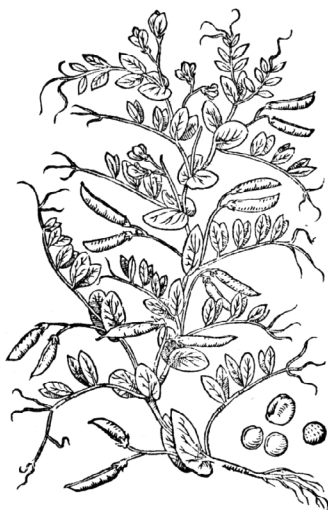
Ve středověku byl hrách typickým jídlem Čechů. V této době, s jejím převládajícím dvoupolním a následně trojpolním systémem hospodaření, byly luskoviny pěstovány především zahradnickým způsobem, na menších plochách v blízkosti obydlí. Hrách byl konzumován v podobě vařených semen, nebo kaší, polévek. Nabobtnalý, naklíčený a následně opražený hrách se nazýval pučálka.

Podle Mattioliho herbáře (obrázek 5), vydaného česky v překladu a úpravě Václava Hájka z Libočan v letech 1562 a 1596, se v našich zemích hrách běžně pěstoval: „Hrách Čechům výborně známý, dvojí se nachází: větší aneb zahradní a menší aneb polní. Veliký hrách zahradní, kterýž také bohatý slove, má prut prázdný, na šíř po zemi se rozkládající, aneb s pomocí a podepřením tyček a stromů nahoru se pnoucí. Mezi prutem a listím, kteréž ze všech stran jako v kolo roste, vyrůstají také jiní malí pazouškové, kteříž mají s obou stran jiné, okrouhlé, tučné, děteli podobné listí proti sobě osazené. Špičky těch metliček aneb ručičky jsou tenké, jako nitky, jimiž se hrachoviny na koly, tyčky a stromy váží a vzhůru táhnou. Mezi již dotčeným opeřeným a okrouhlým listím vycházejí ven malé, hladké, krátké proutky a ti nesou květy barvy tělné

Hrách větší Zahradní. Pisum majus.



Hrách menší Polní. Pisum minus.



Obrázek 5: Ilustrace hrachu většího a menšího v Mattioliho herbáři z roku 1596 (Mattioli, P. A.: Herbář aneb bylinář, 1596, reprint B. Kočí, 1924).

aneb bílé, formy a podobenství motejle, vždycky dva spolu vedle sebe, z nichž potom vyrostají lusky a v těch leží zrna okrouhlá aneb hrách. Koření jest velmi malé a mdlé. Malý polní hrách jest zahradnímu podobný, však v podstatě i všech částkách svých drobnější, a ne tak chutný. Roste rozkládaje se na zemi bez podpor, aniž se pne nahoru, a kvete bílým květem. Hrách obyečně z jara sejí a v létě jej trhají a z pole klidí.“

O konzumaci hrachu Mattioliho herbář (obrázek 5) uvádí: „Hrách syrový není dobrý: zarožuje zlé vlhkosti a zacpává prsy. Vařený posiluje žaludka a zahřívá, zvláště dřený a tlučený. Nedřený nadýmá břicho, činí foukání a vzbuzuje povětrnosti. Polévka hrachová také dobrá jest nemocným, posiluje přirození.“

Větší hrách se semeny šedožlutými se pěstoval především v úrodnějších a klimaticky příznivějších oblastech s hlubšími půdami, menší hrách s bílými semeny pak v oblastech méně úrodných, podhorských až horských. Menší hrách se sklízel v průběhu července, větší hrách byl pozdnější. Odrůdy typu cukrového hrachu pro konzumaci celých lusků se objevují až v průběhu 17. století, kdy se šířily ze západní Evropy (Anglie, Francie, Holandsko) a byly v té době považovány za delikatesu. Hrách na sklizeň zelených lusků se pěstoval především v okolí větších měst.

19. století a zavedení pěstování pelušky

Peluška, tak jak jí známe dnes, nebyla na našem území dlouho pěstována, rozšířila se až koncem 19. století (obrázek 6). Jedinci, řazení dříve ke druhu *Pisum arvense*, však známi byli. Hrách rolní, označovaný také jako hrách šerý (= tmavý), rostl na polích hlavně jako plevel v obilí, jen v malé míře bylo uváděno jeho pěstování ke krmným účelům. Ještě v polovině 19. století byli jedinci hrachu s pestrými květy a tmavými semeny považováni za křížence mezi hrachem a vikví. Hospodářům se proto doporučovalo nepěstovat hrách v blízkosti porostu vikve, aby k tomuto údajnému křížení nedocházelo. Název peluška se objevuje až se zavedením odrůd této skupiny, využívaných jako krmný hrách pro produkci biomasy na půdách pro



Obrázek 6: Barevná ilustrace hrachu z druhé poloviny 19. století (Obrazy rostlin jedovatých i pěstovaných, I.L. Kober, 1874).

běžný hrách nevhodných, především písčitých. Proto se peluše také přezdívalo hrách písečný. První pelušky, které se k nám koncem 19. století dostaly, pocházely z baltského pobřeží dnešního Polska, tehdy Západního Pruska. Samotný název peluška byl proto mnohými autory mylně odvozován od pruského města (obce) Pelušky, též psaného Palušky, německy Pale-schken, odkud se k nám údajně mělo pěstování pelušky rozšířit. Proto se v počátcích pěstování někdy peluška česky nazývala také paluška. Samotné tehdejší pruské zdroje z oblastí, kde se tato forma hrachu původně pěstovala, ale uvádějí, že německý název pelušky, tedy Peluschke, je převzatý z polského názvu odrůd hrachu, pěstovaných poblíž či přímo na pobřežních písčitých dunách. Vlastní název peluška pak pochází z ukrajinštiny, kde peljuška znamená plenku a odkazuje na tvar květu, který se dětské plence podobá. Zavedení odrůd typu pelušky vedlo k rozšíření pěstování krmného hrachu pro biomasu a vytlačilo postupně u nás tradičnější vikev setou, která byla v minulosti typickou krmnou luskovinou horských poloh; její pěstování se udrželo jen tam, kde se ani peluše již příliš nedařilo – na „nejhubenějších“ polích. Peluška se často pěstovala ve směsích s ovsem, dozrávala poměrně pozdě, někdy až v říjnu.

Ve druhé polovině 19. století byly luskoviny považovány za druhou nejvýznamnější skupinu polních plodin, hned po obilninách. Luštěniny byly označovány za „maso“ chudých dělníků. Jejich výborná předplodinná hodnota pro obilniny byla dávana do souvislosti s hlubokým kořenovým systémem, který měl odebírat živiny jen z větších hloubek, zatímco blíže k povrchu měly zůstat k dispozici právě pro mělčeji kořenící obilniny, navíc se tato vrstva obohacovala posklizňovými zbytky. Proto se doporučovalo sít luskoviny místo úhoru. To pak získalo na významu s přechodem ke klasickému střídání plodin, kdy bylo potřeba mít vhodné předplodiny pro obilniny. Hluboký kořenový systém hrachu měl také být příčinou nesnášenlivosti hrachu na opakované pěstování po sobě. Uvádělo se, že hrách je na předplodinu nenáročný, lze jej pěstovat po jakékoliv jiné plodině, jen ne sám po sobě – doporučovaný odstup byl 6–10, někdy i 12 let. Příčina se hledala opět v kořenovém systému – hrách měl půdy vyčerpat v hloubce, kde se úrodnost špatně obnovovala. V případě hrachu se jinak uváděla jeho nenáročnost na půdu, výjimkou byl písek, těžký jíl a mokřina, kde se hrachu nedařilo. Také vařivost semen hrachu byla dávana do vztahu s půdou, kdy na půdách s nízkým obsahem vápníku se měla vařivost zhoršovat. Vědělo se, že hrách je nenáročný na výživu – „Pohnojením hrachu nepomůžeš – po čerstvém hnoji roste hodně do slámy, ale málo do zrna.“

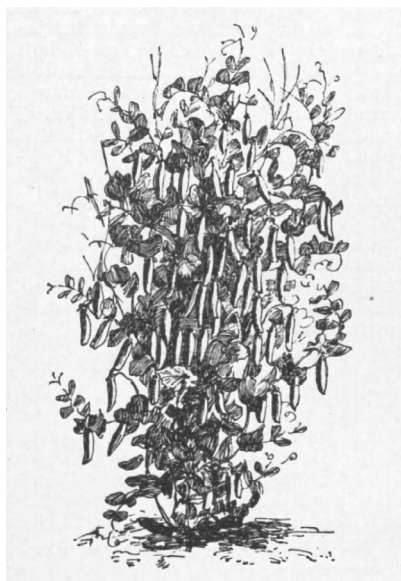
Příprava půdy byla méně kvalitní, než v případě obilnin – často se strniště po obilnině oralo až na jaře a hned poté se hrách sel. To především v případě, že následoval po jarní obilnině. Po ozimech se klasicky doporučovala podmítka ihned po sklizni a pak podzimní orba. To se ale doporučovalo jen na těžkých půdách. Na lehkých se orba nechávala až na jaro, často se hrách vysel na široko na strniště a pak se mělce zaoral. Setí hrachu probíhalo od poloviny března až do května, nejen podle podmínek prostředí, ale i podle zvyku. Neměl být setý do příliš vlhké půdy – hrách nechce, aby jej rolník do půdy zamazal. Sel se hlouběji než obilí, na lehčích půdách se po vysetí zaoral, na těžších se zapravoval kypřičem, pospěchem. Na lepších půdách a v případě, že se měl okopávat, se snižoval výsevek. Do širších řádků (1,5 střevice, stopy, cca 50 cm) se hrách sel tehdy, když se měl následně oborávat. Užší řádky (8–10 palců, cca 20–25 cm) se používaly ve všech ostatních případech. Po vzejití se doporučovalo porost lehce převláčet, hlavně v případě, že byla půda slehlá. Vhodnější, ale pracnější, bylo okopávání, které kromě nakypření půdy významně regulovalo i plevel. Okopávalo se dvakrát, poprvé

při výšce kolem 10 cm, podruhé když rostliny začínaly poléhat. Také ruční pletí se doporučovalo, a to nejen vzhledem k vlastnímu hrachu, ale i k následné plodině – hrách byl citlivější k zaplevelení, které se projevilo i v dalších letech zaplevelením následných plodin. Ke škodlivým plevelům v hrachu byl v té době počítán oves hluchý nebo ohnice.

Sklizeň hrachu byla považovaná za obtížnou, už jen ohledně stanovení vhodné doby. Doporučovalo se sklízet, když větší díl dolejších lusků byl zralý a nečekat, až dozrají i horní lusky, ani až rostlina případně dokvete. I tak se počítalo s velkými ztrátami semen jejich vypadáním, zvláště za nepříznivého počasí. Časnější sklizeň měla výhodu i v tom, že hrachovina, sláma, měla vyšší kvalitu coby krmivo. Hrách se sekal kosou (doporučovala se travní), srpem nebo jen ručně vytrhával a následně se nechal doschnout v řadách, hrstech, nebo na rohatinách. Suchý hrách se pak nakládal do vozů, vyložených plachtou, a svážel se z pole na výmlat.

Počátek 20. století

První polovina 20. století (obrázek 7) přinesla pokles ploch luskovin, včetně hrachu. Konzumace luštěnin se postupně snižovala, tak, jak se měnily stravovací návyky, stejně tak na polích byly luskoviny nahrazovány technickými plodinami. Pěstováno bylo široké spektrum odrůd hrachu, ve velké míře zahraničního původu. Hrách byl využíván jako předplodina pro ozimé obilniny, hlavně pro žito. Byla známa jeho výborná předplodinová hodnota, zastupoval jetel s jeho zúrodňujícím efektem. Sám pak byl pěstován převážně po obilní předplodině, někdy i po bramborách nebo jeteli. Doporučený odstup pro pěstování na stejném pozemku byl 6 let. Nedoporučovalo se jeho pěstování na polích zaplevelených pýrem, neboť tímto plevem



Obrázek 7: Kresba hrachu z přelomu 19. a 20. století (Střiteský, J.: Nauka o pěstování rostlin hospodářských, 1894).

silně trpěl a pýr se v hrachu mohl rozrůst a škodit v následujících letech. Příprava půdy byla jednoduchá, po podzimní orbě následovalo mělké kypření na jaře. V březnu nebo dubnu se hrách sel do hloubky 5 – 8 cm, v lehčích půdách hlouběji, v těžších mělčeji. Šířka řádků byla 20-25-30 cm, výsevek 140 – 180 kg na ha při seti do řádků, a až 200 kg při seti na široko. V případě velkosemenných odrůd mohl být výsevek i vyšší, až k 240 kg/ha. Do zapojení porostu se doporučovalo hrách okopávat. Aby se předešlo poléhání, pěstoval se někdy ve směsi s bobem nebo s ovsem. Odrůdy s dlouhou lodyhou (především v zahradách cukrový hrách) se pěstovaly s oporou (tyče). V případě, že hrozil silnější mráz, mohl se porost mladého hrachu přikrýt rozházením rašeliny, kompostu nebo hnoje. To hrách zároveň chránilo před poškozením ptactvem. Za největšího škůdce hrachu byli považováni holubi.

Sklizeň probíhala v průběhu srpna nebo září. Po posečení a doschnutí na poli (do doby, než semena ztvrdnou) se svázal a mlátil, to již na stacionárních mlátičkách. Výnos býval kolem 1,2–1,4 t z ha, hrachoviny pak 1,2 - 2,8 - 5,5 t. Už v této době ale bylo možné dosahovat maximálních výnosů klem 3,0 t, naopak v horších podmínkách jen 1 t. Sklizený hrách se využíval jako potravina i krmivo, jen v případě dojnic se nedoporučoval, neboť sice zvyšoval tučnost mléka, ale měl snižovat dojivost a máslo vyrobené z mléka krav krmených hrachem mělo být tuhé, tvrdé. Hrachovina se považovala za výborné krmivo pro přežvýkavce.

V meziválečném období se také zintenzivnilo šlechtění hrachu, které probíhalo na celé řadě pracovišť, jako byly šlechtitelské ústavy či stanice Brno, Přerov, Klatovy, Dětenice, Stupice, Liblice, Židlochovice, Lipno či Zborovice. Odrůdy polního hrachu jako Klatovský zelený, Liblický bastard, Dětenický žlutý velkozrnný, Stupický zelený nebo Židlochovický zelený, v případě pelušky pak Stupická jarní, Klatovská jarní a Klatovská ozimá, se v sortimentu udržely až do druhé poloviny 20. století.

Druhá polovina 20. století

Po druhé světové válce se plochy luskovin zvýšily, rostly až do počátku 50. let, protože byl nedostatek potravin a omezily se zdroje z dovozu. Zároveň probíhalo další šlechtění, které vedlo k méně vzrůstným a více výnosným odrůdám. Postupně se upouštělo od ruční práce, pěstební technologie se více mechanizovala, setí se provádělo již jen secím strojem do řádků 24-30 cm širokých, hloubka setí 5-8 cm. Na zaplevelených půdách byly řádky až 36 cm od sebe, aby bylo možné porost opakovaně plečkovat. Stále se mohl využívat i přísevek ovesa či hořčice jako opory pro rostliny hrachu. Po válce se také vyséval hrách na osivo jako menší příměs do porostu ovesa. Hrách se sklízal vícefázově. V době, kdy se porost zbarvil žlutě a spodní lusky dozrály, se hrách pokosil a nechal doschnout na menších hromádkách na zemi, následně se svázal vozy vystlanými plachtou a mlátil. Výnosy kolísaly mezi 1,2 - 3,5 t/ha, v ojedinělých případech to mohlo být až 5 t/ha.

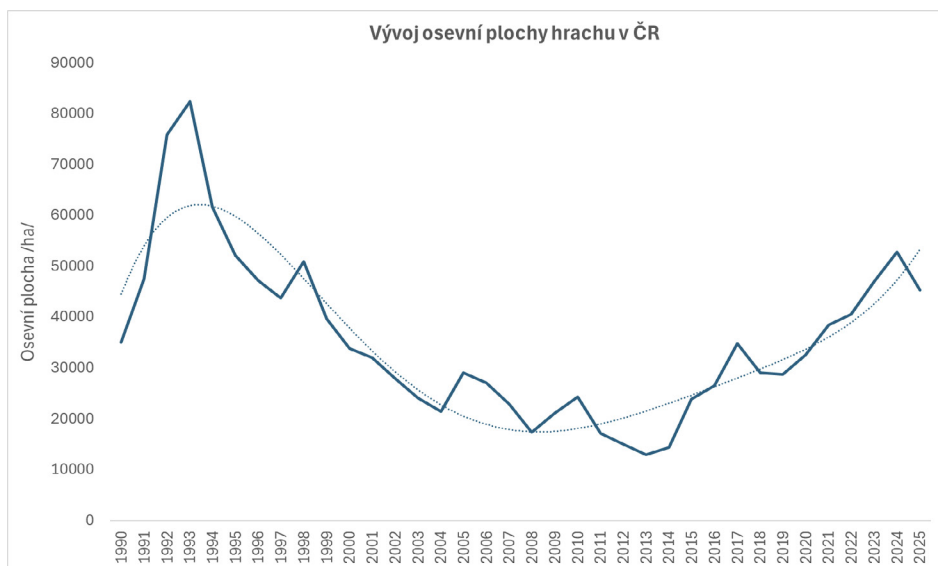
Po kolektivizaci zemědělství a přechodu na velkovýrobní technologie se plochy hrachu ani ostatních luskovin významně nezvýšily, ve srovnání s obilninami se jednalo o méně prošlechtěnou skupinu, byly na okraji zájmu zemědělských podniků a pěstební technologie se nemodernizovala. V systému regulace plevelů se postupně zaváděly herbicidy, upouštělo se od mechanické kultivace. V podstatě až do konce 70. let se hrách sklízal pouze vícefázově, kdy se nejprve posekal a nařádkoval, a až následně mlátil. Plochy hrachu soustavně klesaly, nejnížší byly počátkem 70. let, kdy se pohybovaly kolem pouhých 2 tisíc ha. Postupně se začínal

zvyšovat význam pěstování dřeňového hrachu, v souvislosti s tím, jak se od konzumace klasických pokrmů z hrachu (kaše) přecházelo k využívání sterilovaného či mraženého hrášku. Cukrové hrachy nebyly u nás v této době prakticky ve větší míře pěstovány, nebyla povolena žádná jejich odrůda. Šlechtění hrachu se věnovaly šlechtitelské stanice Dětenice a Čelechovice na Hané, později přešlo šlechtění této plodiny pod Výzkumný a šlechtitelský ústav technických plodin a luskovin Šumperk, v rámci něhož probíhalo na šlechtitelských stanicích Lužany a Horní Moštěnice.

V 80. letech pak začaly plochy hrachu výrazně růst. Zdůrazňovala se i nutnost omezit rozdělenost pěstování hrachu, tedy nejen celkové vyšší osevní plochy v rámci státu, ale i vyšší plochy v rámci samotných podniků (doporučovalo se min. 100-150 ha) a pěstování hrachu na větších pozemcích, aby se uplatnily progresivní prvky v pěstební technologii. Přecházelo se na užší řádky (10-25 cm, doporučovala se spíše nižší hranice 12,5 – 15 cm), hrách pro sklizeň semen se vyséval výhradně v čisté kultuře, s výsevkem 0,8 – 1 mil. klíčivých zrn na ha. Osivo se již ve větší míře mořilo. Proti škodlivým organismům se porosty ošetřovaly chemicky. Především regulace plevelů byla důležitá, neboť postupný přechod k intermediárním odrůdám znamenal menší konkurenční schopnost porostů hrachu vůči plevelům. Používaly se především preemergentní herbicidy. Sklizeň již byla pouze jednofázová, přímá, pomocí sklízecích mlátiček. Porosty se pro urychlení dozrávání začaly desikovat.

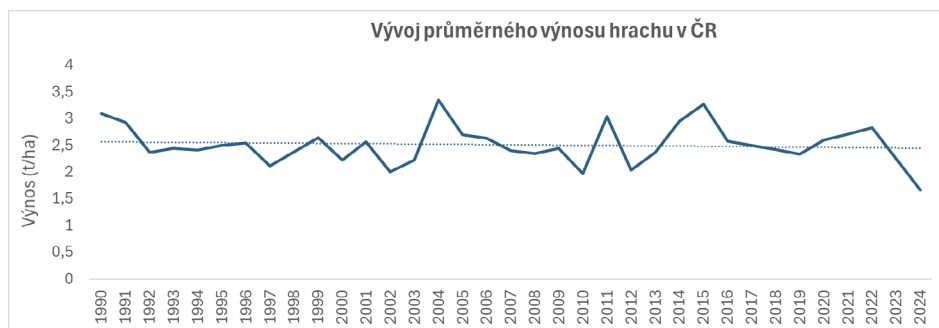
90. léta 20. století až současnost

90. léta pak přinesla skokový nárůst osevní plochy hrachu (rok 1993 – 82 tis. ha), v sortimentu se objevují odrůdy úponkového typu, převládají intermediární odrůdy. Šířka řádků se

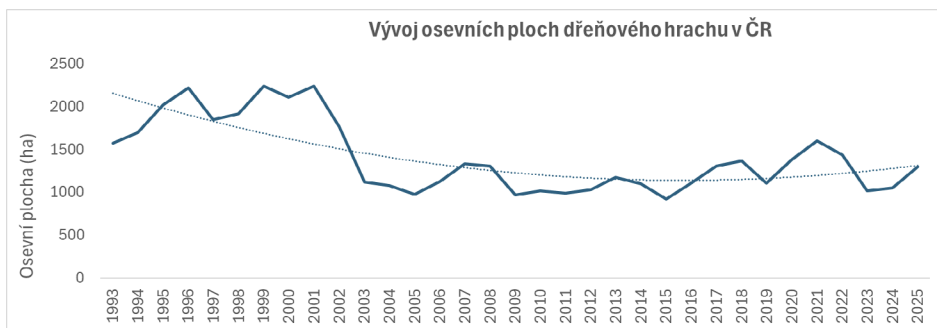


Obrázek 8: Vývoj osevních ploch hrachu pěstovaného na semeno na území ČR v letech 1990-2025. Zpracováno na základě dat FAOSTAT, ČSÚ.

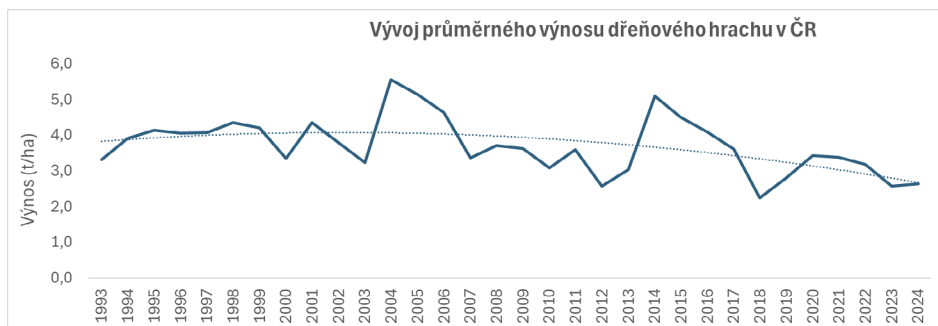
ustálila na 12,5 cm, výsevek 1-1,1 mil. klíčivých zrn na ha. S rozvojem alternativních systémů hospodaření se paralelně vytvářela také pěstební technologie vhodná pro extenzivní, environmentálně šetrné zemědělství. Po roce 2000 se, ale navzdory relativně stabilnímu výnosu (obrázek 9), zhoršovala ekonomika pěstování hrachu a jeho plochy se postupně snižovaly, v řadě let poklesly i pod 20 tis. ha (obrázek 8), a to i u dřeňového hrachu (obrázek 10), u kterého ovšem došlo i k poklesům výnosu (obrázek 11). Změny ve společné zemědělské politice, především důraz na pěstování plodin vázajících dusík, vedly v posledních letech k opětovnému nárůstu ploch hrachu, které se nyní pohybují mezi 45 -50 tisíci hektary. Kromě toho se také především peluška, ale i polní hrách uplatňují ve směsích meziplodin, v osevu biopásů a ozeleněných úhorů na podporu agrobiodiverzity. Díky své schopnosti fixovat vzdušný dusík se hrách také stal významnou pomocnou plodinou, vysévanou do porostů ostatních plodin. Vidíme uplatnění celé řady variantních pěstebních technologií, ať již jde o zpracování půdy, šířku rádků, regulaci plevelů apod. Díky pěstování hrachu máme k dispozici nejen produkci semen s vysokou výživnou a krmnou hodnotou, ale i výbornou předplodinu s pozitivním vlivem na půdní úrodnost.



Obrázek 9: Průměrný výnos semen hrachu na území ČR v letech 1990-2024. Zpracováno na základě dat FAOSTAT, ČSÚ.



Obrázek 10: Vývoj osevních ploch dřeňového hrachu na území ČR v letech 1993-2025. Zpracováno na základě dat FAOSTAT, ČSÚ.



Obrázek 11: Vývoj průměrného výnosu dřevňového hrachu na území ČR v letech 1993-2024. Zpracováno na základě dat FAOSTAT, ČSÚ.

Hrách jako modelová rostlina

Postavení hrachu v rámci pokusů, které stály u základů genetiky, je naprosto unikátní. dostupnost rostlin, jejich snadné pěstování, značná variabilita mnoha kvalitativních znaků, samosprašnost s minimem cizosprašení – to vše se podílelo na tom, že první badatelé v oblasti dědičnosti sáhli právě po hrachu.

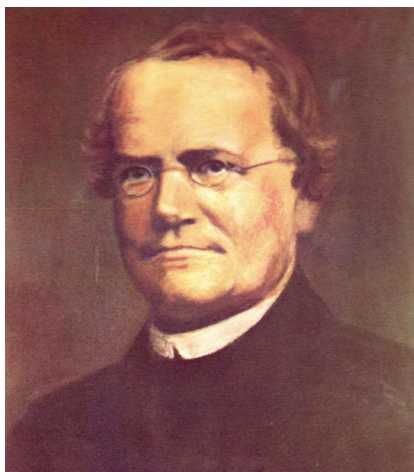


Obrázek 12: Thomas A. Knight (autor S. Cousins, 1836).

Již koncem 18. století konal pokusy s hrachem britský botanik a zahradník Thomas Andrew Knight (1759-1838) – obrázek 12. Ten chtěl sice původně studovat mechanismy rozmnožování v rámci procesu šlechtění jabloní, rychle ale dospěl k názoru, že v případě dlouhoolých dřevin, které jen pomalu vstupují do plodnosti, by to bylo na dlouho a že tedy jednoleté

plodiny budou pro studium reprodukce mnohem vhodnější. Ve své práci nazvané „An account of some experiments on the fecundation of vegetables“ vydané v roce 1799, se podrobně zabývá popisem výsledků svých pokusů s hrachem, které prováděl již od roku 1787. Hrách si vybral proto, že jednak mohl snadno sehnat řadu odrůd s rozdílným vzrůstem rostlin, barvou a tvarem semen, ale také proto, že struktura květů hrachu, která dle něho bránila vstupu hmyzu a cizího pylu, měla za následek významnou stabilitu jednotlivých hrachových odrůd. Knight použil pyl tmavosemenných odrůd k opylení odrůd se světlými semeny. Zjistil, že semena z tohoto křížení se nijak nelišila od ostatních semen dané odrůdy, to se ale změnilo, když je vysel – veškeré potomstvo vytvářelo pouze tmavá semena. To se projevovalo i v dalších kříženích, kdy tmavá semena vždy převládala. Kromě toho také popsal bujný růst potomstva těchto křížení – získaní jedinci byli ve všech ohledech mohutnější, někteří dorůstali délky i přes 3,5 m. Knight tedy již téměř 70 let před Mendelem popsal díky svým pokusům na hrachu dominanci a recesivitu alel, stejně jako heterózní efekt. Na rozdíl od Mendela mu však chybělo hlubší pochopení těchto zákonitostí a také kvalitní matematická analýza získaných dat.

Světovou proslulost (bohužel až po smrti svého autora) pak získaly pokusy s hrachem, které v Brně ve druhé polovině 19. století prováděl Gregor Johann Mendel (obrázek 13). Zakladatel genetiky a jeden z nejvýznamnějších a nejznámějších vědců světa Gregor Johan (též Řehoř Jan) Mendel se narodil 20.7.1822 v Hynčicích v rodině rolníka. Již od dětství prokazoval výrazný talent, takže mu rodiče umožnili studovat. I přes nedostatek prostředků absolvoval gymnázium v Opavě a později filosofický institut v Olomouci. V roce 1843 vstoupil do augustiniánského kláštera na Starém Brně, který byl tehdy uznávaným střediskem vzdělanosti, posléze studoval teologii a současně navštěvoval přednášky o zemědělství a ovocnářství. Krátkou dobu působil jako suplent na gymnáziu ve Znojmě, posléze studoval přírodní vědy ve Vídni. Zde se zabýval především fyzikou (studoval u prof. Dopplera), kromě toho ale také chemií, fyziologií rostlin, botanikou či paleontologií. Od roku 1854 vyučoval přírodopis na brněnské německé reálce.



Obrázek 13: Gregor Johann Mendel (upraveno dle Iconographia Mendeliana, 1965).

Mendel získal od prodejců osiva celkem 34 odrůd hrachu a v letech 1854 – 1856 nejprve zkoušel čistotu těchto odrůd. Na základě toho pak vybral finálních 22 odrůd a mezi roky 1856 - 1864 prováděl pokusy s hybridizací hrachu, které ho později proslavily. Sledoval celkem sedm znaků: tvar semen (kulatý nebo nepravidelně hranatý), barvu vnitřku semen (bílá nebo žlutá až oranžová), barvu osemení (bílá nebo šedá až hnědá, spojená s fialovou barvou květu), tvar zralého lusku (jednoduše klenutý nebo zaškrcovaný), zbarvení nezralého lusku (zelené nebo žluté), postavení květů (podél osy nebo na vrcholu osy) a délku osy (0,3-0,5 m nebo 1,9-2,2 m). Cíleně křížil jednotlivé typy a vyhodnocoval výskyt znaků u potomstva v následných čtyřech až šesti generacích. Celkem ručně opylil, vypěstoval a zhodnotil téměř 30.000 jedinců hrachu. Oproti všem předchůdcům aplikoval na výsledky jako jeden z prvních vědců precizní matematické metody, které ho dovedly k originálním závěrům. Mimo jiné zavedl pojmy recesivita a dominance, stanovil poměr 3:1 pro výskyt dominantních a recesivních znaků ve druhé generaci hybridů. Výsledky pokusů zveřejnil formou přednášky konané ve dnech 8.2. a 8.3. 1865 v Brně, kterou o rok později vydal tiskem pod názvem *Versuche über Pflanzenhybriden* (Pokusy s rostlinnými hybridy). Z jeho výsledků vycházejí základní pravidla genetiky, označované jako Mendelovy zákony, i když on sám je takto přesně neformuloval. Fenotypové zákony pojednávají o uniformitě hybridů F1 generace a o štěpení v potomstvu hybridů, genotypové zákony pak o samostatnosti alel, segregaci alel a nezávislé kombinaci alel. V době publikování však tato práce natolik předběhla svou dobu, že neměla šanci se prosadit a skončila bez většího ohlasu.

Mendel se věnoval pokusům i s jinými rostlinami (např. fazolemi, ale i ještěřbínky – zde vzhledem ke specifickému způsobu rozmnožování neuspěl), zabýval se včelařstvím a velmi podrobně i meteorologií. V roce 1868 byl zvolen opatem kláštera a naplno se věnoval výkonu své funkce, takže na další aktivity mu již zbývalo jen velmi málo času.

Gregor Mendel zemřel 6.1.1884 a jeho vědecká práce byla na čas zcela zapomenuta. Až v roce 1900 dospěli ke stejným závěrům nezávisle na sobě H. de Vries, C. Correns a E. Tschermak, kteří se seznámili s Mendelovou prací a uznali jeho prioritu. Tím byla otevřena cesta pro rozvoj zcela nové vědy – genetiky, bez které by si nebylo možné představit (nejen) moderní šlechtění jak polních či zahradních plodin, tak ani hospodářských zvířat. O to smutnější je, že i u nás byla v 50. letech 20. století pod vlivem tehdejší sovětské lysenkovské pavědy z pozice komunistické ideologie Mendelova práce označována za reakční. Genetické Mendelovy zákony byly posměšně nazývány „hrachové zákony“, které představují pouze zápisky jakéhosi dávno zemřelého katolického mnicha, které byly vyhrabány z klášterního archivu. Tato ostudná epizoda naštěstí trvala jen krátce a již brzy jsme opět mohli být náležitě hrdí na svého krajana, který se nesmazatelně zapsal do historie vědy právě díky hrachu.

Všichni tři znovuobjevitelé Mendelových zákonů také pracovali s hrachem jako s modelovou rostlinou.

Erich Tschermak von Seysenegg (1871-1962) pocházel z rodiny, která měla své kořeny v moravských selských rodech. Prakticky celou svou akademickou dráhu strávil na vídeňské univerzitě, nejvýznamnější pokusy ale prováděl ještě před svým příchodem na tuto instituci. V roce 1898 v Ghentu v prostorách tamní botanické zahrady začal pracovat s odrůdami hrachu. Zvolil si tuto plodinu ze stejných důvodů, jako jeho předchůdci, tj. značná variabilita znaků a samosprašnost. Pracoval tedy s toutéž modelovou rostlinou jako Mendel, vyhodnoco-

val podobné znaky. Jeho cílem však původně bylo potvrdit Darwinovu hypotézu, že přirozeně samosprašné rostliny, ke kterým se hrách řadí, jsou odolné vůči inbrední depresi a je možné zvýšit jejich vitalitu cizosprašením. V Ghentu provedl pouze vlastní křížení, vyhodnocení a výsev F1 generace již realizoval v Esslingenu, kde také prováděl zpětné křížení s recesivními rodiči, čímž nevědomky zopakoval Mendelovy pokusy a dospěl ke stejným štěpným poměrům. Při práci na publikaci výsledků pak narazil na citace Mendelova díla, které si následně dohledal v univerzitní knihovně a uznal jeho prioritu. Své výsledky s odkazem na Mendela publikoval v roce 1900 jako součást své habilitační práce na vídeňské univerzitě. Tschermak navíc jako jeden z prvních vyzdvihoval nejen teoretický význam Mendelovy práce, ale i její praktické dopady na šlechtění plodin, kterému se sám věnoval. Zakládal šlechtitelské stanice polních plodin, spolu s knížetem Lichtensteinem založili v roce 1913 Mendelův institut (Mendeleum) v Lednici na Moravě, kde Tschermak zahájil rozsáhlé šlechtěné obilnin, luskovin a okrasných rostlin. Po rozpadu Rakouska - Uherska a vzniku samostatné Československé republiky se Tschermak přesunul zpět do Vídně. Zajímavostí je, že Tschermakuv dědeček z matčiny strany, Eduard Fenzl, byl Mendelovým profesorem botaniky během jeho studia na vídeňské univerzitě.

Hugo De Vries (1848-1935) byl holandský botanik a genetik. Působil na Amsterdamské univerzitě, kde především sledoval náhlý výskyt nových znaků v populacích pupalek, tyto nové znaky poprvé označil jako mutace. V roce 1892 začal pokusy s hrachem, výsledkem byl stejný poměr 3:1 v druhé generaci hybridů, jaký již dříve popsal Mendel. Po prostudování jeho práce upravil terminologii právě dle Mendela. Ve své publikaci z roku 1900 ale původně Mendelovu práci necitoval, až po kritice od C. Corrense v dalších vydáních odkaz na Mendela zařadil.

Carl Erich Correns (1864-1933), německý botanik působící v Tübingenu, prováděl v roce 1899 pokusy s kukuřicí a především hrachem a dostal se ke stejnému výsledku 3:1 jako Mendel. Byl to právě Correns, kdo upozornil na to, že Gregor Mendel předběhl jak jeho, tak i De Vriese a v plné míře uznal jeho prvenství a otevřel dveře k docenění Mendelova průkopnického díla.

Biologické vlastnosti

Hrách je jednoletou rostlinou, převážně jarního charakteru. Ozimé (přesněji přezimující, přesívkové) odrůdy se pěstují méně, než klasické jarní, ale jsou k dispozici u všech forem hrachu. Nejedná se o klasické ozimy, neboť v případě jarního výsevu se rostliny normálně vyvíjejí a není nutná jarovizace, tedy působení nízkých teplot v zimním období, pro přechod do generativní fáze. V minulosti se ozimé odrůdy v menší míře pěstovaly především v případě hrachu rolního – pelušky, v současnosti jsou kromě ozimých pelušek využívány v ozimých směskách k dispozici i ozimé odrůdy hrachu polního a v malé míře i zahradního. Jarní odrůdy však v sortimentu hrachu výrazně převládají.

Kořenový systém hrachu je středně hluboký až hluboký, kůlový, v orniční vrstvě se hojně rozvětňuje. Hlavní kořen může pronikat do hloubek 1,3 – 1,7 m. Stejně jako ostatní luskoviny

patří hrách mezi plodiny, vázající vzdušný dusík – díky symbiotickému vztahu s bakteriemi rodu *Rhizobium*, které osidlují hlízky, vytvářející se na kořenech (obrázek 14). Kořenové hlízky jsou na kořenech hrachu nepravidelně rozmístěny, rostliny jich vytvářejí vysoký počet a díky rhizobiím dokáže rostlina hrachu získat 50 – 55 % dusíku potřebného pro zdárný růst a vývoj. Celková fixace dusíku tímto způsobem může činit až 120 - 200 kg/ha ročně u nejvýkonnějších odrůd hrachu, nejčastěji ale bývá v rozmezí 40 - 60 kg/ha ročně.



Obrázek 14: Část kořenového systému hrachu s hlízkami (Foto Holec).



Obrázek 15: Vlevo: odrůda středního vzrůstu, délka lodyhy 95 cm; vpravo: starší, vzrůstná odrůda hrachu, délka lodyhy 180 cm (foto Holec).

Stonek je sivý nebo žlutozelený, často ojíněný, různě dlouhý, od 0,2 - 0,3 m u zakrslých a nízkých odrůd po 1,5 - 2,2 m u vzrůstných forem (nejdelší zaznamenaná lodyha hrachu měřila 4,75 m). U polního hrachu převládají v současnosti tzv. intermediární odrůdy, které vytvářejí rostliny s kratšími internodii o celkové délce lodyhy 70 – 90 cm (obrázek 15). Stonek je lysý, poléhavý či popínavý u vysokých odrůd a vystoupavý až vzpřímený u nízkých forem, na průřezu okrouhlý nebo nevýrazně hranatý (čtyřhranný), dutý. Lodyha hrachu může větvit již od báze, následně pak mohou větve vyrůstat průběžně v paždí listů. Charakter větvení je silně závislý na odrůdě, moderní odrůdy polního hrachu v dobře zapojeném porostu prakticky nevětví. S rozvětčováním se častěji setkáme u odrůd zahradního hrachu a pelušek, především těch starších. Silně větvyly také zakrslé formy hrachu.

U báze listů stonek objímají výrazné, 3-7 cm velké, srdčité či polosrdčité, celokrajné nebo zubaté palisty, které jsou u prvních pravých listů menší, následně přibližně stejně velké jako lístky listů a ve střední a horní části lodyhy pak výrazně větší než lístky. Poslední pár nerozvinutých palistů zpočátku kryje vegetační vrchol rostliny hrachu. U báze palistů hrachu rolního – pelušky a pestrokvětých odrůd zahradního hrachu se nachází antokyanová (fialově zbarvená) skvrna (obrázek 16).



Obrázek 16: Palist hrachu setého rolního – pelušky s typickou antokyanovou skvrnou při bázi (foto Holec).

Listy hrachu (obrázek 18) jsou původně sudozpeřené, se dvěma, třemi až čtyřmi jařmy oválně podlouhle vejčitých lístků světle zelené až tmavě zelené barvy. U odrůd s vyšším obsahem antokyanových barviv (odrůdy s fialovými lusky) jsou okraje především mladých listů na počátku růstu také nafialovělé. Lístky bývají 1,5 – 6 cm dlouhé a 1 – 3,5 cm široké. Počet jařem – párů lístků se na jedné rostlině postupně mění, první plně vyvinuté listy mají jen jeden pár lístků, od přibližně čtvrtého až šestého pravého listu se objevují dva páry lístků a ve vrcholové části lodyhy se vytvářejí listy se třemi páry lístků. Stejně tak se mění i velikost jednotlivých lístků, která je největší ve střední části rostliny. Listy jsou zakončené obvykle rozvětvenými

aktivními úponky, kterými se můžou zachycovat na opoře, nejčastěji na okolních rostlinách. Šlechtěním byl postupně tento klasický, tzv. listový typ hrachu pozměněn a stavba listů se může výrazně lišit. V současnosti v sortimentu polního hrachu převládají odrůdy úponkového typu, které mají redukovanou listovou plochu (bezlistkové, semi-leafless, SL typy, také



Obrázek 17: Zleva: odrůda úponkového typu a odrůda listového typu hrachu s nerozvětvenou lodyhou; vpravo: starší, bujně rostoucí, rozvětvená odrůda zahradního hrachu (foto Holec).

označované jako afile, nesprávně někdy jako bezlisté viz obrázek 17) a místo listků se vytvářejí zmnožené úponky. Palisty zůstávají zachovány, celkový asimilační výkon rostliny není snížen, jednotlivé rostliny se pomocí úponků pevněji přichycují k sobě, porost je méně náchylný k poléhání a snadněji se sklízí. Částečnou nevýhodou je menší zastínění povrchu půdy a tím menší konkurenceschopnost vůči plevelům. Proto jsou především v alternativních pěstebních systémech bez použití herbicidů stále s úspěchem využívány klasické odrůdy listového typu. Stejně tak peluška a zahradní hrách se stále vyznačují klasickým typem sudozpeřených listů, i když v obou výše jmenovaných skupinách se najdou i odrůdy úponkové. Některé odrůdy hrachu (resp. vyšlechtěné linie) mají listy i lichozeperné, jsou označované jako akátové - akaciové typy. Zvláštností jsou také odrůdy mnoholístkového typu, které jsou analogické úponkovým odrůdám, ale konce úponek jsou opět rozšířené na drobné lístky. Tyto formy však v rámci pěstování hrachu nemají praktický význam. Listy mnoholístkových forem se v malé míře využívají ke zdobení pokrmů.



Obrázek 18: Listy hrachu – nahoře základní typ sudozpeřeného listu s listky, zakončený úponky; uprostřed – úponkový typ; dole – mnoholístkový typ (foto Holec).

Květy jsou na paždních stopkách (vycházejících z úžlabí listů) po 1 – 3, nejvíce po dvou, známé jsou však i formy s až sedmi květy na jedné stopce. Koruna květu (15 – 35 mm velká) je tak jako u ostatních bobovitých rostlin složena z pěti lístků, tvořících výraznou pavézu,



Obrázek 19: Bíle kvetoucí odrůda hrachu (foto Holec).

postranní křídla a spodní člunek. Barva květů je dána odrūdou, může být bílá nebo pestrá. Pestře kvetoucí odrůdy mají květy zbarvené fialově či růžově s přechody, pavéza bývá zbarvena světleji, křídla jsou sytější zbarvená. Odrůdy polního hrachu kvetou bíle (obrázek 19), pelušky naopak kvetou pestře (obrázek 20). U odrūd zahradního hrachu se setkáváme jak s odrūdami kvetoucími bíle, tak i pestře (především starší odrůdy hrachu cukrového).



Obrázek 20: Pestře kvetoucí odrůda hrachu (foto Holec).

Plodem je lusk podle odrůdy různě dlouhý (30 – 80 mm, případně až 160 mm), rovný nebo šavlovitě zahnutý, tupý nebo zahrocený, různě zploštělý až oblý, vypouklý, široký 8 – 15 mm (až 40 mm), lysý, jemně žilkovaný, světle zelený až tmavě zelený, u zahradního hrachu i žlutý či fialový (obrázek 21). Zralý plod (obrázek 22) má většinou světle žlutohnědou barvu a skládá se ze dvou chlopní, které mají vnější a vnitřní pokožku, mezi kterými je parenchymatické pletivo. Na vnitřní straně chlopní je pergamenová blána (endokarp), která je tvořená buňkami kolmými na buňky pletiva chlopní. Nestejné sesychání parenchymatického pletiva chlopní a pergamenové blány vede v průběhu dozrávání k tvorbě pnutí uvnitř pletiv a následně k prudkému puknutí lusu směrem od vrcholu k bázi, oddělení obou chlopní od sebe navzájem (kromě báze, kde zůstávají spojené) a jejich spirálovitému stočení (obrázek 23). To vede k vymrštní semen (autochorie, balochorie). Pukání zralých lusků má význam pro šíření semen planých forem do okolí, u kulturních, pěstovaných forem hrachu je ale toto nežádoucí. Postupným šlechtěním se pukavost lusků snižuje či zcela odstraňuje a semena tak i po dozrání zůstávají uzavřená uvnitř lusu, což významně snižuje ztráty během sklizně či ještě před ní. U cukrových odrūd hrachu pergamenová blána chybí, lusky jsou díky tomu křehčí a je možné je konzumovat celé. Absence pergamenové blány se následně projevuje i na tvaru zralého lusu – chlopně nemají pevný tvar, v průběhu zrání sesychají kolem semen a lusky mají tedy nepravidelný hrbolatý tvar. Zralé lusky cukrových odrūd hrachu nepukají.



Obrázek 21: Zbarvení nezralých lusků hrachu může být od žluté přes zelenou (nejčastěji) až do fialové (foto Holec).

Uvnitř lasku jsou ve dvou řadách k chlopním poutkem přirostlá semena, která se vyvíjejí mnohem pomaleji, než lusk. V každém lasku je 3 až 10 (někdy až 14) semen, která mají různou velikost, tvar a barvu podle odrůdy. Semeno hrachu polního je kulovité, oválné nebo válcovité, na povrchu nejčastěji hladké, případně s doličkou. Peluška může mít semena kulovitá, smáčklá nebo hranatá, zahradní hrachy mají často semena hranatá, vrásčitá. Intenzita barvy semene je dána průsvitností osetí, semeno pak může být žluté až oranžové, světle zelené až tmavozelené, jednobarevné, jako je tomu u odrůd hrachu polního. Pelušky a některé odrůdy zahradního hrachu mají semena pestrá – zelenošedá, světle hnědá, hnědá až tmavě hnědá,



Obrázek 22: Tvar a zbarvení zralých lusků hrachu – dva lusky vpravo dole hrách cukrový (foto Holec).



Obrázek 23: Puklý lusk hrachu s typicky stočenými chlopněmi (foto Holec).

fialová, jednobarevná nebo mramorovaná, s kresbou ve tvaru teček nebo skvrn. Tvarová a barevná variabilita je znázorněna na obrázku 24. V průběhu skladování pestrá semena často postupně tmavnou. Velikost semen hrachu je od 3,5 mm do 10,5 mm. Hmotnost tisíce semen (HTS) je ovlivněná odrůdou, u drobnosemenných forem činí 100 – 200 (250) g, velkozrnné odrůdy mají HTS 250 – 450 g. Současný sortiment odrůd polního hrachu má HTS většinou v rozmezí 210 – 280 g. Pelušky mají semena drobnější, jejich HTS může být i pouze 100 g. S velkými semeny se setkáváme u některých odrůd zahradního hrachu, kdy ty ze skupiny kapucínského hrachu mají HTS kolem 400 g.

Z celkové hmotnosti semene připadá 90 – 93 % na dělohy, 6 – 8,4 % na osemení (slupku) a 0,9 – 1,3 % na klíček (zárodečný pupen s kořínkem). Vyzrálá semena hrachu obsahují 17 – 30 % bílkovin, 50 – 70 % sacharidů, 5–6 % hrubé vlákniny, 1 – 5 % tuků a přibližně 2,5 % minerálních látek. Zelený hrášek obsahuje průměrně 78,5 % vody, 6,3 % bílkovin, 12 % sacharidů, 1,9 % vlákniny, 0,5 % tuků a 0,8 % minerálních látek.



Obrázek 24: Variabilita tvaru a zbarvení semen hrachu. Nahoře – hrách polní; uprostřed – peluška; dole – hrách zahradní (foto Holec).

Vývoj rostliny hrachu

Vývoj rostliny hrachu začíná bobtnáním semen, tedy procesem, kdy suchá semena po vysetí a kontaktu s půdní vláhou přijímají vodu nutnou pro vlastní klíčení. Semeno hrachu během bobtnání obvykle přijme množství vody odpovídající 95–102 % jeho hmotnosti. Toto množství může dosahovat i 110 % hmotnosti semene, u odrůd dřeňového hrachu dokonce až 150 %. Proces bobtnání trvá 3 – 4 dny. Následně dojde k proražení osetení klíčkem s kořínkem. Rychlost klíčení a vzházení je závislá na teplotě. Minimální teplota pro klíčení hrachu je 1–4 °C, optimální 25–30 °C a maximální 35 °C. Zvyšování teploty směrem k optimu znamená rychlejší počáteční vývoj hrachu. Při teplotě kolem 5 °C vyklíčí semena hrachu za 5 dní, při 10 °C za 3 dny a při teplotách 15 °C a vyšších za necelé dva dny. Nejprve se vyvíjí kořenový systém, ze zárodečného kořínku se postupně stává křlový kořen s postranními kořeny (obrázek 25). Následně se vyvíjí i vrcholový (zárodečný) pupen, stonková část roste do délky a postupně proráží půdu a hákovitě zahnutá část epikotylu prorůstá nad povrch. Již 8. – 10. den po vyklíčení se na hlavním kořeni začínají vytvářet hlízky, osídlené rhizobii. Intenzivní tvorba hlízek v tomto období vede k dočasnému zpomalení vývoje nadzemních částí, a to přibližně do 24. dne od vzejtí.



Obrázek 25: Klíčení hrachu (foto Holec).



Obrázek 26: Vrcházení hrachu (foto Holec).

Hrách vchází hypogeicky, dělohy zůstávají v půdě (obrázek 26). Doba od zasetí do vzejití je podle podmínek prostředí, agrotechniky a vlastností osiva různě dlouhá, může být 8–20 dní, v případě letních výsevů (meziplodiny), optimální teploty a vlhkosti půdy můžou první rostliny hrachu vcházet již za 4–5 dní po zasetí. Za sucha a chladna se vcházení zpožďuje, stejně tak hrách pomaleji vchází při hlubším uložení osiva v půdě. První pravé listy jsou nedokonalé vyvinuté, rudimentální, jedná se o prvotní listy označované jako šupiny. Dále se pak již tvoří pravé listy s palisty, u listových typů nejprve jen s jedním párem lístků (tedy s jedním jařmem), později jsou listy vícejařmé. Již první pravý list má vyvinutý jednoduchý nevětvený úponek. U úponkového typu hrachu se vyvíjejí jen palisty a řápek s úponky, které jsou již od prvního listu větvené (obrázek 27). Internodia jsou ve spodní části lodyhy hrachu relativně krátká, v horní části lodyhy pak delší (obrázek 28). Vegetativní fáze pokračuje obdobím rychlého růstu, při kterém se lodyha intenzivně prodlužuje, zvětšuje svůj průměr, také listy se zvětšují a hrách v této fázi dosahuje značných denních přírůstků (obrázek 29).



Obrázek 27: Rostliny hrachu ve fázi 3 pravých listů. Vlevo – úponkový typ; vpravo – listový typ (foto Holec).



Obrázek 28: Rostliny hrachu s pěti pravými listy. Vlevo – úponkový typ; vpravo – listový typ (foto Holec).



Obrázek 29: Porost polního hrachu v počátečních fázích vývoje (foto Holec).

Následuje přechod do generativní fáze, která začíná tvorbou poupat (obrázek 30). Hrách je původně dlouhodobní rostlina, řada odrůd je ale spíše fotoperiodicky neutrálních. Generativní orgány se vytvářejí v úžlabí listů. Místo, za kterým listem v pořadí na dané rostlině se první květní stopky a poupata vytvoří, je dáno jednak odrůdou, jednak i podmínkami prostředí a je tím také ovlivněna výška nasazení prvních lusků. V této vývojové fázi se u nižších a intermediárních odrůd hrachu internodia generativní části lodyhy postupně zkracují a díky tomu oproti starším vysokým odrůdám se rychleji vyvíjejí. Poupata jsou zpočátku překrytá kališními plátkami, tato fáze se označuje jako fáze zelených poupat. Při fázi bílých poupat se objevují nad kališními plátkami pevně sevřené plátky korunní.



Obrázek 30: Kvetoucí porost hrachu (foto Holec).

Jako začátek květu označujeme první plně otevřený kvítek (pavéza se přehýbá nazad). Při termínu setí počátkem března rozkvétají rané odrůdy jarního hrachu za příznivých podmínek již v první polovině května, ostatní ve druhé polovině května i později, kvetení porostu pak může pokračovat až do počátku července. Ozimé (přezimující) odrůdy rozkvétají oproti klasickým jarním odrůdám o 2–3 týdny dříve. Hrách rozkvétá od spodu stonku, květy se otevírají kolem 8–10 hodiny. Kvetení vrcholí kolem poledne a přestává kolem 15.–17. hodiny. Každý kvítek kvete asi 3 dny. Kvetení jedné rostliny trvá asi 12–20 dnů. Hrách je většinou samosprašný (autogamický) a k opylení vlastním pylem dochází ještě před rozvinutím květů (kleistogamie), neboť blizny i prašníky jsou již v tuto dobu zralé. Z tohoto důvodu jsou odrůdy hrachu relativně odolné k cizosprašení, podmínky prostředí však mohou mít na samosprašnost či cizosprašnost významný vliv – především ve výjimečně horkém a suchém létě nastává i u jinak samosprašného hrachu cizosprašení a při množení a produkci osiva hrachu je tedy nutné dodržovat předepsané izolační vzdálenosti. Při cizosprašení je pyl přenášen hmyzem (včelami, čmeláky).



Obrázek 31: Vývoj lusků hrachu (odrůda cukrového hrachu se žlutou barvou lusků) (foto Holec).

Po opylení květu opadávají květní plátky, semeník, který již od počátku připomíná tvar budoucího lusků, se začíná zvětšovat. Oplozená vajíčka se mění v semena, jejich počet v lusků je dán odrůdou i podmínkami vnějšího prostředí. Lusky spodních pater obvykle obsahují více semen než lusky ve vrcholové části lodyhy. Lusky se vyvíjejí velmi rychle, rostlina hrachu převádí asimiláty do chlopní a teprve později se z chlopní přesouvají do semen. Proto je lusk zpočátku velmi plochý (obrázek 31). Fáze zelených lusků začíná v době, kdy spodní lusky dosáhly odrůdově typickou plnou délku. Následuje fáze nalévání semen, kdy se začínají výrazněji vyvíjet semena a lusk tloustne až do doby, kdy jej semena zcela vyplní. Semena jsou zpočátku zelená, během dozrávání pak získávají odrůdově specifickou barvu. Nejprve nastává odbourávání zeleného barviva v osemení, teprve následně pak probíhá ztráta barviv v dělohách semen. Rychlejšímu odbourávání barviv napomáhá střídání vlhkého a slunečního počasí.



Obrázek 32: Horní patra rostliny hrachu ještě nakvétají, lusky spodních pater již mají odrůdově specifickou velikost a začíná u nich nalévání semen (foto Holec).

Zrání, stejně jako kvetení, postupuje od spodu rostliny směrem vzhůru, první vyzrávají lusky na hlavní lodyze, později pak na bočních větvích (obrázek 32). Díky tomu je zrání hrachu především u starších odrůd nerovnoměrné, hůře se může určovat optimální doba sklizně. Současné odrůdy polního hrachu většinou mají odlišnější charakter růstu, což dobu kvetení a zrání zkracuje. Rozlišujeme následující fáze zralosti:

Zelená zralost – rostliny a lusky jsou zelené, s vysokým podílem vody. Semena jsou také zelená, plná, měkká. Stále probíhá ukládání látek do semen, to může v omezené míře pokračovat i po posečení rostlin. Konec této fáze zralosti v minulosti znamenal počátek dělené sklizně.



Obrázek 33: Plně vyvinuté lusky pelušky (foto Holec).

Žlutá zralost – rostliny ve spodní části žloutnou a zasychají, horní část může být ještě zelená. Ukládání zásobních látek do semen není ještě ukončeno, ale semena ve spodních luscích již tvrdnou. Lusky se typicky vybarvují a jejich chlopně tzv. papírkovatejší. Tato fáze byla pro dělenou sklizeň považována za optimální.

Plná zralost – celá rostlina je zaschlá, téměř všechny lusky jsou typicky vybarvené, s tvrdými semeny, která jsou také odrůdově vybarvená. Ukládání zásobních látek je ukončeno. Tento stupeň zralosti je vhodný pro dnes uplatňovanou přímou sklizeň sklízecí mlátičkou.

Celková délka vegetační doby je u hrachu závislá na odrůdě, s nezanedbatelným vlivem aktuálních podmínek vnějšího prostředí. Může se pohybovat od 60 do 140 dní, dle její délky se pak stanovuje ranost dané odrůdy.



Obrázek 33: Plně vyvinuté lusky pelušky (foto Holec).

Přesné stanovení fáze zralosti na základě vizuálního hodnocení porostu ale může být poměrně obtížné. K možným objektivním metodám patří stanovení vlhkosti semen nebo měření pevnosti tkání semen vyjadřované pomocí tenderometrických jednotek (TJ) měřených prostřednictvím tenderometru. Tento způsob je využíván především při hodnocení zralosti dřevnatého hrachu pro následné konzervářské zpracování.

V rámci hodnocení fenofází rostlin hrachu se v současné době používá dekalická stupnice BBCH.

BBCH stupnice růstových fází hrachu:

- 00 Suché semeno.
- 01 Počátek bobtnání.
- 03 Konec bobtnání.
- 05 Kořínek vystoupil ze semene.
- 07 Klíček protrhl slupku semene.
- 08 Klíček prorůstá k povrchu půdy.
- 09 Vzcházení; klíček proniká nad povrch půdy.
- 10 Viditelné dva šupinaté prvotní listy.
- 11 1. pravý list s vyvinutým palistem (nebo 1. úponkem).
- 12 2. list s přílistkem a úponkem (nebo 2. úponkem).
- 13 3. list s přílistky, úponek plně vyvinutý.
- 19 6 až 9 a více listů vyvinuto.
- 30 Počátek prodlužovacího růstu.
- 31 1. internodium viditelné.
- 32 2. internodium viditelné.
- 33 3. internodium viditelné.
- 34 4. internodium viditelné.
- 39 9 a více internodií viditelných.
- 51 První květní pupeny viditelné.
- 55 Prvé, ještě zavřené, jednotlivé květy viditelné.
- 59 Četné, ještě zavřené květy, viditelné prvé korunní plátky.
- 61 Počátek květu, asi 10 % květů otevřeno.
- 63 Asi 30 % květů roste.
- 65 Plný květ, asi 50 % květů otevřených.
- 67 Dokvétání.
- 69 Konec květu.
- 71 Přibližně 10 % lusků dosáhlo druhové, resp. odrůdové velikosti.
- 73 Přibližně 30 % lusků dosáhlo druhové, resp. odrůdové velikosti.
- 75 Přibližně 50 % lusků dosáhlo druhové, resp. odrůdové velikosti.
- 77 Přibližně 70 % lusků dosáhlo druhové, resp. odrůdové velikosti.
- 79 Téměř všechny lusky dosáhly druhové, resp. odrůdové velikosti, semena plně vyvinutá (zelená zralost) (obrázek 33).
- 81 Přibližně 10 % semen je specificky vybarveno dle druhu a odrůdy a jsou suchá a tvrdá.
- 83 Přibližně 30 % semen je specificky vybarveno dle druhu a odrůdy a jsou suchá a tvrdá.
- 85 Přibližně 50 % semen je specificky vybarveno dle druhu a odrůdy a jsou suchá a tvrdá.
- 87 Přibližně 70 % semen je specificky vybarveno dle druhu a odrůdy a jsou suchá a tvrdá.
- 89 Plná zralost; lusky na celé rostlině jsou suché, hnědé, semena suchá, tvrdá (suchá zralost).
- 97 Rostlina odumřela.
- 99 Sklizňová zralost (obrázek 34).

Nároky na prostředí

Hrách je poměrně plastická plodina. Nejvíce hrachu vyhovují úrodné části řepařské výrobní oblasti, pěstován je ale s úspěchem prakticky ve všech zemědělských výrobních oblastech ČR. Pro pěstování hrachu jsou nejvhodnější mírné polohy s dobře rozloženými srážkami.

Požadavky hrachu na vláhu jsou v určitých vývojových obdobích vyšší než u obilnin. Již při bobtnání a klíčení potřebuje množství vody přibližně stejné, jako je hmotnost vlastního semene. Při setí do příliš suché půdy nebo setí na příliš malou hloubku tedy hrozí, že semena hrachu nebudou schopna přijmout potřebné množství vody a proces klíčení se zastaví. Kritickým obdobím v požadavcích na vláhu je také počátek tvorby generativních orgánů. V tomto období zároveň hrách nejvíce reaguje zvýšením výnosu na případnou závlahu. Při suchém počasí v této fázi dochází ke zvýšenému opadu květů i nižšímu počtu vyvinutých semen. Za sucha se urychluje vývoj rostlin na úkor celkové produkce, dochází k předčasnému dozrávání, semena jsou drobnější, snižuje se HTS a výnos klesá. V případě silného sucha může dojít k zasnuthí rostlin hrachu ještě před dozráním. Hrách nesnáší dobře ani déletrvající sucho (obrázek 35), ani nadbytek vláhy. V příliš vlhkých podmínkách dochází u hrachu k nadměrnému růstu vegetativních orgánů, vývoj rostlin se prodlužuje, roste riziko poléhání, což se projevuje snížením výnosu a zhoršením zdravotního stavu porostu.



Obrázek 35: Porost hrachu poškozený suchem – na velmi lehké půdě při extrémním suchu v roce 2018 rostliny hrachu zaschly ještě před květem (foto Holec).

Minimální teplota pro klíčení hrachu je 1 – 4 °C, nízkým teplotám je relativně odolný a rostliny hrachu jsou při výskytu pozdních mrazíků významněji poškozovány až při teplotách -4 až -7 °C. Při delším poklesu teplot pod -8 °C rostliny hrachu hynou. Odrůdy zahradního hrachu jsou k nízkým teplotám citlivější. Specifické z hlediska tolerance k nízkým teplotám jsou přesívkové (přezimující, nepřesně ozimé) odrůdy, které v našich podmínkách spolehlivě přežívají běžný průběh zimy, i bez izolační funkce sněhové pokrývky přečkají bez poškození holomrazy -10 až -15 °C (uvádí se až -19 °C) a přezimovací schopnost některých odrůd se blíží přezimovací schopnosti ozimých obilnin. Citlivější jsou především k značným výkyvům teplot v předjaří.

Pro optimální růst hrachu jsou nejvhodnější teploty 20 °C ve dne a 10–12 °C v noci. Vysoké teploty (nad 25 °C) ve fázi kvetení a tvorby semen nejsou příliš příznivé. Pro dobrý výnos je výhodný teplejší průběh jara v době vzcházení a na začátku vegetačního období a spíše chladnější léto v době kvetení a zrání.

Na půdu nemá hrách příliš vyhraněné požadavky, může být s úspěchem pěstován na různých druzích i typech půd. Nejlépe se mu daří na půdách středně těžkých, hlinitých, hlinitopísčitých a písčitohlinitých. Vzhledem k rozvoji a dobré funkci rhizobií se má pěstovat na půdách kulturních, biologicky činných, dobře zpracovaných s dostatečnou zásobou vápníku a fosforu. Vyhovují mu půdy s neutrální nebo slabě kyselou reakcí, optimální pH by mělo mít hodnoty 6,2 - 7. Nevhodné jsou pro hrách půdy kyselé, příliš těžké, zamokřené, s vysokou hladinou spodní vody, nebo naopak půdy lehké, písčité nebo šterkovité, s nízkou vododržností, náchylné k přesychání. Je také citlivý na případné zasolení půdy. Peluška je obecně na půdní podmínky méně náročná, historicky byla využívána k pěstování na písčitých půdách; velkosemenné odrůdy hrachu jsou naopak na půdní podmínky náročnější.

Osivo hrachu

Kvalitní založení porostu je u hrachu, stejně jako u všech ostatních plodin jedním z nejdůležitějších faktorů, jak dosáhnout vysokého výnosu. Z tohoto důvodu je kvalitní, tedy vitální osivo chápáno jako základní předpoklad pro založení optimálního porostu. Rozdíly ve vitalitě osiva mohou být dány celou řadou faktorů. Za hlavní hodnotu definující kvalitu osiva je považována laboratorní klíčivost. Kvalita osiva je ovšem také pro mnohé subjektivně chápaným pojmem. Kvalitní osivo podle norem ISTA (International Seed Testing Association) je takové, které splňuje předepsané parametry (klíčivost). Z pohledu uživatele těchto osiv se, ale může jednat o pojem odlišný. Uživatel chce osivo, které rychle a jednotně klíčí, a které umožní založení kvalitního porostu. V nepříznivých podmínkách prostředí, ale i takové osivo může mít problémy. Důležitá je proto nejen vysoká klíčivost osiva, ale i jeho vitalita.

Klíčení semen

Jak uvádí mnoho autorů, klíčení semen je obnovení jeho metabolické aktivity vedoucí k prodlužování buněk radikuly a hypokotylu embrya. Klíčení semen zahrnuje řadu složitých

biochemických, fyzikálních a biologických procesů (např. hydratace proteinů, strukturální buněčné změny, dýchání, makromolekulární syntézy a prodlužování buněk), jejichž vlivem embryo přechází z dehydratovaného klidového stavu do stadia s aktivním metabolismem, který je završen růstem.

Klíčení začíná vždy růstem kořínku, přičemž ten po určitou dobu (zpočátku) brzdí růst nadzemních částí klíční rostliny (plumuly). U luskovin, jako dvouděložných rostlin je klíčení buď epigeické (děloha je vynesena nad povrch půdy) nebo hypogeické (děloha zůstává pod povrchem půdy). V případě hrachu jde o klíčení hypogeické. Podrobněji je proces klíčení a vzcházení hrachu popsán v kapitole „Vývoj rostliny hrachu“.

Za vyklíčené se považuje semeno, u něhož základ kořene – radikula – prorazila testu, tj. osemení. Proražení testy je jedním z důležitých okamžiků klíčení, dochází k němu obvykle v místě někdejší mikropyle, která se při tvorbě obalů semene uzavírá. Proražení testy umožní embryu kontakt s vnějším prostředím a zakotvení v půdě.

Klíčivost osiva a polní vzcháživost

Vysoké procento klíčivosti produkovaného osiva je nejlepší vizitkou semenářské firmy. Konkrétní požadavky na klíčivost mají určitou souvislost s běžně dosahovanou hodnotou procenta klíčivosti u plodin, ale v podstatě představují i určité mezní hodnoty, které souvisejí s prudkým poklesem vitality, sníží-li se klíčivost pod uvedené procento. Jak již bylo uvedeno, laboratorní klíčivost je považována za hlavní hodnotu definující kvalitu osiva. Tato veličina je hodnocena podle mezinárodních pravidel ISTA (International Seed Testing Association), které zaručují mezinárodní srovnání a umožňují obchod nejen v evropském, ale i v celosvětovém měřítku.

I když z fyziologického hlediska dosahují semena schopnosti klíčit zpravidla již v časných fázích vývinu, je u řady plodin vysoká klíčivost osiva velký problém. Příkladem jsou luskoviny (tedy i hrách), kdy lze certifikovat osivo s klíčivostí od 80 %, u lupiny úzkolisté dokonce od 75 %.

Konkrétní požadavky na klíčivost osiv mají vždy určitou spojitost s běžně dosahovanými hodnotami procenta klíčivosti osiva jednotlivých plodin. Tyto hodnoty představují určité mezní hodnoty, které souvisejí s prudkým poklesem vitality, sníží-li se klíčivost pod uvedené procento.

Opomíjeným, avšak významným semenářským kritériem je rychlost a vyrovnanost klíčení. Procento klíčivosti je vyjádřením podílu klíčivých semen v testovaném vzorku, hodnoceném na konci období vymezeného počtem dnů, kdy se předpokládá, že klíčení je ukončeno. Jednotlivá semena ve vzorku však neklíčí stejnou intenzitou. Z praktického hlediska lze rychlost a vyrovnanost klíčení hodnotit na podkladě energie klíčení, využijeme-li ve standardním testu laboratorní klíčivosti hodnot tzv. prvního počítání klíčenců. K detailnějšímu vyjádření vyrovnanosti klíčení se využívá hodnoty střední doby klíčení (MTG) a pro určité speciální případy může mít význam i hodnota maximálního denního přírůstku procenta klíčivosti.

Polní vzcháživost a produkční potenciál odrůdy nebo partie osiva patří rovněž mezi významné vlastnosti osiva. Kvalitní osivo dosahuje vysoké polní vzcháživosti. Rozdíl mezi laboratorní klíčivostí a polní vzcháživostí je zapříčiněn jak vnitřními faktory osiva, tak kombinací podmínek vnějšího prostředí. Korelace klíčivosti s polní vzcháživostí je často nízká a závisí na podmínkách při vcházení a na vitalitě osiva.

Kvalita osiva má rozhodující podíl na vzházivosti a následně se může odrazit i v konečném výnosu. Hustota porostu je výrazně ovlivňována v jednotlivých ročnících díky průběhu počasí.

Přestože k nejdůležitějším semenářským znakům kvality osiva náleží vysoká klíčivost a dobrý zdravotní stav, pro pěstitele jsou rozhodujícími kritérii polní vzházivost a vyrovnané vzházení. Tyto vlastnosti jsou výrazně ovlivněny nejen uniformitou osiva jak ve smyslu fyzikálních charakteristik (tvar, velikost, hmotnost), tak ve smyslu jeho semenářské hodnoty (čistota, klíčivost), ale i podmínkami prostředí, které jsou povahy abiotické (zejména průběh počasí a půdní podmínky), antropogenní (celková úroveň hospodaření a konkrétní agrotechniky) a biotické (půdní mikroflóra, mikrofauna, choroby, škůdci, prospěšné mikroorganismy apod.). Ke zvýšení predikce polní vzházivosti jsou využívány různě modifikované laboratorní testy vitality, do kterých jsou vkládány určité stresující faktory. Metodicky se obvykle porovnává klíčivost osiva čerstvého a osiva deteriorovaného, tedy zestárlého, respektive zhoršeného.

Při výzkumu kvality osiva ve vztahu k různým faktorům však nelze stavět pouze na laboratorní klíčivosti. I vysoce klíčivé osivo může mít různou vitalitu, což je vlastnost semen, která objektivizuje jeho kvalitu. Vitalita je ovlivněna genetickými i environmentálními podmínkami a je jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující nejen samotnou kvalitu založení porostu, ale i jeho výkonnost. Vitalita osiva je technologická vlastnost. Je to potenciál semen pro rychlé a uniformní vzejití a pro vývoj normálního semenáčku za širokého spektra polních podmínek. Vitální mohou být jen zdravá semena. Hlavní příčinou ztráty vitality je poškození buněčných membrán, dané biochemickými změnami anebo i mechanickým poškozením. Vitalita není jednoduše měřitelná vlastnost, ale pojem popisující několik charakteristik, které zahrnují rychlost, uniformitu klíčení, růst, toleranci ke stresovým podmínkám po zasetí a udržení si vitality během skladování.

Stárnutí semen

Semena luskovin při delším skladování (více let) prochází obdobím stárnutí (senescence), tedy postupným snižováním jejich kvality jak z pohledu vitality, tak i klíčivosti.

Stárnutí je proces spojený s porušováním metabolismu buněk, který vede ke zhoršení osevních a nutričních vlastností semene a ke ztrátě životaschopnosti. Pozorovatelné projevy procesu stárnutí v semenech a tkáních jsou zpomalená rychlost klíčení (heterogenita mezi semeny), méně vyvinutí klíčenci v porovnání se životaschopnými semeny z populací, kde nedošlo k procesu stárnutí a dále například anomální klíční rostliny.

Podle řady autorů vnitřními příčinami stárnutí jsou změny na cytomembráně zapříčiněné fosfolipidickou oxidací, změny genomu a poruchy v transkripci a translaci a v neposlední řadě bioenergetické procesy. Vnější příčiny stárnutí jsou potom mikroflóra a dýchání.

Dodatečným rysem stárnutí, hlavně u semen s velkými dělohami (luskoviny), je ztráta schopnosti semen podržet rozpuštěné látky (např. cukry, draslík, aj.) při jejich bobtnání ve vodě.

Výše zmíněné skutečnosti vedou k závěru, že osivo hrachu je naprosto nevhodné přeskladowat i třeba jen o rok. Výsledky provedeného výzkumu, kdy bylo na jednom pozemku vyseto osivo hrachu stejné kategorie, se shodnými parametry, avšak různým stářím (osivo nové

a osivo rok přeskladněné) ukazují jednoznačný negativní dopad na vitalitu osiva již po jednom roce skladování. Na obrázku 36 je patrné, že jeden rok skladované osivo vykazovalo jednoznačně horší vitalitu a tím i polní vzházivost. Vzhledem k tomu, že u hrachu je počet rostlin jedním ze základních prvků tvořících výnos, je vysoká polní vzházivost velmi důležitá. V případě těchto porostů na obrázku 36, byla polní vzházivost rok skladovaného osiva pouze 38,4 %, kdežto u osiva nového 68,8 %, což je téměř dvojnásobek.



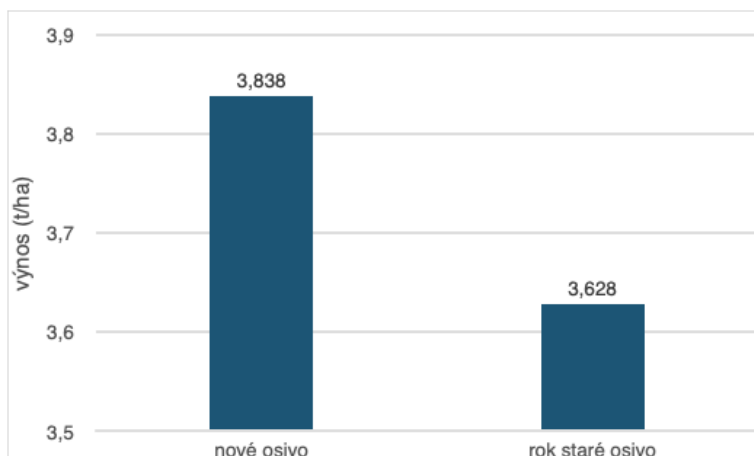
Obrázek 36: Porost hrachu pocházející z jeden rok skladovaného osiva (vlevo) a z osiva nového (vpravo), foceno 4.5.2021 (foto Procházka).

Vitalita osiva se výrazně projevila i ve výnosu semen při sklizni, kdy dle obrázku 37 porost pocházející z rok skladovaného osiva poskytl výnos pouze 3,628 t/ha, kdežto porost pocházející z nového osiva 3,838 t/ha.

V rámci ověřování stárnutí semen, byl podobný pokus s hrachem proveden na lokalitě Červený Újezd v roce 2023 pomocí maloparcelkového pokus, kde bylo porovnáváno osivo nové, dále jeden a dva roky staré. Výsledky sklizně jasně ukázaly, že delší přeskladnění osiva, tedy dva roky, již prakticky u hrachu není možné, neboť výnos semen poklesl z 2,678 t/ha u nového osiva až na 0,597 t/ha u dva roky starého osiva (obrázek 38).

Semenářské parametry certifikovaných osiv jsou dány zákonem č. 219/2003 Sb. o oběhu osiva a sadby a jeho vyhláškami. Nejdůležitějším parametrem kvality osiva je (laboratorní) klíčivost, výhodná pro svou jednoduchost, opakovatelnost a standardizovaná pravidla v mezinárodním měřítku.

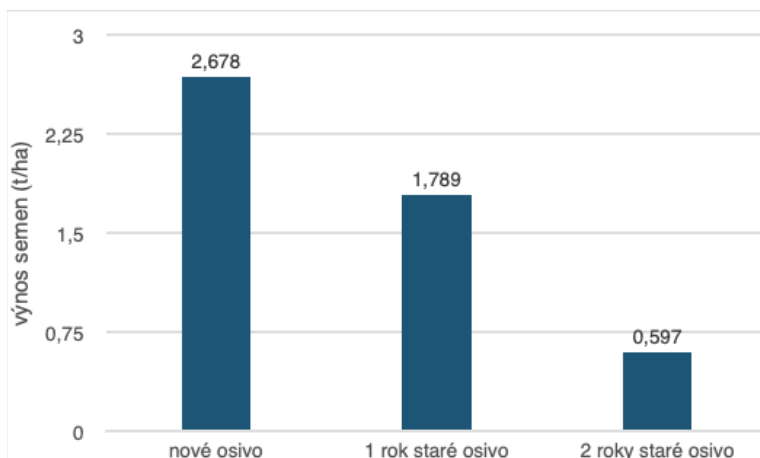
Jedná se o vlastnost osiva, která vyjadřuje schopnost semen vyklíčit (vytvořit optimálního klíčence) v laboratorních podmínkách. Ty lze považovat za optimální, neboť je charakterizuje



Obrázek 37: Výnosy semen porostů pocházejících z nového a rok skladovaného osiva (zdroj: Procházka, Holejšovský).

stálá teplota, přiměřená vlhkost, absence škůdců a půdních chorob či inhibičních vlivů plevelů a mikroorganismů. Udává se v procentech vyklíčených semen ze všech semen použitých ke klíčení a vyjadřuje tedy nejvyšší teoreticky možnou míru vzcházení.

Tento parametr však u partií mnohých plodin, například obilnin, pozbývá smyslu, neboť u nich umíme volbou odrůdy a agrotechniky vyprodukovat osivo s výbornou klíčovostí splňující semenářské normy. Z pohledu laboratorní klíčovosti tak mezi danými partiemi nebude rozdíl. Ten se však prokáže v případech stresových podmínek, jako je například suboptimální



Obrázek 38: Výnosy semen pocházející z nového, rok skladovaného a dva roky skladovaného osiva stejné kategorie a shodných osivařských parametrů (zdroj: Procházka, Holejšovský).

množství vody. Může se klidně stát, že osivo vykazující v optimálních podmínkách výbornou klíčivost, vyklíčí ve stresových podmínkách hůře než osivo, které se prokázalo horší klíčivostí v optimálním prostředí.

Vlastnost vyklíčit ve stresových podmínkách vystihuje pojem vitalita neboli životaschopnost osiva, respektive jednotlivých semen. Popisují ji míra vyrovnanosti klíčenců dané partie, schopnost semen vzházet v nepříznivých podmínkách a schopnost zachovat si klíčivost po skladování. Partie s vysokou životaschopností má potenciál dobře se projevovat i za podmínek pro daný druh neoptimálních.

Sharma (2018) udává, že termín „seed vigor“ (vitalita semen) byl prvně použit v roce 1876, a že mezinárodní sdružení pro testování osiv ISTA definuje vitalitu jako souhrn všech vlastností, které určují aktivitu a výkon partie vykazující dobrou klíčivost v široké škále podmínek různých prostředí. Na vitalitě daného semene se podílí genotyp, podmínky růstu mateřské rostliny, úroveň zralosti a doba sklizně, velikost a hmotnost semen, mechanické zacházení, patogenní organismy a stáří osiva. Protože je vitalita ovlivněna spoustou faktorů, neexistuje univerzální metoda jejího testu.

Lazarová a kol. (2019) uvádějí, že vitalita je přirozená vnitřní síla semen zajišťující rychlé klíčení a jeho dokončení i za různorodých přírodních podmínek. Jinými slovy se jedná o schopnost semen kvalitně vyklíčit ve stresovém prostředí. Určuje tak kvalitu osiva a potenciál rovnoměrného klíčení a vzházení v polních podmínkách, jež se vyznačují vysokou rozmanitostí. Je tak vhodné hodnotit semena nejen pomocí klíčivosti, ale zejména právě podle vitality. K tomu je potřeba vyvinout rychlé a jednoduché metody s malými nároky na práci, které by byly přesné, reprodukovatelné a o vitalitě osiva dobře vypovídaly.

Sharma (2018) uvádí, že testy vitality lze rozdělit na růstové, stresové a biochemické. Růstové testy jsou založeny na tom principu, že vitálnější semena rychleji klíčí a rostou s větší energií. Růstovým testem tak lze určit vitalitu například tak, že založíme standardní laboratorní klíčivost, ale pro daný druh je určený den, kdy se klíčivost odečte, přičemž doba, kdy k odečtení má dojít, je nízká. Partie, která v den měření prokázala nejvyšší počet vyklíčených semen, je určena jako nejvitálnější. Vitalita je tak odhadnuta pomocí rychlosti vyklíčení v optimálních podmínkách. Další metodou je vložit semena do klíčidla (nádoba na klíčení) mezi dvě vrstvy vlhkého papíru. Po určité době jsou změřeny délky vyklíčených rostlin. Vitalita je v tomto případě odhadnuta pomocí délek klíčků. Klíčky lze také usušit při 100 °C a následně zvážit. Má se za to, že vitálnější porost dříve vytvoří chlorofyl, začne asimilovat a tím nabude na hmotnosti. Vitalita je tak odhadnuta pomocí hmotnosti sušiny klíčenců. Princip stresových testů spočívá v zatížení semen nepříznivými podmínkami jako extrémní teploty, vysoká vlhkost či fyzické bariéry. Je tak možno zasypat semena šterkem, přes která vyklíčí jen ta zdravá, silná (vitální). Podobně lze přes semena přeložit speciální papír, který vitální semena svým vzrostným vrcholem prorazí, zatímco slabá semena nikoliv. V těchto testech je vitalita odhadnuta pomocí velikosti mechanické síly, kterou jsou klíčky schopny vyvinout. Mezi metody chemické patří měření konduktivity, kdy je vitalita odhadnuta pomocí vodivosti roztoku vylouhovaných semen.

Největší význam hraje vitalita u druhů se sníženou autoregulační schopností, kterým právě hrách je (Pazderů 2019).

V metodice (ÚKZUZ 2017) jsou uvedeny druhy, u nichž se vitalita testuje a zároveň příslušné metody, které splnily podmínky validace. Test konduktivity se kromě hrachu používá taktéž u

druhů sója a fazol. Vitalita je ovlivňována pěstebními podmínkami a prostředím v době zrání a sklizně. Povětrnostní podmínky daného roku a úrodnost stanoviště mohou mít vliv na vývoj radikul v semenech, i množství jejich biomasy. Konkrétně u luskovin mnoho studií ukazuje, že porost pocházející z vitálního osiva vykazuje vyšší výnos semene v důsledku větší hustoty porostu, stabilnější výnos v rámci rostlin, vyšší míru vázání vzdušného dusíku, obsah sacharidů, vyšší úroveň nodulace, větší výšku porostu a dále. Mezi vitalitou osiva hrachu a výnosem hlavního produktu byla prokázána silná korelace 0,86 až 0,97.

Metody zjišťování vitality osiva

Konduktivita

Princip spočívá ve změření vodivosti výluhu semen. Má se za to, že mezi konduktivitou elektrolytu vzniklého uvolněním iontů ze semen do vody a vitalitou těchto semen existuje negativní korelace. Čím vyšší je vodivost výluhu vzorku, tím nižší je životaschopnost dané partie osiva.

Jedná se o test nepřímý, neboť neměří vitalitu (vzcházivost ve stresových podmínkách) přímo stresováním semen. Test konduktivity měří jiné, zdánlivě nesouvisející znaky osiva, u nichž se prokázalo, že jsou spojeny s projevy vitality pozorovanými u klíčících rostlin. Kromě hrachu se tato metoda používá i pro zkoušku životnosti sóji a fazolu.

Pro každou sérii měření se z každého základního vzorku odebere čtyřikrát 50 semen. Ta jsou zvážena, vložena do kádinky s 250 ml destilované vody a zakryta filtračním papírem. V nich se semena louhují po dobu následujících 24 hodin. Po uplynutí této doby a těsně před začátkem měření se kalibrovaným konduktometrem změří vodivost pozadí neboli destilované vody, použité předchozí den pro louhování semen. Tato hodnota pozadí by neměla přesáhnout 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Na začátku každého jednotlivého měření vodivosti konkrétního výluhu se kryt kádinky odstraní, kádinka po deset sekund krouživým pohybem zamíchá, a elektroda konduktometru následně ponoří tak, aby byla celá sonda obklopena roztokem, ale nedotýkala se semen samotných. Po deseti sekundách se hodnota na displeji konduktometru ustálí a zaznamená.

Po každém jednotlivém měření se sonda ponoří do nádoby s destilovanou vodou a krouživým pohybem se opláchne.

Výsledná měrná vodivost (jednotka $\mu\text{S}/\text{cm.g}$) se vypočítá dle vzorce

$$\frac{\text{naměřená vodivost vzorku} - \text{vodivost pozadí}}{\text{hmotnost vzorku}}$$

Výsledkem každého konduktometrického měření potom pro danou partii osiva je průměrná hodnota měrných vodivostí čtyř výluhů (opakování).

Na obrázku 39 je vidět probíhající měření vodivosti konduktometrem a zároveň louhující se semena v kádinkách, jejichž měření bude bezprostředně následovat.



Obrázek 39: Měření konduktivity (foto Procházka).

Úpravy osiv před založením porostu hrachu

Standardem osiva, které je použito pro založení porostu hrachu by mělo být vždy moření. Moření osiva patří k nejlevnějšímu a zároveň je nejefektivnějšímu způsobu ochrany a stimulační. Osivo hrachu by mělo před výsevem být ošetřeno jednak fungicidem, dále vhodným inokulantem podporujícím biologickou fixaci dusíku a vhodným stimulem (biologicky aktivní látkou) podporujícím počáteční fázi růstu rostliny. Za biologicky aktivní látky jsou považovány různé regulátory růstu, enzymy, látky související s bioenergetikou rostlin nebo i fotosyntetické pigmenty tvořící bílkovinné komplexy, které se účastní vlastní přeměny energie elektromagnetického záření na energii chemických vazeb. Řada biologicky aktivních látek prokázala příznivý vliv právě na klíčení semen a následný růst rostlin hrachu. Takto ošetřené rostliny se v průběhu vegetace lépe vyrovnávají se stresem, který velmi často přichází zejména v podobě deficitu vláhy, nebo teplotních extrémů. Z pohledu ošetření osiva je tak nejlepší použít takzvané komplexní moření, které je sestaveno ze všech výše uvedených složek.

Inokulace osiva hrachu

Význam inokulace

Jedním ze základních benefitů hrachu, ale i všech bobovitých rostlin, je biologická fixace vzdušného dusíku. Schopnost fixovat vzdušný dusík má pouze kolem 87 druhů, kterými jsou převážně sinice a další bakterie. Tyto organismy typicky redukuji vzdušný dusík na amoniak, k čemuž používají enzym nitrogenáza. Ten je inaktivován kyslíkem, a proto musí tento proces nutně probíhat anaerobně. Tato redukce zároveň spotřebovává velké množství energie, která je v případě symbiózy s druhem z čeledi *Fabaceae* dodávána rostlinami formou kořenových exudátů. Hrách získává vzdušný dusík díky symbióze s bakterií *Rhizobium*. Vizuální projev činnosti těchto bakterií je tvorba hlízek na kořenech rostliny, jako vidíme na obrázku 40. Na pozemcích, kde hrách nebyl dlouho pěstován, je vhodné osivo inokulovat spory těchto bakterií. Za optimálních podmínek je potom kolem 50 % spotřeby dusíku rostlinou získáno právě z elementárního vzdušného dusíku. Jednotlivé hlízky obsahují velké množství bakterií, které vstoupí do pletiva rostliny kořenovými vlásky, kde přeměňují vzdušný dusík do formy přijatelné rostlinou výměnou za cukry. Aktivita bakterií začíná u klíčících rostlin, roste do fáze kvetení až k nasazování lusků. Následně klesá až ustane ve fázi, kdy má rostlina obvykle zelená semena. Na aktivitu bakterií má vliv půdní typ, kyselost, množství organické hmoty a další mikroorganismy. Genotypy hrachu se obvykle mírně liší ve schopnosti kooperovat s bakteriemi obsaženými v půdě přirozeně. Některé jsou schopny nodulovat hojně i bez inokulace, jiné defaultně potřebují inokulaci konkrétními kmeny bakterií, aby se hlízky dobře tvořily. Fixace N_2 je největší u porostů bujných rostlin s dlouhou vegetační dobou.

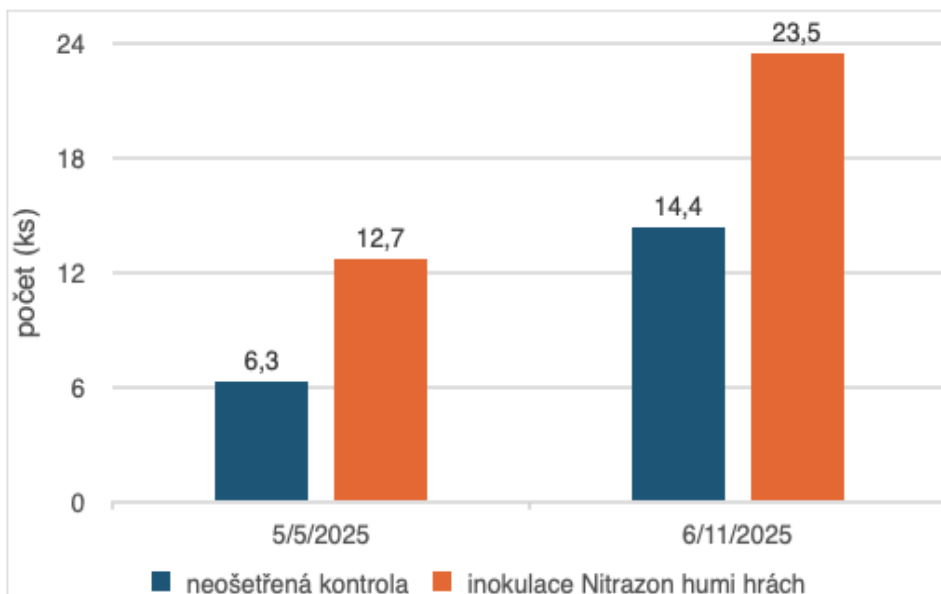


Obrázek 40: Hlízy bakterií *Rhizobium* poutající vzdušný dusík na kořenovém systému hrachu v počátku květu hrachu (foto Procházka).

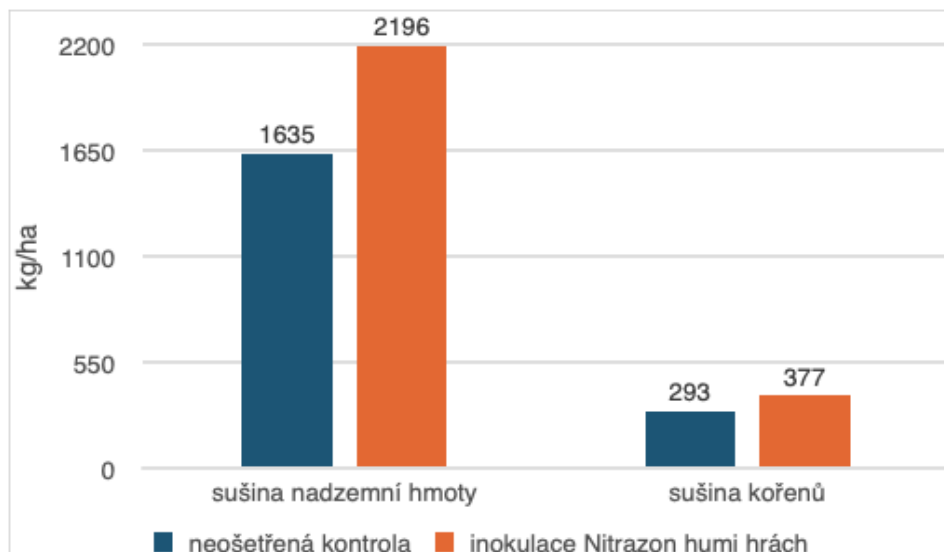
Rod *Rhizobium* není jediná skupina bakterií symbiotizujících s rostlinami hrachu. Výsledky výzkumu z konce 90. let 20. století uvádí, že tento druh je univerzální a dokáže nodulovat přes 77 různých druhů z čeledi *Fabaceae*.

K efektivní symbióze je pro konkrétní genotyp rostliny potřeba vybírat konkrétní genotypy symbiotických bakterií. Klíč navázání spolupráce spočívá například v tom, jaké signalizační bílkoviny rostlina produkuje a podle toho příslušné bakterie reagují. Ukazuje se, že některé tyto bakterie mohou přežívat i na některých rostlinách mimo čeleď *Fabaceae*. Pro zemědělství by tak byly přínosné ty kmeny bakterií, které mají široké hostitelské rozmezí, neboť by se tím eliminoval náročný výběr správného inokulantu pro konkrétní odrůdu.

Příklad významu inokulace je obrázek 41, kde jsou zachyceny průměrné počty hlíz na kořenech hrachu založeného 30.3.2021 na lokalitě Chmelná (okr. Benešov) kde je patrné, že porosty hrachu inokulované před výsevem přípravkem Nitrazon humi hrách, mají při jednotlivých odběrech vždy téměř dvojnásobný průměrný počet hlíz na kořenech. Inokulace osiva hrachu před jeho výsevem má obvykle pozitivní vliv také na počáteční fáze růstu rostlin. Na obrázku 42 je příklad z lokality Chmelná, kde při odběru 1.6.2021 měly rostliny hrachu výrazně vyšší obsah sušiny na hektar v případě porostu pocházejícího z inokulovaného osiva. Rostliny se tak díky lepšímu kořenovému systému již v počátečních fázích růstu lépe vyrovnávají se stresovými podmínkami například v podobě přísušku a zároveň lépe využijí sluneční záření díky vyššímu množství fotosynteticky aktivní hmoty.



Obrázek 41: Průměrné počty hlíz na kořenech hrachu na lokalitě Chmelná u porostů bez inokulace a s inokulací přípravkem obsahujícím bakterie rodu *Rhizobim* (zdroj: Procházka, Holejšovský).



Obrázek 42: Obsah sušiny nadzemní hmoty a hmoty kořenů na lokalitě Chmelná v roce 2021 u porostů bez inokulace a s inokulací přípravkem obsahujícím bakterie rodu *Rhizobium* (zdroj: Procházka, Holejšovský).

Rizika při inokulaci osiva a manipulaci s ním

Inokulace osiva hrachu, stejně jako jakákoliv jiná operace s osivem je spojena s rizikem zejména mechanického poškození semen při manipulaci s nimi. Měl by proto být kladen důraz na šetrnost mořících zařízení (ostré hrany, rychlost rotace, pádová výška atd.). Absolutně nevhodné je provádění inokulaci například ve šnekovém dopravníku do secího stroje, neboť hrozí poškození semen a ztráta schopnosti klíčit až v desítkách procent.

Dalším rizikem při inokulaci je načasování inokulace. Používáme-li klasické živé inokulanty, kterých je na trhu valná většina, je nutné inokulaci provádět relativně krátký čas před výsevem (max. několik týdnů). Trendem současnosti jsou takzvané spící inokulanty, kde se bakterie aktivují až po výsevu semen do půdy.

Metody inokulace v současné době poskytují rozdílné způsoby řešení. Nejrozšířenější je dnes systém inokulace probíhající na klasických mořících zařízeních. Méně omezený je, z hlediska praktického zvládnutí, již systém moření rozdílnými systémy mísení přímo v zemědělských podnicích, které jsou z hlediska kvality promísení, způsobu osychání osiva apod., velmi rizikové.

Za nový trend lze považovat provedení inokulace přímo při seti, kdy jácha se symbiotickými bakteriemi je aplikována do výsevní rýhy k osivu, či do blízkosti osiva. Aplikace inokulantu do blízkosti osiva vychází z principu aplikace inokulantu v kapalně formě, která zajistí rozptýl jáchy v půdě u osiva a směr růstu kořenů hrachu k dané zóně lze podpořit obohacením jáchy o atraktivní kapalná hnojiva, humáty apod. (obrázek 43).

Inokulace osiva před setím

Nejběžnějším způsobem inokulace osiva hrachu je nanášení na semena v klasických mořičkách před výsevem, respektive před distribucí osiv osivářskými firmami. V současné době je obvyklé inokulaci osiva spojit s mořením osiva fungicidními látkami, nebo biologicky aktivními látkami, které podporují tvorbu a kvalitu rostlinných pletiv v počátečních fázích růstu.

Aplikace symbiotických bakterií a dalších látek při setí

Rozvoj systémů aplikace rozdílných kapalných a pevných látek při rozdílných pracovních operacích prováděných v polní výrobě je spojen i s rozvojem technických řešení, která zajišťují aplikace těchto látek při setí do blízkosti uloženého osiva nebo přímo do výsevní rýhy k osivu.

Z hlediska inokulace osiva hrachu, včetně dalších luskovin, je přímá aplikace inokulantu spojena s následujícími benefity:

1. Zamezení poškození osiva vedoucí ke snížení klíčivosti při průchodu inokulačním (mořicím) zařízením při nanášení inokulantu na osivo.
2. Zásadní omezení snížení životnosti symbiotických bakterií na inokulovaném osivu po dobu transportu a skladování před výsevem, včetně případů, kdy osivo musí být v důsledku nepřízné počasí vyseto opožděně a již se nachází ve výsevní skříni secího stroje.
3. Příprava aplikační jíchy obsahující symbiotické bakterie těsně před setím, včetně přípravy přesně požadovaného množství pro daný výkon.
4. Možnost stabilizace teplotních podmínek v aplikační nádrži na základě provedení její tepelné izolace (např. zakrytí, či obalení izolační fólií), která zamezí ohřívání stěn nádrže a jejího obsahu v důsledku působení slunečního záření.
5. Kombinovatelnost roztoku symbiotických bakterií s dalšími bakteriemi, pomocnými látkami (humáty apod.) a kapalnými hnojivy, včetně látek zajišťujících počáteční výživu bakterií.
6. Uložení jíchy do půdy (dno výsevní rýhy nebo bočně pod výsevní rýhu) v dostatečném množství vody. Které zajistí rozptýl jíchy i v suché půdě a vhodnější podmínky pro přežití bakterií po aplikaci.
7. Nízká spotřeba jíchy při setí, kdy u setí do širších řádků s využitím strojů pro přesné setí (rozteč řádků od 0,3 do 0,5 m, nebo systém dvouřádků s roztečí 0,25 – 0,50 – 0,25 m) se jedná o dávku 50 až 100 l/ha, při setí konvenčními stroji s roztečí 0,15 – 0,30 m o dávku 60 až 100 l/ha.
8. Spojení pracovních operací (inokulace, startovací přihnojení, další látky apod.) se setím nevede ke zvýšení časové náročnosti operace a nezvyšuje její ekonomickou náročnost).
9. Na rozdíl od přímého moření osiva lze ve vztahu k aktuálním podmínkám stanoviště aktuálně měnit dávku inokulantu, množství vody na plochu a složení složek postřikové jíchy.
10. Systémy lze velmi efektivně kombinovat s aplikací rhizogenních hub, které lze aplikovat formou mikrogranulátu, či v kapalném stavu. Přípravky mísitelné ve vodě lze přidat přímo do nádrže k inokulantu. Mikrogranulátové formy se aplikují u přesných secích strojů z aplikátorů mikrogranulátu, u úzkořádkových secích strojů lze aplikovat mikrogranulát plošně z univerzálního rozmetadla, ale je potřeba omezit odnos mikrogranulátu větrem, dochází-li k rozhozu plošně.

Využití aplikace symbiotických bakterií přímo při setí vyžaduje v praxi dodržení podmínek skladování koncentrátů před aplikací a během ní. Především zahraniční zkušenosti poukazují na skutečnost, že práce s živými bakteriemi je spojena se zvýšením nároků na kvalitu vody (pH, uhlíková filtrace, polarizace vody apod.). Některé podniky kombinující využití konvenčních pesticidů a živých bioagens využívají pro dané skupiny samostatné aplikátory, aby nedocházelo k ovlivnění komponent bioagens rezidui pesticidů v nádrži.

Technické možnosti aplikace roztoků symbiotických bakterií při setí

Mezi ověřené technické postupy patří především aplikace kapalně jichy obsahující symbiotické bakterie do blízkosti výsevní rýhy (50 až 60 mm bočně a do hloubky půdy 60 až 80 mm) při výsevu hrachu pomocí secích strojů pro přesné setí do širších řádků či dvouřádků.

Secí souprava musí být vybavena nádrží pro aplikaci kapalných látek se systémem dávkování a rozvody aplikační jichy (obrázek 43). U secích strojů pro přesné setí lze za vhodné technické řešení považovat vyvedení aplikačních hadiček k přihnojovacím diskům secího stroje, kterými je vybaven (obrázek 44, vlevo). Aplikovaná kapalina vytváří následně v půdě aplikační depo, které vzniká rozptylem kapaliny v půdě (obrázek 44, vpravo). Modifikace secího stroje pro tyto aplikace jsou většinou prováděny výrobcem strojů ve spolupráci se samotnými zemědělci. Systém byl vyvinut a ověřen autorským kolektivem.



Obrázek 43: Secí souprava přesného secího stroje Väderstad Tempo a čelně nesené nádrže Kverneland iXtra při výsevu s aplikací symbiotických bakterií k řádku osiva (foto Brant).

Zatím spíše omezeně se lze setkat se systémy aplikace kapalných látek přímo do výsevní rýhy na osivo. Tato technická řešení jsou vhodná pro konvenční secí stroje pro výsev do užších řádků. V současné době se jedná o individuální přestavby pro konkrétní zemědělské subjekty. Na obrázku 45 je modifikace secího stroje pro výsev do řádků s roztečí 0,25 a se souběžnou aplikací kapalných látek za výsevní jednotku do rýhy s osivem před jejím uzavřením zeminou (obrázek 46). Systém byl vyvinut a ověřen autorským kolektivem.



Obrázek 44: Vyvedení aplikačních hadiček k přihnojovacím diskům secího stroje (vlevo) a následný rozptyl kapaliny v místě aplikace (vpravo), *foto Brant*.



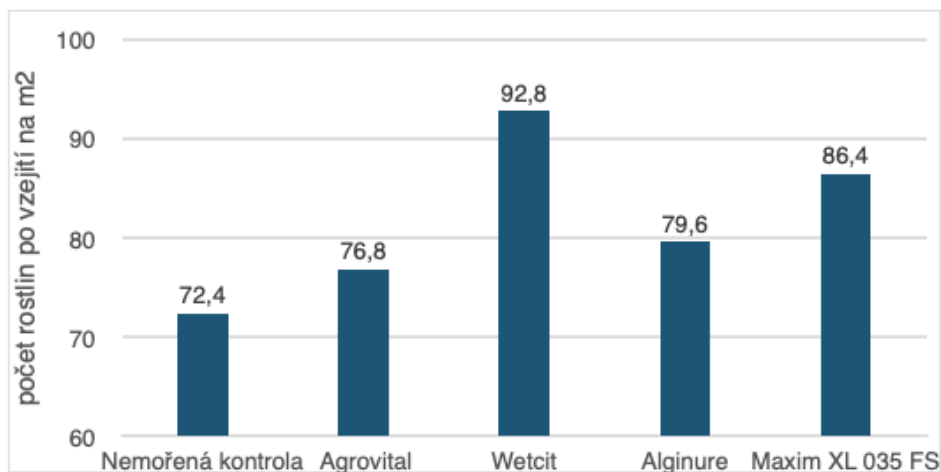
Obrázek 45: Modifikace secího stroje Kverneland ts-drill (záběr 6 m) pro výsev plodin do řádků 0,25 m se souběžnou aplikací bakterií do výsevní rýhy z čelně nesené nádrže Kverneland iXtra (*foto Brant*).



Obrázek 46: Detailní pohled na systém rozvodu kapaliny k výsevním botkám (vlevo), umístění trysky a tok kapaliny (uprostřed) a aplikace kapalných látek za výsevní jednotku do rýhy s osivem před jejím uzavřením zeminou (vpravo), *foto Brant*.

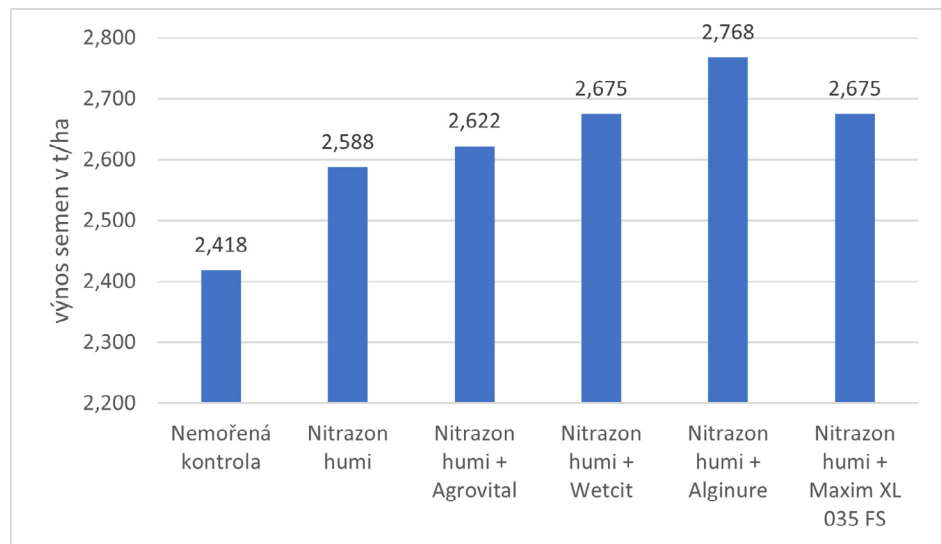
Fungicidní moření

Vzhledem se stále stupňujícimu se tlaku legislativy a společnosti na používání přípravků na ochranu rostlin výrazně ubývá látek využitelných pro fungicidní ochranu osiva hrachu. Je tak třeba hledat vhodné alternativy z kategorie přírodních látek vykazujících antifungální aktivitu. Již několik let je v provozních podmínkách testován například přípravek Alginure, založený na extraktu z mořských řas rodu *Ascophyllum nodosum* a *Laminaria* sp., který dále obsahuje rostlinné aminokyseliny, fosfonáty ve formě draselných solí kyseliny fosforečné a fosforité, které mají za úkol účinněji transportovat organické aktivátory do buněk rostlin a další účinné látky, jako například algináty, laminariny, cytokininy, proteiny, betainy, sacharidy a hormony, které slouží jako aktivátory obranných mechanismů. Efekt spočívá ve zvýšení koncentrace fytoalexinů a mnoha dalších podpůrných látek v rostlině, čímž je posílena obranyschopnost rostliny vůči působení patogenů. Dalším přípravkem je Wetcit, který obsahuje pomerančový olej, jehož hlavní složkou jsou terpeny z pomerančovníku, které mají účinky na regulaci chorob a škůdců rostlin. Citrusy obsahují v listech, plodech a květech značné množství aromatických a biologicky aktivních látek. Biologicky aktivní látky jsou představovány hlavně terpenoidy a to především limoninem, nomilinem a obacumonem. Mezi seskviterpeny obsažené v citrusech patří např. γ -bisabolen. Pomerančová silice působí jako přírodní antimikrobiální a repelentní bariéra. Posledním zkoumaným přípravkem je Agrovital, což je pomocná látka, která se přidává do tank mixu přípravků na ochranu rostlin. Například v období dešťů snižuje ztráty těchto přípravků smyvem z listů a zabezpečuje tak ochranné krytí. Jeho účinnou látkou je *pinolen*. Pinolen je emulgovatelný terpenický polymer s fungicidními účinky, destilovaný z pryskyřic jehličnatých stromů. Zmíněná látka lze doporučit pro moření osiva hrachu před výsevem. Tyto látky lze s úspěchem kombinovat s běžně dostupnými inokulanty. Pozitivní vliv na počet vzešlých rostlin dokládá obrázek 47, ze kterého je tento trend zřejmý. Zde bylo osivo před výsevem namořeno a zároveň inokulováno do provozních podmínek. Zároveň byly přírodní látky porovnávány s klasickým fungicidním mořidlem Maxim XL 035 FS, což je fungicidní mořidlo s účinnými látkami *Fludioxonil* a *Metalaxyl-M*.



Obrázek 47: Počet vzešlých rostlin při různém způsobu moření osiva při výsevu 100 semen/m² (zdroj: Procházka).

Pozitivní vliv fungicidního moření se projeví i při sklizni, neboť díky pozitivnímu vlivu těchto látek na počet vzešlých rostlin zajistíme porost s vysokým produkčním potenciálem, což ukazuje obrázek 48, kde je jednoznačně vidět pozitivní vliv fungicidního moření na výnos semen sóji.



Obrázek 48: Výnos semen sóji při různém způsobu moření osiva (zdroj: Procházka).

Pěstební technologie

Agroekologické nároky hrachu

Novodobé odrůdy hrachu setého se vyznačují vysokou plasticitou za předpokladu vláhové jistoty. Jeho vysoký výnosový potenciál je dán geneticky, ale optimální výnos spolu s výnosovou jistotou je ovlivňován podmínkami prostředí. Obecně lze ale říct, že se mu nejvíce daří na půdách hlinitých, hlinitopísčitých, nebo písčitohlinitých, které jsou dobře zásobeny živinami, a to hlavně fosforem (P) a vápníkem (Ca). Houba a kol (2009) uvádí jako nejlepší půdní reakci neutrální (pH 6 - 7). Optimální podmínky nalézá ve všech polohách řepařské a obilnářské, případně nižších částech bramborářské oblasti s dobře rozdělenými srážkami (Lahola, 1990). Nevýhovující jsou z hlediska zvýšeného výskytu kořenových a krčkových chorob pozemky s utuženou podorniční vrstvou. Houba a kol (2009) uvádí jako další nevhodné podmínky extrémní počasí, a to především sucho, mokro. Autor dále uvádí, že pro dobrou funkci hlízkových bakterií, které zajišťují výživu rostlin dusíkem, jsou vhodné dobře zpracované půdy, biologicky činné s dostatečnou zásobou vápníku, fosforu. Odběrový normativ pro vytvoření 1 tuny semen se pohybuje okolo 50 - 70 kg N, 10 - 20 kg P a 25 - 60 kg K.

Většina literatury, ale i zemědělská praxe uvádí, že hrách se řadí mezi chladuodolné rostliny. Semena hrachu začínají klíčit již při teplotě 1 - 3 °C. Optimální růstová teplota je udávána 20 °C, naopak maximální teplota je 25 °C. Údaje se, ale mohou, zejména ve starší literatuře, značně lišit. Hrách je značně odolný vůči jarním mrazíkům. Většina odrůd však mráz snáší jen krátkodobě, delší působení se stává letálním. Poškození se projevuje při -4 °C až -6 °C. Nejvhodnější teplota pro maximální růst hrachu je podle Laholy (1990) 20 °C ve dne a 10 - 12 °C v noci. Rozhodujícími teplotami jsou především ty v počátečním období, ve fázi kvetení a tvorby semen. Pro dosažení optimálního výnosu hrachu je příznivé teplé jaro, zejména duben a květen, následně pak vlhký červen, aby nedocházelo k příliš velkým průsuškům, které mají neblahý dopad na tvorbu květu. V nabídce výrobců osiv se v posledních letech objevují i formy ozimého hrachu, které jsou mrazuvzdorné a jsou alternativou pro založení porostu hrachu v podzimním období.

Hrách je již od bobtnání a klíčení semene v půdě velice náročný na vláhu. V tomto období jí spotřebuje až 105 % hmotnosti semene. Kritickým obdobím v požadavcích na vláhu je počátek tvorby generativních orgánů (Lahola, 1990). V tomto období hrách nejvíce reaguje zvýšeným výnosem na případnou závlahu. Požadavky hrachu na vláhu jsou v určitých vývojových fázích vyšší než u obilovin. V oblastech, kde se v jarních měsících vyskytuje nedostatek vláhy (u nás např. jižní Morava, ale také například Slánsko, Žatecko či Rakovnicko) je vhodné využití ozimých odrůd hrachu, které svým rychlým jarním startem tyto jarní průsušky eliminují. Termín setí se v různých oblastech může značně lišit a závisí zejména na teplotě půdy a průběhu daného ročníku.

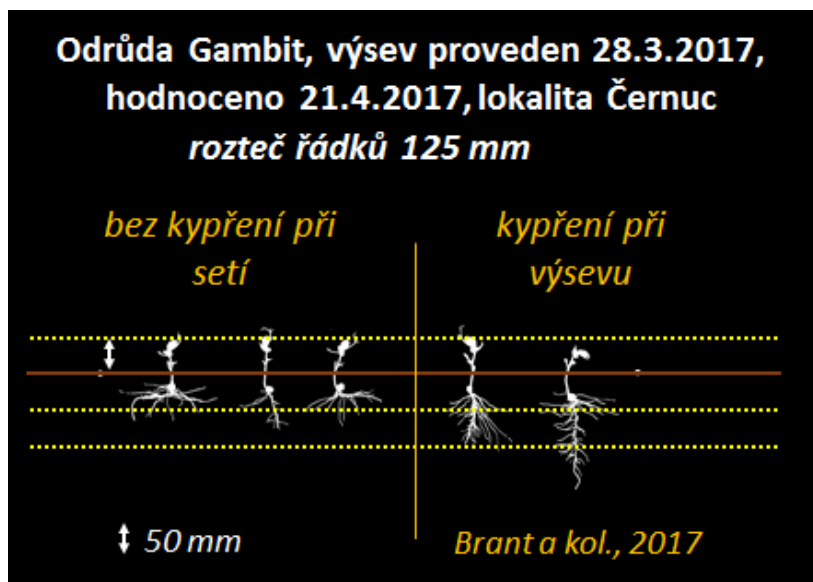
Technologie zakládání porostů hrachu

Seťové lože a uložení semen v půdě

Požadavky na tvorbu seťového lůžka jsou obecně známé a vycházejí z následujících požadavků. Osivo má být uloženo na utuženou, nebo spíše slehlou, půdu v hloubce odpovídající hloubce setí. Obecně se předpokládá, že půdní profil ode dna seťového lože směrem do hloubky vykazuje kontinuitu kapilárních a nekapilárních pórů z hlediska vztlínání vody a její infiltrace. Kapilární póry mají zajistit kontinuální vztlínání vody k osivu. Úkolem nekapilárních pórů je přispět k odvedení srážkové vody, aby nedocházelo k její dlouhodobější akumulaci nad výsevní rýhou. Nezastupitelnou roli mají i z hlediska rozvoje kořenového systému a vzdušného režimu půdy při deštivém průběhu počasí.

Prostorové rozmístění půdní hmoty

Dále se předpokládá, že míra utužení dna seťového lože a půdy pod ním nebude nadměrně ztuhlejší nebo příliš kyprá, aby nedošlo k negativnímu ovlivnění rozvoje kořenového systému klíčenců (Brant a kol. 2016a). Zpomalením prorůstání kořenů do spodních vrstev v důsledku utužení půdy narůstá za sucha riziko nedostatku vody pro klíčící rostliny, protože horní vrstva půdy rychle přesychá. Problém omezení rozvoje kořenového systému klíčenců v důsledku přeschnutí horní vrstvy půdy je typický zejména při mělkém setí. U hrachů by se hloubka



Obrázek 49: Rozvoj kořenového systému hrachu seťového v závislosti na utužení půdy pod semeny při klasické opakované předseťové přípravě půdy (vlevo) a při využití systémů zonální kypření při výsevu v místě výsevní rýhy do hloubky 80 mm pod hloubku výsevu (Brant a kol. 2017a).

setí ve vztahu k vláhovým podmínkám dané lokality pohybovat na úrovni 40 až 60 mm. Při hlubších výsevech může docházet k utužení dna výsevní rýhy v důsledku tlaku pracovních nástrojů secích botek (kotouče, radličky a dlátka). Zhutnění stěn, ale především dna výsevní rýhy vede k omezení růstu kořenů do spodních vrstev a následně k negativnímu rozložení kořenů v horní vrstvě půdy spojeného s omezením růstu primárního kořene směrem do hloubky (obrázek 49).

Zhutnění půdy, zejména na těžších půdách, vede rovněž k tvorbě malých pórů, kde je voda sice přítomná, ale je z důvodu silné vazby na půdní částice v důsledku nárůstu hodnot maticního potenciálu půdy je pro rostliny nedostupná. U velmi malých pórů, které se vyznačují malým objemem zadržené vody vůči ploše stěn, je snížená dostupnost vody pro kořeny způsobena opět vazbou vody na vnitřní stěny póru (Hartge a Horn 1999).

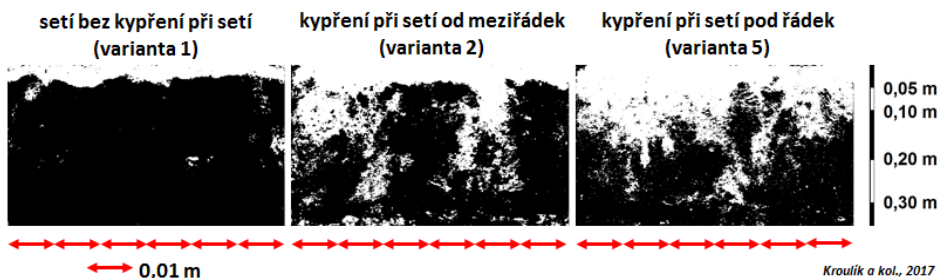
Za vlhka může naopak docházet k akumulaci vody ve výsevní rýze, jejímž důsledkem je nejen snížení teploty půdy, ale také pokles obsahu vzduchu v půdě a tím i kyslíku. Na základě literárních údajů se optimální hodnoty objemové hmotnosti půdy pro vývoj kořenového systému pohybují v intervalu od 0,9 do 1,4 g/cm³ (Gisi a kol. 1997). Výraznější utužení spodní vrstvy půdy pod horní nakypřenou částí půdy po předsetěvé přípravě a po zasetí, zejména při mělkém setí, zvyšuje rovněž rizika vodní eroze.

Voda a vzduch v půdě

Nad osivem uloženým na utuženou půdu se má nacházet nakypřená vrstva půdy, která díky větším pórům vyplněným vzduchem zajistí ohřev půdy a dostatek kyslíku pro oxidační procesy probíhající při klíčení. Bradbeer (1988) uvádí, že zvýšená spotřeba kyslíku semení fazolu obecného nastala mezi 2. až 6. dnem po uložení na klíčidlo. O dostupnosti kyslíku samozřejmě rozhoduje i obsah vody v půdě. Difuze kyslíku do půdního vzduchu je několikanásobně vyšší než jeho pronikání do půdní vody. Ve vrstvě ukládání osiva je vyžadována přítomnost jemnějších půdních částic z důvodu dobrého kontaktu osiva s půdou. Na základě dosavadních znalostí činí kontaktní plocha mezi semenem a půdou přibližně jen 10 % z plochy povrchu semene. Směrem k povrchu půdy má velikost půdních částic, nejlépe půdních agregátů, narůstat. Brant a kol. (2016a) uvádějí, že na povrchu půdy je naopak žádoucí přítomnost větších hrudek, které, zejména v systémech bez pokrytí povrchu půdy mulčem, zajistí snížení poškození půdy deštěm, zpomalí povrchový odtok a omezí větrnou erozi. Větší půdní částice, hrudky až hroudy, snižují působení kinetické energie deště. Tím nedochází k rozpadu půdních agregátů na povrchu půdy a v její horní vrstvě a k následnému rozplavení půdy a tvorbě půdní krusty. Objemová hmotnost slité půdy může mnohdy přesahovat hodnotu 1,9 g/cm³ (Entrup 2013). Na přítomnost půdního škraloupu reagují semena hrachů negativně. Při omezené možnosti výměny vzduchu v důsledku zhutnění půdy dochází ke zvýšení obsahu oxidu uhličitého, který snižuje klíčivost semen (např. Anken a kol. 2007). Velikost hrudek a hrud přítomných na povrchu půdy závisí především na půdním typu a na půdních podmínkách při pracovních operacích zpracování půdy před setím.

Horní nakypřená vrstva půdy musí zajišťovat dobrou infiltraci vody do půdy, která nesmí být následně omezena zhutnělou vrstvou půdy nacházející se pod touto vrstvou, zejména u systémů celoplošné přípravy půdy. Zamezení hlubšího pronikání vody pod kypřenou vrstvu půdy snižuje zvýšení zásoby vody pro rostliny ve spodních vrstvách půdy a zároveň podpo-

ruje vznik erozních procesů. Ty vycházejí z naakumulování vody v nakypřené vrstvě půdy a při překročení její retenční kapacity k odtoku suspenze vody a půdy po ztuhnutí vrstvě ve směru spádu pozemku. Zadržení vody nad nezpracovanou půdou po předseťové přípravě a setí je spojeno rovněž s rychlým vyschnutím horní vrstvy v důsledku evaporačních procesů, kdy se na ztrátě vody podílí, jak energetický vliv záření, tak aerodynamické procesy. Postupné omezení ztrát vody evaporací klesá s vývojem porostů, kdy listy rostlin zastíňují půdu a výška porostu omezuje proudění vzduchu na povrchu půdy. S vývojem porostů narůstá následně podíl transpirace vůči evaporaci z celkové hodnoty evapotranspirace. Nárůst porostů je následně spojen s podporou infiltrace vody do půdy v místě kořenové zóny rostlin. Obrázek 50 dokumentuje infiltraci vody po zasetí hrachu setého na plochách s klasickou předseťovou přípravou a na variantách se zonálním kypřením pod řádek či do meziřádku vyseté plodiny. Hloubka kypření byla 80 mm pod hloubku uložení semen.



Obrázek 50: Vliv tvorby seťového lože na infiltraci vody do půdy na variantách 1, 2 a 5, dne 23.4.2017 stanovený metodou modré infiltrace. Množství modré barvy odpovídalo srážce 40 mm. Bílá barva dokumentuje místa infiltrace modré barvy do půdního profilu (Brant a kol. 2017a).

Bobtnání, klíčení a vzcházení

Z hlediska příjmu vody lze dobu od uložení osiva do půdy až po vzejití prostu rozlišit do následujících fází. Po výsevu nastává fáze bobtnání semen. Ta se vyznačuje příjmem vody do osiva a trvá do doby, než zárodečný kořínek proroste osemenění. V této době osivo velice dobře přijímá vodu, neboť na povrchu semene se hodnota vodního potenciálu pohybuje v rozmezí -100 až -60 MPa. Jedná se o velmi rychlý proces, který je však závislý na dostatku vody v půdě. U hrachů se v praxi setkáváme i s možností příjmu vody pro bobtnání z půdního vzduchu a z kondenzované vody na povrchu půdy či v její horní vrstvě. Ke kondenzaci vody dochází v případech, kdy teplota povrchu půdy, či částic v její povrchové vrstvě, klesne pod hodnotu rosného bodu. Tento efekt se primárně projevuje při výsevu hrachů jako letních, strniskových či při časném setí jako pomocných plodin do ozimů (ozimá řepka, časně výsevy pšenice ozimé). Klíčivost se s nárůstem relativní vlhkosti půdního vzduchu zvyšuje. Optimální je vlhkost vzduchu vyšší než 70 % (Brant a kol. 2016a).

Dojde-li k nabobtnání semen, primárně dochází k příjmu vody do embrya, začínají v semeni probíhat oxidační reakce. Ty vedou k rozkladu chemicky složitějších zásobních látek na jednodušší, které jsou využity pro tvorbu nově vznikajících orgánů. To vše je závislé na dostatku kyslíku a na teplotě. S objevením se zárodečného kořínku a následně s tvorbou nad-

zemní části rostliny se klíčí či vzházející rostlina stává z hlediska dostupnosti vody v půdě výrazně zranitelnou.

Zásadním faktorem určujícím dynamiku klíčení semen a následného vzházení rostlin je teplota. Pomalý ohřev půdy po zasetí a chladné počasí však dobu vzházení prodlužují. Semena hrachu setého a rolního začínají klíčit při 3 °C, ale z hlediska zkrácení doby vzejití je optimální teplota nad 10 °C (Lahola a kol. 1990). Nakypření horní vrstvy půdy projevující se větším podílem plynné fáze přispívá k výraznějšímu ohřevu půdy v denních hodinách, rovněž však vede k jejímu rychlejšímu ochlazení v průběhu noci. Při výsevu hrachů v systémech bez předsetové přípravy či do mulče ovlivňuje ohřev půdy její nakypřenost nad výsevní rýhou. Problematika rostlinných zbytků ovlivňuje klíčivost a vzházivost rostlin ze dvou hledisek. Jedním je samotný vliv na snižování teploty půdy v důsledku reflexe krátkovlnného záření, které se primárně podílí na ohřevu povrchu půdy. Teplo z povrchu půdy se následně šíří do jejích spodních vrstev. Dalším faktorem vedoucím ke snížení teploty půdy v důsledku jejího pokrytí rostlinnými zbytky je izolační vrstva vzduchu, která se nachází mezi půdou a rostlinným materiálem. Důležitou roli hraje i hodnota albeda rostlinných zbytků.

Hloubka uložení osiva

Hloubka uložení osiva v půdě je významným faktorem ovlivňujícím nejen proces příjmu vody semenem, ale i teplotu, při které budou probíhat biochemické reakce, a složení půdního vzduchu. Určuje rovněž o dynamiku vzházení porostů. Při vyšší vlhkosti půdy a předpokladu pomalého vysychání půdy lze vycházet z doporučené hloubky výsevu nebo ji snížit. Mělké setí je rizikové především v suchých a teplých oblastech.

Pro vyrovnání vzejití porostů je potřebné dodržet podélnou, tak příčnou rovnoměrnost hloubky setí. Nižší variabilitu hloubky setí očekávat při využití přesných secích strojů pro výsev hrachů do širších řádků. Půdy ve srovnání se secími stroji pro úzkořádkové plodiny. Při výsevu hrachů pomocí secích strojů pro setí do nezpracované půdy je základem vzejití porostů uzavření výsevní rýhy půdou. Setí hrachů pomocí těchto secích strojů je primárně využíváno při jejich využití jako strniskových meziplodin (většinou jsou součástí směsí). Za sucha je problém uzavření výsevní rýhy u kotoučových secích botek, za vlhka u kotoučových i radličkových. Problematické je výsev hrachů do nezpracované půdy či do vymrzlé meziplodiny na jaře, kde opět hrozí riziko neuzavření výsevní rýhy a špatná vzházivost. Na obrázku 51 je patrný vliv neuzavření výsevní rýhy v kombinaci se suchým počasím po výsevu na velmi nízkou vzházivost hrachu setého, předlodinou byl ozimý ječmen a na podzim založená meziplodina, která měla kořeny zpracovat půdu a nadzemní biomasou potlačit plevel, nevzešla. Zásadním pro pěstování hrachu pomocí setí do nezpracované půdy je zajištění odlevení pozemku, včetně rostlin plevelné řepky (obrázek 52). Zejména u luskovin je nutné no-till směřovat na humózní půdy s dobrou půdní strukturou, případně na půdy lehčí, kde je však větší riziko sucha během vegetace. Setí do nezpracované půdy či do mulče předplodiny zpomaluje ohřev půdy, čímž se prodlužuje doba vzejití porostů. Prodloužení doby vzházení snižuje konkurenceschopnost porostů vůči plevelům, které jsou na teplotu méně citlivé. I při setí do nezpracované půdy je nutné počítat s vysycháním horní vrstvy půdy, včetně prostoru ve výsevní rýze, což může limitovat vývoj klíčenců, kteří obtížně pronikají utuženým dnem výsevní rýhy a kořeny klíčenců se na začátku vývoje rozrůstají především do stran ve výsevní rýze.



Obrázek 51: Při neuzavření výsevní rýhy po časném setí hrachu setého pomocí no-till hrozí nevzejití porostů, dojde-li k nástupu jarních přísušků. K tvorbě neuzavřených rýh dochází na těžších půdách samozřejmě i za sucha (foto Chára).



Obrázek 52: Podmínkou pěstování hrachu technologií setí do nezpracované půdy je efektivní odplevelení porostu do termínu výsevu (foto Chára).

U strojů určených pro setí do zpracované, či částečně zpracované půdy, lze očekávat problémy s dodržáním hloubky setí, především při výsevu velkosemenných druhů hrachů, je-li horní vrstva půdy utužená v důsledku přejezdů, či z důvodu opakované předseťové přípravy (obrázek 53). Při výsevu do dobře nakypřené půdy je potřebné zajistit rovnoměrně hluboko uložené dno výsevní rýhy, na kterou poté dochází k ukládání osiva, včetně podpory vzlínání vody ze spodních vrstev k osivu.



Obrázek 53: Nezapravení semen hrachu setého do půdy při výsevu v důsledku nadměrného utužení půdy z důvodu opakované předsetové přípravy (vlevo). Zpracování půdy výrazně ovlivnilo variabilitu nakypření horní vrstvy půdy, na utužené půdě mělce vyšetá semena ještě neklíčí (hloubka výsevu 15 mm, uprostřed) a při správné hloubce (40 mm, vpravo) klíčí (foceno 10. den po zasetí, *foto Brant*).

Z hlediska dalšího vývoje zakládání porostů hrachů s využitím přesného setí v kombinaci s výsevem do užších řádků vykazují zajímavý potenciál přesné secí stroje pro výsev plodin do úzkých řádků (většinou 250 mm), obrázek 54. Specifikou těchto strojů je i doplňování osiva z centrálního zásobníku k výsevním sekcím, což je důležité především při výsevu luskovin, včetně hrachů, kde se jedná o výsev většího množství semen na jednotku plochy. U klasických secích strojů pro přesné setí s roztečí řádků nejčastěji v rozmezí 0,45 m až 0,5 m jsou konvenční zásobníky na osivo nad výsevními sekcemi kapacitně nedostatečné a je nutné jejich časté doplňování, což snižuje plošný výkon souprav. Zásadní otázkou z hlediska systémů kontinuálního doplňování osiva z centrálního zásobníku k výsevním sekcím je riziko mechanického poškození osiva při transportu a tím snížení klíčivosti.



Obrázek 54: Z hlediska dalšího vývoje zakládání porostů hrachů s využitím přesného setí v kombinaci s výsevem do užších řádků vykazují zajímavý potenciál přesné secí stroje pro výsev plodin do úzkých řádků (*foto Brant*).

Orientace uložení semene v půdě

Dalším faktorem vedoucím ke zvyšování užité hodnoty osiv je v souladu s potřebou přesného rozmístění semen snižování výsevného množství. Snižování výsevku u luskovin, je podmíněno vysokou klíčivostí osiva. Dalším faktorem je samozřejmě vzcházivost, kde se kromě biologických vlastností osiva projevuje i samotná kvalita založení porostů (hloubka výsevu a její rovnoměrnost, utužení půdy, rovnoměrnost výsevu apod.), včetně aktuálních půdně-povětrnostních podmínek.

Zásadní vliv na vzejití porostu má však i samotné uložení osiva v půdě, především orientace otvoru klového. Ten představuje místo na povrchu semene, kde při klíčení vyrůstá ze semene kořínek klíčku. Zásadní rozdíly ve vývoji klíčenců lze pozorovat při orientaci otvoru klového směrem k povrchu půdy či směrem do půdy. Je-li otvor klový nasměrován k povrchu půdy, proráží klíček se semena tímto směrem. V důsledku působení geotropismu se však začne stáčet dolů. Tento proces je spojen např. s prodlužováním doby pronikání kořene do spodnějších vrstev setového lože. Doba potřebná k obrůstání semínka může trvat několik hodin, ale i dnů. V této době se však zárodečný kořínek nachází ve velmi zranitelné vrstvě půdy z hlediska ztráty vody. Přestože jsou větší semena hrachů vysévána do větších hloubek, může tato skutečnost ovlivnit nejen vzcházivost, ale i vyrovnanost na počátku vývoje porostů. Z obrázku 55 je dobře patrný vliv orientace semene hrachu setého na rozvoj kořenového systému, ale zejména na následný vývoj nadzemní části rostliny.



Obrázek 55: Vliv utužení půdy pod osivem (a, b – optimální utužení, c – nadměrné utužení) a orientace otvoru klového v půdě po výsevu (a – klíček prorůstá dolů, b, c – otvor klový je orientován k povrchu půdy) u hrachu setého (foto Brant).

Vzájemná konkurence semen a rostlin

Zajímavou otázkou je i reakce klíčících semen a následný vývoj rostlin, dojde-li k umístění dvou či více semen do jednoho místa. Na základě pozorování rostlin v polních podmínkách se ukazuje, že vznik shluků (tzv. dvojáky, trojáky apod.) je většinou spojen s redukcí jedné či více rostlin, nebo s pomalým vývojem všech rostlin ve shluku. Konvenční secí stroje se vyznačují vyšší variabilitou rozmístění rostlin v řádku, tyto stroje lze nejčastěji využít pro setí do řádků s roztečí 125 až 250 mm. Při setí klasickými stroji pro tzv. úzkořádkové plodiny lze bez problémů pracovat s výsevky na úrovni od 700 000 až 1 200 000 MKS na ha. Přesnější rozložení semen v řádku zajišťuje výsev pomocí přesných secích strojů (obrázek 56), kde se rozteč pohybuje v rozmezí 0,45 až 0,5 m pro hrachy (setý a rolní). Výsevek se u širších řádků pohybuje dle zvoleného výsevního kotouče (nejvhodnější jsou se dvěma řadami otvorů) na úrovni 400 000 až 650 000 semen na ha. Nerovnoměrné rozmístění rostlin v řádku se spojuje i s nerovnoměrným rozložením rostlin na jednotku plochy (obrázek 57) a nevyrovnaným vývojem rostlin (Brant a kol. 2021), které se vyznačují vyšší heterogenitou biometrických (včetně výnosotvorných) parametrů (obrázek 58).



Obrázek 56: Z hlediska dalšího vývoje zakládání porostů hrachů s využitím přesného setí v kombinaci s výsevem do užších řádků vykazují zajímavý potenciál přesné secí stroje pro výsev plodin do úzkých řádků (foto Brant).



Obrázek 57: Pravidelnost rozmístění rostlin v řádku při výsevu do řádků s roztečí 125 mm (vlevo) a při přesném setí s roztečí 375 mm (vpravo), foto Brant.



Obrázek 58: Pravidelné rozmístění rostlin v řádku přispívá k vyrovnanějšímu vývoji rostlin, vlevo výsev do řádků s roztečí 125 mm a vpravo při přesném setí na počet jedinců s roztečí 375 mm (foto Brant).

Struktura porostů a vývoj rostlin

Struktura porostů hrachu polního a rolního se odvíjí především od daného pěstebního cíle. Z hlediska využití pro produkci semen lze za jeden z intenzifikačních faktorů považovat přesné setí, od kterého se očekává především pravidelné rozmístění rostlin na jednotce plochy a tím i snížení vzájemné konkurence mezi rostlinami v důsledku nízké meziřádkové vzdálenosti, či z důvodu vzniku tzv. dvojáků. Dalším důvodem je i úspora osiva, ve srovnání s konvenčními secími stroji.

Přestože jsou v zemědělské praxi v České republice dominantně uplatňovány výsevy do řádků s roztečí 125 mm, případně 150 mm, jsou úspěšně v polních podmínkách ověřeny výsevy hrachu polního a rolního do řádků s roztečí 250, 375 a 450 mm (např. Brant a kol. 2017b a 2021). V rámci technologií jsou ověřovány i systémy přesného setí hrachů, včetně systémů kombinace přesného setí a inokulace osiva přímo při setí k řádku osiva.

Variabilita rozmístění rostlin

Polní experimenty prokázaly (Brant a kol. 2017a a 2017c), že přesné setí s roztečí řádků 250 mm přispělo ve srovnání s výsevem konvenčního secího stroje pro výsev plodin do úzkých řádků k pravidelnějšímu rozmístění rostlin na jednotku plochy. Obrázek 59 znázorňuje strukturu dvou rozdílných porostů hrachu polního odrůdy Gambit, které byly založeny výše uvedenými odlišnými secími stroji, po vzejití a po převedení infrasnímku do černo-bílého formátu. Na základě prostorového rozmístění rostlin lze stanovit variabilitu jejich rozložení. Analýza rovnoměrnosti rozmístění rostlin na hodnocené ploše (0,5 x 0,5 m) na základě roz-

ložení jejich souřadnic ve čtverci ukázala, že variační koeficient rozmístění souřadnic činil při přesném setí 72 % a u konvenčního setí 89 %. Porosty hrachu polního (obrázek 59 vlevo) založené přesným setím vykazoval tedy o 17 % nižší variabilitu rozložení rostlin ve srovnání s konvenčně založenými porosty obrázek 59 (vpravo), což znamená, že rostliny jsou na ploše pravidelněji rozmístěny.

Hodnocení rozmístění rostlin na základě analýzy obrazu rovněž poukázalo na skutečnost, že variabilita setí nespočívá pouze v prostorovém rozmístění, ale promítá se do heterogenity rozvoje rostlin (Brant a kol. 2017b).



Obrázek 59: Rozmístění rostlin hrachu polního na ploše 0,25 m². Obrázky ukazují dva porosty zaseté rozdílnými secími stroji (vlevo přesné setí, vpravo konvenční setí). Z obrázků je patrné nejen rozdílné rozmístění rostlin, ale i velikostní rozdíly mezi rostlinami v rámci plochy (Brant a kol. 2017b).

Vývoj rostlin ve vztahu ke struktuře porostu

Změna struktury porosty na základě změny počtu jedinců na jednotku plochy či rozteče řádků je spojena s rozdílnou reakcí rostlin na dané podmínky a projevuje se samozřejmě i modifikací biometrických parametrů rostlin. Vliv výše výsevu na biometrické parametry a na výnos semen rozdílných odrůd hrachu polního a rolního byl sledován na dvou lokalitách ve středních Čechách (Brant a kol. 2017b a 2017d). Tabulka 1 dokumentuje hodnocené druhy a průměrné počty rostlin na m² po vzejití porostů. U každého druhu byly založeny porosty s obvyklým výsevem (v tabulkách označeno číslem 1) a sníženým výsevem (30% snížení výsevu, označeno číslem 2), výše výsevu byla na obou lokalitách shodná a shodná byla i ochrana proti plevelům po založení porostů.

Zajímavé jsou výsledky dokumentující srovnání délky rostlin a výšky porostů tři měsíce po výsevu v závislosti na odrůdě a hustotě výsevu (Brant a kol. 2017b). Porosty hrachu polního se v té době nacházely většinou v růstové fázi BBCH 75. Tuto fázi lze z hlediska produkce biomasy považovat za optimální z důvodu ukončení vegetace, protože začíná docházet k redukci listů.

U hrachu rolního byl vývoj porostů pomalejší. Tabulka 2 dokumentuje výše uvedené charakteristiky a poměr mezi délkou rostliny a výškou porostu. Nejvyšší délka rostlin byla na obou lokalitách stanovena u obou odrůd hrachu rolního, nejnižší u odrůdy hrachu polního Enduro. Porosty hrachu rolního rovněž vykazovaly nejvyšší náchylnost k polehání.

Z hlediska hodnocení kompenzační schopnosti rostlin byla potvrzena schopnost řidších porostů vytvářet větší počet větví ve srovnání s porosty s vyšším výsevem (tabulka 3). Tato skutečnost je důležitá i z hlediska možnosti provádění nižších výsevů při alternativním využití luskovin z důvodu snížení nákladů na osivo. Nejvýrazněji se tato schopnost projevila u odrůdy hrachu polního Protecta a hrachu rolního Arkta. Tabulka zároveň dokumentuje rozdílnou reakci porostů v závislosti na lokalitě. Vliv rozdílné struktury porostu na vývoj rostlin hrachu polního a rolního na lokalitě Stupice stanovený na základě hodnocení biometrických parametrů rostliny na konci vegetace v roce 2016 dokumentuje tabulka 4.

Z hlediska pokryvnosti povrchu půdy, jedná-li se o mimoprodukční využití hrachů, nevedla redukce výsevu ke snížení pokryvu povrchu půdy porosty (Brant a kol. 2017b a 2017d).

Tabulka 1: Počet rostlin vybraných druhů v hodnocených porostech stanovený 22.4.2016 (výsev byl proveden 20.3.2016) na lokalitě Stupice a 27.4.2016 (výsev byl proveden 27.3.2016) na lokalitě Červený Újezd. 1 obvyklý výsev a 2 je snížený výsev (Brant a kol. 2017d).

odrůda/výsev	druh/typ	počet rostlin na m ² (kusy)	
		Stupice	Červený Újezd
Eso 1	hrách polní - jarní semi-leafless	128	83
Eso 2		73	53
Gambit 1	hrách polní - jarní semi-leafless	140	96
Gambit 2		68	52
Protecta 1	hrách polní - jarní listový	109	56
Protecta 2		73	35
Arvika 1	hrách rolní – jarní forma	188	126
Arvika 2		78	81
Arkta 1	hrách rolní - ozimá forma	183	145
Arkta 2		105	87
Enduro 1	hrách polní - ozimý semi-leafless	135	95
Enduro 2		93	54

Tabulka 2: Vliv odrůdy a hustoty výsevu na průměrnou délku rostlin (m) a na průměrnou reálnou výšku porostu (m) dne 20.6.2016 (Stupice) a 27.6.2016 (Červený Újezd). Rozdílné indexy dokumentují statisticky průkazný rozdíl mezi průměry v rámci sloupců (ANOVA, $\alpha = 0,05$, Tukey). 1 obvyklý výsevek a 2 je snížený výsevek (Brant a kol. 2017d).

odrůda/ výsev	Stupice			Červený Újezd		
	délka rostliny (m)	výška porostu (m)	poměr (délka rostliny/ výška porostu)	délka rostliny (m)	výška porostu (m)	poměr (délka rostliny/ výška porostu)
Eso 1	0,868 b	0,877 ef	1,0	0,789 b	0,785 c	1,0
Eso 2	0,856 b	0,829 e	1,0	0,779 b	0,690 b	1,1
Gambit 1	0,906 bc	0,870 ef	1,0	0,862 b	0,785 c	1,1
Gambit 2	1,004 c	0,909 f	1,1	0,893 b	0,778 bc	1,1
Protecta 1	0,928 bc	0,863 ef	1,1	0,867 b	0,515 a	1,7
Protecta 2	0,979 bc	0,841 e	1,2	0,857 b	0,488 a	1,8
Arvika 1	1,214 d	0,726 d	1,7	1,535 c	0,733 bc	2,1
Arvika 2	1,340 d	0,673 cd	2,0	1,612 c	0,802 c	2,0
Arkta 1	1,282 d	0,533 a	2,4	1,574 c	0,520 a	3,0
Arkta 2	1,255 d	0,536 a	2,3	1,603 c	0,555 a	2,9
Enduro 1	0,558 a	0,617 bc	0,9	0,569 a	0,528 a	1,1
Enduro 2	0,606 a	0,612 b	1,0	0,569 a	0,557 a	1,0

Tabulka 3: Vliv odrůdy a hustoty výsevu na počet větví na rostlině (kusy) dne 20.6.2016 (Stupice) a 27.6.2016 (Červený Újezd). Rozdílné indexy dokumentují statisticky průkazný rozdíl mezi průměry v rámci sloupců (ANOVA, $\alpha = 0,05$, Tukey). 1 obvyklý výsevek a 2 je snížený výsevek (Brant a kol., 2017d).

odrůda/ výsev	počet větví(kusy)	
	Stupice	Červený Újezd
Eso 1	0,13 a	0,30 a
Eso 2	0,30 ab	0,30 a
Gambit 1	0,13 a	0,77 bc
Gambit 2	0,25 ab	0,79 c
Protecta 1	0,83 cd	0,03 a
Protecta 2	1,03 de	0,43 abc
Arvika 1	0,43 abc	0,00 a
Arvika 2	1,10 de	0,17 a
Arkta 1	1,13 de	0,10 a
Arkta 2	1,47 e	0,80 c
Enduro 1	0,73 bcd	0,17 a
Enduro 2	0,87 cd	0,21 a

Tabulka 4: Celková produkce suché nadzemní biomasy porostů a jednotlivých částí rostlin na jednotku plochy (t/ha) a jejich procentuální podíl na celkové produkci biomasy (%) - 20.6.2016, Stupice. Rozdílné indexy dokumentují statisticky průkazný rozdíl mezi průměry v rámci sloupců (ANOVA, $\alpha = 0,05$, Tukey). 1 obvyklý výsevek a 2 je snížený výsevek (Brant a kol., 2017e).

odrůda/ výsev	celková produkce nadzemní biomasy (t/ha)	biomasa lodyh a větví bez listů a lusků (t/ha)	biomasa listů (t/ha)	biomasa lusků (t/ha)	hmot- nostní podíl lodyh a větví na celkové produkci (%)	hmot- nostní podíl listů na celkové produkci (%)	hmot- nostní podíl lusků na celkové produkci (%)
Eso 1	13,405 b	7,644	2,091	3,669	58,4	16,0	25,5
Eso 2	11,036 ab	6,634	1,997	2,405	60,1	18,1	21,8
Gambit 1	12,390 b	7,045	2,000	3,345	56,6	16,5	26,8
Gambit 2	10,051 ab	6,392	1,768	1,890	63,3	17,5	19,3
Protecta 1	12,300 b	6,371	3,013	2,916	52,6	24,5	22,9
Protecta 2	14,273 b	6,698	3,700	3,875	47,8	27,0	25,2
Arvika 1	10,305 ab	6,607	3,447	0,251	64,6	33,6	1,8
Arvika 2	6,323 a	3,624	1,999	0,700	58,0	31,5	10,5
Arkta 1	11,557 ab	6,878	3,765	0,913	59,1	35,4	5,5
Arkta 2	5,656 a	3,818	1,696	0,142	67,8	29,6	2,6
Enduro 1	10,660 ab	6,345	2,148	2,167	60,0	20,4	19,6
Enduro 2	13,071	7,205	2,029	3,837	55,4	15,6	29,0

Vliv výše výsevu hrachu polního a rozteče řádků, včetně ověřování vlivu kypření půdy při výsevu, byl ověřován v roce 2017 na lokalitě Černuc (Brant a kol. 2017a). Pro výsev hrachu byl použit modulový secí stroj firmy Farmet modifikovaný pro přesné setí hrachů s možností kypření půdy pod secím ložem přímo pod řádkem vysévané plodiny či mezi řádky, včetně možnosti aplikace hnojiv nebo pomocných látek za kypřicí radličky. Výsledky biometrických prvků dokládá tabulka 5.

Tabulka 5: Vliv struktury porostu na výnosotvorné prvky hrachu polního (odrůda Gambit) na lokalitě Černuc v roce 2017, kde bylo využito i systémů rozdílného kypření půdy při setí (Brant a kol. 2017a).

varianta	počet rostlin na m ² (kusy)	rozteč řádků (mm)	kypření při setí	HTS (g)	výnos semen (t/ha)	srovnání výnosů semen var. 2 = 100 %	výnos slámy (t/ha)	podíl produkce semen a slámy
1	91,2	125	bez kypření	266,0	4,762	87	9,660	0,49
2	107,2	125	hloubka kypření 120 mm ob meziřádek	269,6	5,445	100	11,152	0,49
3	78,4	125	hloubka kypření 120 mm ob meziřádek	275,9	5,232	96	10,670	0,49
5	78,4	250	hloubka kypření 120 mm pod každý řádek	266,1	4,828	89	10,439	0,46

Nejvyšší výnos byl dosažen na variantě 2 (rozteč řádků 125 mm, kypření ob meziřádek), kde jeho výše činila 5,5 t/ha. Nejnižší výnos semen byl zaznamenán na plochách bez kypření půdy, kde byla zaznamenána i nejnižší hodnota HTS. Na plochách s kypřením půdy byly stanoveny vyšší výnosy semen ve srovnání s výsevem do půdy bez mělkého kypření. Efekt kypření měl pozitivní vliv na vývoj kořenových systémů do půdy na začátku vegetace, ale i na zvýšení infiltrace vody do půdy. Zásadním faktorem zonálního kypření půdy při výsevu je však možnost cílené zonální aplikace hnojivy (dominantně PK hnojiv), které dle pokusů Branta a kol. (2017b) přispívaly k navýšení výnosu semen. V rámci experimentů byla prokázána pozitivní korelace mezi výnosem semen (t/ha, závisle proměnná) a HTS (g, nezávisle proměnná), kterou lze vyjádřit lineární funkcí: $\text{výnos (t/ha)} = -12,618 + 0,0664 \cdot \text{HTS (g)}$. Korelační koeficient se rovná hodnotě 0,58 na hladině významnosti 0,95 ($n = 36$).

Zajímavou otázkou při pěstování hrachu polního a rolního je snižování výše výsevu, kdy je primárním cílem optimalizace rozmístění rostlin, ale i již výše uváděný pokles nákladů na osivo. Při konvenčním využití pro produkci osiva se jedná o využití odrůd s dobrým kompenzačním účinkem projevujícím se větším větvením a zvýšením počtu lusků na rostlině (obrázek 60). Při uplatnění porostů hrachu pro produkci nadzemní biomasy, či pro tvorbu mulče, v rámci mimoprodukčních a k půdě šetrných systémů je však otázka snížení ceny za osivo na jednotku plochy ještě výraznějším faktorem.



Obrázek 60: Vliv hustoty porostu na habitus rostlin hrachu polního, odrůda Protecta (Brant a kol., 2017f).

Z hlediska produkčního i mimoprodukčního využití hrachu nesmí být snížení výsevu, a tím i založení řidších porostů, spojeno se zásadním nárůstem rizika polehnutí (Brant a kol. 2017b a 2017f). Polehnutí porostu při pěstování na semeno samozřejmě komplikuje sklizeň, ale zároveň vede ke ztrátám na výnosu. Při mimoprodukčním využití, například u systémů setí do čerstvě zmulčovaného porostu, je polehnutí spojeno s nedokonalým zmulčováním rostlin a tvorbou míst s dlouhými lodyhami, které komplikují práci secích botek a vedou k ucpávání secího stroje při výsevu hlavní plodiny. Obdobně je tomu i z hlediska kvalitního položení porostu při využití řezných válců, kdy by rostliny měly být přivaleny ve směru budoucí jízdy secího stroje. Důležitým faktorem je i dosažení obdobného pokrytí půdy porosty během vegetačního období z důvodu zvýšení ochranného vlivu vegetace na půdu, ale i z hlediska omezení rozvoje plevelných společenstev.

Riziko polehnutí porostů je očekáváno především s navýšením rozteče řádků, především při jejich navýšení nad vzdálenost 250 mm. Při výsevu do širších řádků v kombinaci s přesným setím se dominantně uvažuje o využití úponkových hrachů. Při zvyšování rozteče nad 250 mm dochází k propojení rostlin pomocí úponků uvnitř středu řádků, které zajišťuje dobrou stabilitu porostů (obrázek 61). Při rozteči řádků 450 až 500 mm docházelo v našich pokusech k tvorbě spojených dvouřádků (obrázek 62). I při náklonu těchto řádků po prudších deštích nedošlo k polehnutí rostlin, které by omezovalo či zcela znemožňovalo sklizeň. Polehnutí nebylo pozorováno ani u hrachu rolního vysetého do řádků s roztečí 450 mm (obrázek 63).



Obrázek 61: Při vyšších roztečích řádků dochází k propojení rostlin úponky ve středu řádků. Na obrázku je porost hrachu polního (odrůda Eso) zasetý do řádků s roztečí 375 mm (foto Brant).



Obrázek 62: Při rozteči řádků 450 až 500 mm docházelo v našich pokusech k tvorbě spojených dvouřádků. Na obrázku je porost odrůdy Eso s roztečí řádků 450 mm (foto Brant).



Obrázek 63: Porost hrachu rolního založený přesným setím do řádků s roztečí 450 mm (vlevo) a porost vysetý do řádků 125 mm (vpravo), foto Brant.

Pěstování hrachu setého v širších řádcích

Pěstování hrachu setého v širších řádcích není pro zemědělskou praxi zcela neznámou technologií. Při využití konvenčních secích strojů se jedná většinou o rozteče s šířkou do 375 mm, čehož je dosaženo zaslepením secích botek. Nárůst rozteče je spojen s potřebou snížení výsevu o 25 – 35 % vůči doporučenému množství. Při rozteči řádků 250 mm a více lze i u secích strojů pro výsev do úzkých řádků provést osazení secího stroje systémem pro aplikaci kapalných látek k osivu, který je dominantně využíván pro inokulaci osiva přímo při setí. Ověřeny jsou i technologie s roztečí řádků v rozmezí 375 až 500 mm, kde výsev probíhá secími stroji pro přesné setí. I zde lze souběžně při setí provést aplikaci inokulantu k místě setového lože souběžně při setí. Využití systémů přesného setí zásadním způsobem přispívá k optimalizaci rozmístění rostlin v řádku a ke zvýšení vzcházivosti v důsledku kvalitního uložení osiva do setového lože. U roztečí nad 250 mm lze kalkulovat i s možností meziřádkové kultivace porostů během vegetace, včetně spojení se systémy meziřádkové či řádkové aplikace pesticidů, pomocných látek a bioagens. Mezi hlavní důvody vedoucí k výsevu hrachů do řádků s roztečí 250 až 500 mm lze považovat (Brant a kol. 2021a):

- snížení počtu jedinců v kombinaci s jejich pravidelnějším rozmístěním omezuje vnitrodruhovou konkurenci a zvyšuje zdrojový potenciál stanoviště z hlediska dostupnosti zdrojů (voda, živiny, sluneční záření a prostor), významnější je tento efekt při výsevu pomocí přesných secích strojů,
- nižší počet jedinců na jednotku plochy je primárním faktorem omezujícím rizika vodního stresu,
- rozšíření prostoru pro růst rostlin omezením počtu jedinců na jednotku plochy zajišťuje možnost vyšší plasticity vývoje kořenového systému a nadzemní části rostliny a tím i využití kompenzačního potenciálu dané odrůdy, včetně přirozené adaptability na stresové faktory,
- širší prostor mezi řádky umožňuje využití systémů meziřádkové kultivace půdy během vegetace, ale také použití pásových aplikací přípravků na ochranu rostlin (ekonomické a ekologické dopady),
- využití strojů pro přesné setí je spojeno s již uvedenou optimalizací rozmístění rostlin, ale také s možností cílených aplikací kapalných a pevných látek při setí (inokulanty, půdní bakterie, pomocné látky, hnojiva a stimulatory), včetně pásové aplikace herbicidu na řádek rostlin při setí,
- snížení výsevu přináší samozřejmě pokles ekonomických nákladů na osivo, ale zvyšuje kvalitativní požadavky na parametry osiva (především klíčivost),
- zajímavou, ne však zcela jednoznačně objasněnou, otázkou je vliv širších řádků na mikroklima porostů, zejména z hlediska omezení výskytu chorob a škůdců,
- předpokladem technologie je rovněž práce s habitem rostlin dané odrůdy při výsevu do širších řádků, který se projevuje nižší délkou lodyh, četnější tvorbou plodných větví a většinou i vyšším nasazením lusků,

- opomenout nelze ani omezení dlouhivého růstu rostlin, čímž může rostlina „ušetřené“ asimiláty investovat i do produkce generativních orgánů,
- dosavadní praktické zkušenosti nepotvrzují předpoklady, že při využití širších řádků hrozí vyšší riziko polehnutí porostů vůči porostům založeným do řádků s roztečí pod 250 mm,
- zvýšení rozteče řádků může být spojeno s vyšším rizikem sekundárního zaplevelení porostů, zejména při vlhkém průběhu druhé poloviny vegetace, ale obdobná rizika lze očekávat i u nevyrovnaných porostů založených do užších řádků.

Výsev do řádků s roztečí 375 mm

V roce 2020 proběhly polní pokusy s roztečí řádků 375 mm na lokalitě Dolní Lukavice (Západní Čechy). Cílem experimentů bylo ověření pěstování hrachu v širších řádcích a s nižším počtem jedinců na plochu. Kontrolní variantu představoval porost založený do řádků s roztečí 125 mm. Pokusné plochy byly založeny 27.3.2020. Porosty s roztečí řádků 125 mm byly vysety secím strojem Väderstad Rapid (výsevek 1,1 MKS/ha) a porosty s roztečí 37,5 cm secím strojem Väderstad Tempo (rozteč výsevních sekí 750 mm – dvojí setí ob řádek, modelový výsev), výsevek 0,88 MKS/ha. Velikost pokusných ploch přesahovala výměru 5 ha. Základním zpracováním byla orba a na jaře byla provedena celoplošná předsetová příprava půdy. Pro testování byla použita jarní forma hrachu setého (odrůda Eso, úponkový typ).

Počáteční vývoj porostů

Při agrobiologické kontrole porostů 27. 4. 2020 činil počet rostlin na úzkých řádcích 99 rostlin/m² a u širších řádků 72 rostlin/m² (obrázek 64). U úzkých řádků byl vyšší výskyt „dvojáků a trojáků“. Obecně platí, že shluky rostlin vedou ke zvýšené konkurenci mezi rostlinami, která se projeví omezením všech konkurenčních rostlin, nebo se jedna rostlina dostane do pozice dominantního jedince. Variabilitu rozmístění rostlin na hodnocených variantách lze specifikovat na základě variačního koeficientu pro počet rostlin na jednotku plochy.

U úzkých řádků činila tato hodnota 33 %, u širších řádků založených strojem pro přesné setí jen 9 %. Variační koeficient udává míru variability mezi počtem rostlin na hodnocených bodech. V termínu hodnocení nebyl mezi rostlinami zaznamenán rozdíl ve vývoji (obrázek 65), na kořenech byly přítomny růžové hlízky bakterií.

Při hodnocení stavu porostů 10.5.2020 bylo patrné již zapojení řádků porostů. Rostliny vyseté do širších řádků byly intenzivně propojeny úponky v rámci řádku (obrázek 66). Tato skutečnost přispívá ke zvýšení stability vývoje porostu na začátku vegetace a snižuje riziko polehnutí.

Období hlavního růstu

Monitoring porostů 25.5.2020 prokázal, že v tomto termínu již došlo k propojení rostlin v rámci meziřádků i na plochách s výsevem do řádků 375 mm. Úponky se v porostech vysetých do širších řádků spojovaly v nižších patrech porostu meziřádku (obrázek 67). Porost byl v tomto termínu kompaktní – k propojení rostlin úponky došlo nejen v řádku, ale i v meziřádku.

Dne 22. 6. 2020 rostliny vyseté do širších řádků plně zapojily porost (obrázek 68) a hodnocené porosty opticky nevykazovaly rozdíl mezi širokými a užšími řádky. Podrobnější hodnocení rostlin poukázalo na skutečnost, že na plochách s širšími řádky bylo na rostlinách o 1 až 2 lusky více. Na užších řádcích byly lusky nasazeny výše na lodyze než u řádků širších (odhadově o 100 – 150 mm).

Dostatek srážek v dosavadním průběhu vegetace přispěl k intenzivnímu prodlužovacímu růstu. Na obou variantách činila délka rostlin 1,4 – 1,5 m (20.7.2020). Rostliny na obou variantách polehly, ale horní části lodyh s lusky zůstaly zvednuté kolmo k povrchu půdy. K polehnutí přispěla nejen daná délka rostlin, ale s velkou pravděpodobností i napadení rostlin na bázi lodyh houbovými chorobami (antraknóza). K napadení došlo v pozdější fázi vývoje rostlin v důsledku deštivého počasí. Na horních listech a na luscích nebylo napadení patrné.

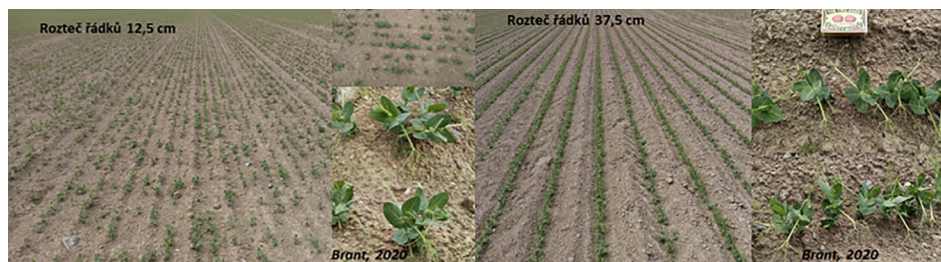
Sklizeň porostů

Sklizeň pokusných ploch proběhla 1.8.2020. Při sklizni vykazovaly oba porosty shodnou míru polehnutí. Obdobný byl na základě optického prohlédnutí rostlin i zdravotní stav (obrázek 69). Díky provedené fungicidní ochraně se podařilo do sklizně udržet zdravou horní polovinu rostlin. Z důvodu všeobecného polehnutí obou hodnocených porostů byla pro sklizeň využita sklízecí mlátička osazená tzv. plovoucí lištou.

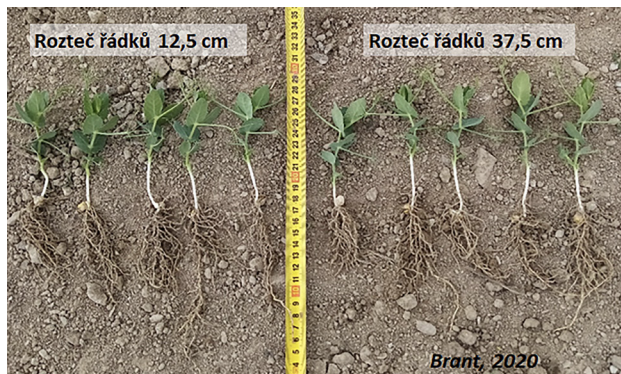
Výnos zrna na hodnocených variantách dokládá tabulka 6. Na variantě s úzkými řádky byl výnos o 0,02 t/ha vyšší. Vyšší hmotnost tisíce semen byla naopak prokázána u širších řádků. Rozdíly mezi hodnocenými průměry HTS byly statisticky průkazné.

Tabulka 6: Výnosy semen a HTS na hodnocených plochách (sklizeň proběhla 1.8.2020). *HTS na plochách s širšími řádky byla ve srovnání s úzkými řádky statisticky průkazně vyšší (ANOVA, spolehlivost 95 %).

varianta	výsevek (MKS/ha)	výnos zrna při 10 % vlhkosti	HTS
rozteč řádků 12,5 cm	1,1 MKS/ha	4,32 t/ha	216 g
rozteč řádků 37,5 cm	0,88 MKS/ha	4,30 t/ha	221 g*



Obrázek 64: Stav porostů při agrobiologické kontrole 27.4.2020 (foto Brant).



Obrázek 65: Na počátku vegetace nevykazovaly rostliny zásadní rozdíly ve vývoji ve vztahu k založeným variantám – 27.4.2020 (foto Brant).



Obrázek 66: Intenzivní spojení rostlin úponky v rámci řádku při výsevu do širších řádků je základem stability porostu vůči polehnutí a zároveň umožňuje mezirádkovou kultivaci (foto Brant).



Obrázek 67: Propojení rostlin v meziřádku v porostech s roztečí řádků 37,5 cm v termínu hodnocení 25.5.2020 (foto Brant).



Obrázek 68: 22.6.2020 se rostliny na plochách s roztečí řádků 37,5 cm nacházely ve fázi kvetení a porost byl plně zapojen (foto Brant).



Obrázek 69: Stav porostů v termínu sklizně 1.8.2020, vlevo rozteč řádků 37,5 cm a vpravo rozteč 12,5 cm (foto Brant).

Výsev hrachu setého do řádků 450 mm s aplikací bakterií nebo hub při setí

Založení pokusných ploch proběhlo 1. 4. 2021 na lokalitě Dolní Lukavice (Západní Čechy). V rámci experimentů byla ověřována možnost aplikace kapalné látky k řádku osiva hrachu polního odrůdy Eso. Jícha byla aplikována z čelně nesené nádrže a vývody aplikátorů byly svedeny k vyústění přihnojovacích disků. Kapalina tak byla uložena 50 mm od výsevní rýhy a do hloubky 60 až 80 mm (obrázek 70). Výše výsevku činila 0,64 MKS na ha. Při dané rozteči řádků a počtu jedinců na plochu již docházelo k méně pravidelnému rozmístění semen v řádcích, kdy teoretická vzdálenost činila 34 mm. I z tohoto důvodu nelze navýšení počtu vysévaných semen považovat za adekvátní.



Obrázek 70: Výsev hrachu polního do širokých řádků secím strojem pro přesné setí se souběžnou aplikací kapalných látek k osivu. Jícha byla aplikována z čelně nesené nádrže a vývody aplikátorů byly svedeny k vyústění přihnojovacích disků (foto Brant).

Jako bioagens pro souběžnou aplikaci při setí byly použity následující o použito následné bioagens:

1. *Rhizobium leguminosarum* 1 l/ha (symbiotické bakterie pro fixaci vzdušného dusíku), *Bacillus megaterium* 1 l/ha (zpřístupnění fosforu pro rostliny), humát 0,4 l/ha (podpora rozvoje bakterií a vývoje klíčenců) a Hessi enzyme 0,6 l/ha (hydroponické hnojivo pro start rostlin).
2. *Rhizobium leguminosarum* 0,5l/ha (symbiotické bakterie pro fixaci vzdušného dusíku), *Bacillus megaterium* 0,5 l/ha (zpřístupnění fosforu pro rostliny), humát 0,4 l/ha (podpora rozvoje bakterií a vývoje klíčenců) a Hessi enzyme 0,6 l/ha (hydroponické hnojivo pro start rostlin).
3. *Trichoderma asperellum* (XILON® GR) v dávce 10 kg/ha.

Výše uvedené látky byly aplikovány v celkové dávce aplikační jíchy 100 l na ha. Rozmístění řádků vycházelo z individuálního rozmístění výsevních sekcí. Sekce byla uspořádány tak, že za pásy traktoru byla rozteč řádků 600 mm, mezi pásy poté rozteč sekcí 450 mm a po stranách secího stroje 500 mm. Důvodem pro rozmístění sekcí nebyla pouze eliminace výsevu hrachu do stop po pásech, ale také využití širších roztečí pro jízdu postřikovače. Širší řádky v místě kolejových stop by rovněž mohly zajistit menší poškození porostu při plečkování.

Chladnější počasí po výsevu zpomalilo vývoj rostlin, 12.5.2021 však byly porosty dobře vzešlé, rostliny v řádcích se začaly propojovat úponky a na variantách s aplikací *Rhizobium leguminosarum* se kořeny vyznačovaly velmi dobrou přítomností hlízek (obrázek 71). Rozdíly ve velikosti rostlin na hodnocených variantách nebyly patrné. 28.5.2021 proběhlo hodnocení produkce suché nadzemní biomasy rostliny a porostu (tabulka 7). Nejvyšší hmotnost rostliny a nejvyšší produkce suché nadzemní biomasy porostu byla stanovena na variantě s aplikací 1 l přípravku obsahujícího bakterii *Rhizobium leguminosarum* a *Bacillus megaterium*, stanovené průměrné hodnoty byly ve srovnání s ostatními variantami statisticky průkazně vyšší.



Obrázek 71: 42. den po výsevu byly porosty dobře vzešlé (vlevo), rostliny v řádcích se začaly propojovat úponky (uprostřed) a na variantách s aplikací *Rhizobium leguminosarum* se kořeny vyznačovaly velmi dobrou přítomností hlízek (vpravo) (foto Brant).

Tabulka 7: Vliv aplikace rozdílných kapalných látek při výsevu k řádku osiva na vývoj rostlin hrachu setého do širokých řádků na lokalitě Dolní Lukavice. Výsev byl proveden 1.4.2021. Odrůda Eso, výsevek činil 0,65 MKS/ha. Termín hodnocení 28.5.2021. Odlišné indexy v rámci sloupce dokládají statisticky průkazné rozdíly mezi průměry na hladině významnosti 95 % (ANOVA, Tukey).

varianty	počet rostlin na ha (kusy)	průměrná suchá nadzemní biomasa porostu (t/ha)	průměrná suchá hmotnost rostliny (g)
Rhizobium leguminosarum 1 l/ha (symbiotické bakterie pro příjem N), Bacillus megaterium 1 l/ha (zpřístupnění P), humát 0,4 l/ha (podpora rozvoje bakterií a vývoje klíčenců) a Hessi enzyme 0,6 l/ha (hydroponické hnojivo pro start rostlin)	640000	0,473 b	0,574 a
Rhizobium leguminosarum 0,5 l/ha (symbiotické bakterie pro příjem N), Bacillus megaterium 0,5 l/ha (zpřístupnění P), humát 0,4 l/ha (podpora rozvoje bakterií a vývoje klíčenců) a Hessi enzyme 0,6 l/ha (hydroponické hnojivo pro start rostlin)	600000	0,345 a	0,739 b
Trichoderma asperellum (XILON® GR) v dávce 10 kg/ha	608000	0,316 a	0,520 a

Ke konci června došlo k propojení rostlin na všech hodnocených variantách ve dvouřádcích (obrázek 72). Sklizeň byla provedena pomocí průseků sklízecí mlátičkou 14.8.2021. Při sklizni již docházelo k výraznějšímu výskytu plevelů, které reagovaly na předchozí srážky a nezakrytí meziřádků porostem. Nejvyšší výnos semen byl stanoven u varianty s nejvyšší dávkou *Rhizobium leguminosarum* a *Bacillus megaterium*, poté u varianty s poloviční dávkou daných bakterií a nejnižší na plochách s aplikací přípravku XILON® GR (tabulka 8). Výnos na úrovni 3,1 t semen na ha při aplikaci rozdílných dávek *Rhizobium leguminosarum* a *Bacillus megaterium* lze z hlediska praktického využití technologie považovat a ve vztahu k ekonomice považovat za pozitivní.



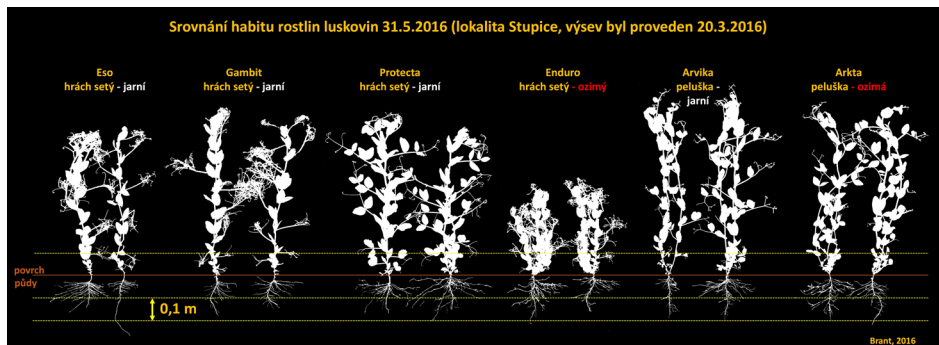
Obrázek 72: Na konci června došlo k propojení rostlin na všech hodnocených variantách ve dvouřádcích (vlevo) a rostliny vykazovaly dobré nasazení lusků (vpravo) (foto Brant).

Tabulka 8: Vliv aplikace rozdílných kapalných látek při výsevu k řádku osiva na výnos semen hrachu polního do širokých řádků na lokalitě Dolní Lukavice. Výsev byl proveden 1.4.2021. Odrůda Eso. Sklizeň proběhla 14.8.2021.

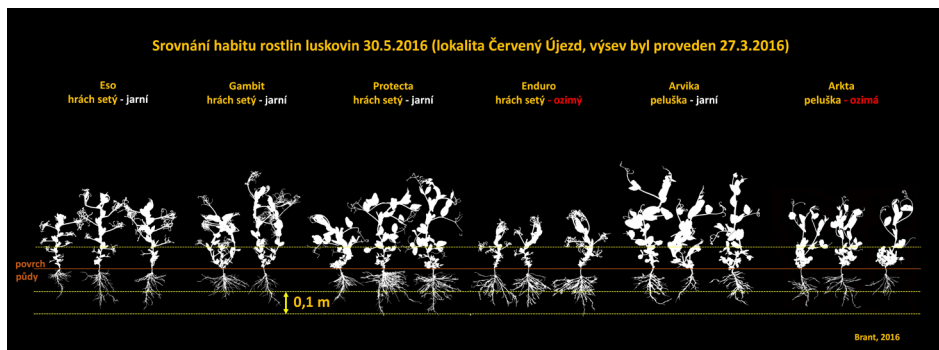
varianty	výnos semen při 12% vlhkosti (t/ha)
Rhizobium leguminosarum 1 l/ha (symbiotické bakterie pro příjem N), Bacillus megaterium 1 l/ha (zpřístupnění P), humát 0,4 l/ha (podpora rozvoje bakterií a vývoje klíčenců) a Hessi enzyme 0,6 l/ha (hydroponické hnojivo pro start rostlin)	3,096
Rhizobium leguminosarum 0,5 l/ha (symbiotické bakterie pro příjem N), Bacillus megaterium 0,5 l/ha (zpřístupnění P), humát 0,4 l/ha (podpora rozvoje bakterií a vývoje klíčenců) a Hessi enzyme 0,6 l/ha (hydroponické hnojivo pro start rostlin)	3,079
Trichoderma asperellum (XILON® GR) v dávce 10 kg/ha	2,569

Vnitrodruhová variabilita rostlin

Vývoj porostů je samozřejmě ovlivněn strukturou prostu, půdními podmínkami, průběhem počasí na dané lokalitě apod., ale zásadní vliv na habitus rostlin má odrůda (obrázek 73 a 74). Obecně se nižším vzrůstem vyznačují ozimé formy hrachu polního. Vzrůstným habitem se samozřejmě vyznačují ozimé i jarní formy hrachu rolního. Menší vzrůst vykazují na začátku vegetace ozimé formy hrachu setého i rolního ve srovnání s formami letními.



Obrázek 73: Habitus rostlin (31.5.2016) vybraných odrůd hrachu polního a rolního doplněný o rostliny vikve panonské na lokalitě Stupice v roce 2016 (Brant a kol., 2017d).



Obrázek 74: Habitus rostlin (30.5.2016) vybraných odrůd hrachu polního a rolního doplněný o rostliny vikve panonské na lokalitě Červený Újezd v roce 2016 (Brant a kol., 2017d).

Hrachy jako pomocná plodina

Pomocné plodiny jsou obecně vnímány jako rostliny, které napomáhají dosažení pěstebních a ekologických cílů při pěstování hlavní plodiny a mohou být využity i jako producenti hlavního produktu. Ověřovány jsou technologie použití pomocných plodin v kukuřici seté a dalších širokořádkových plodinách za účelem zvýšení dostupnosti živin (např. Paul, 2016 a Böhm a kol., 2017), ale i v porostech ozimé řepky pěstovaných v širších řádcích (Brant a kol. 2019a). Dále se jedná o systémy vyživající pomocné plodiny za účelem eliminace eroze půdy a evaporace (např. Brant a kol. 2017g; Klingenhagen 2019; Brant a kol. 2019a) a v úzkořádkových plodi-

nách, jako jsou obilniny, mák a ozimá řepka (Seidel a Gläser 2017; Brant a kol. 2018a; Brant a kol. 2019b). Na využití pomocných plodin jako zdroje živin a zlepšení jejich dostupnosti pro hlavní plodiny poukazují např. Seidel a Gläser (2017) či Brant a kol. (2018b).

Opomenout nelze využití pomocných plodin z hlediska omezení škodlivých činitelů. (např. Finch a Kienegger 1997; Theunissen a kol. 1995). Významnější roli hraje využití pomocných plodin při regulaci půdních patogenů (Farooq a kol. 2013). Založení porostů ozimé řepky se souběžným výsevem pomocných vymrzajících plodin (bob obecný, čočka jedlá, hrachor setý a jetel nachový) vedlo ke snížení rozvoje plevelů (Cadoux a kol. 2015). Podle Branta a kol. (2018c) snižoval plošný přísев hořčice bílé při zakládání porostů ozimých forem hrachů na podzim rozvoj plevelů v jarním období.

Hrách polní a rolní jako pomocná plodina

Velmi často jsou jako pomocné plodiny využíváni zástupci z čeledi bobovitých, především rody hrách, vikev, bob, ale i sója, lupina a cizrna. Druhy z čeledi bobovitých se vyznačují ve srovnání s ostatními plodinami větší velikostí osiva, což zvyšuje nároky na velikost zásobníků osiva u secích strojů a na hloubku setí (Brant a kol. 2019a). Mezi často preferované druhy jsou jako pomocné plodiny využívány hrách setý a rolní a bob obecný (Brant a kol. 2018b; Epperlein a kol. 2018). V rámci druhů a jejich forem lze počítat s výraznými rozdíly v habitu rostlin a dynamice růstu.

Zásadní rozdíl v dynamice růstu na počátku vegetace vykazují ozimé a jarní formy hrachu setého a rolního. Ozimé formy se na začátku vegetace vyznačují pomalejší tvorbou nadzemní biomasy (Brant a kol. 2017h) a to jak při podzimních, tak jarních výsevech. Jarní výsevy ozimých forem lze úspěšně provádět nejen při využití jako pomocné plodiny, ale také pro produkci osiva, kdy výnosová úroveň zůstává zachována, ale dochází k poklesu velikosti semen.

Zvýšení pestrosti osevních sledů

Omezený zájem o pěstování luskovin, a tedy i hrachů, v zemědělské praxi je primárně spojen se ztrátou jejich předplodinové hodnoty. Ta se projevuje vstupem dobře rozložitelné organické hmoty z kořenových systémů a nesklizená část nadzemní biomasy do půdy, dále zvýšením obsahu dusíku v půdě pro následnou plodinu v důsledku symbiotického vztahu mezi rostlinami a bakteriemi fixujícími vzdušný dusík, včetně snížení normativu hnojení, ale také významnou funkcí přerušovače obilných sledů při vysoké koncentraci obilnin v osevním postupu. Opomenout nelze zásadní vliv na půdní edafon, především pro pestrost společenstev půdních organismů.

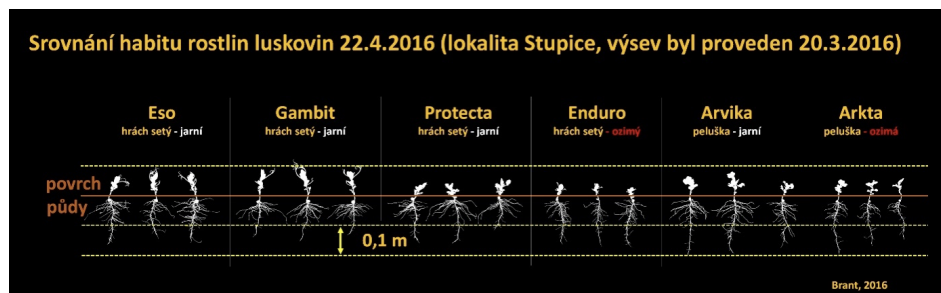
Zpracování půdy po pěstování hrachu je pozitivně ovlivněno dobou strukturou půdy, kvalitně zpracovatelnými rostlinnými zbytky a umožňuje využití rozdílných systémů redukovaného zpracování. To vše platí za předpokladu, že během vegetace nedošlo k zaplevelení porostů (primárnímu i sekundárnímu), které by kvalitu půdy komplikovalo, či vyvolávalo potřebu hlubokého a intenzivního kypření či obracení půdy. Předplodinovou hodnotu z hlediska zpracování půdy negativně ovlivní i nevhodně provedená sklizeň, tedy vznik hlubokých kolejových stopo po sklízecí mlátičce, po odvozových prostředcích apod.

Celkový pokles ploch luskovin (určitou výjimku může představovat sója luštinatá) v pozici hlavní plodiny, lze kompenzovat přítomností pomocných plodin, které tak mohou jejich

absenci na půdě nahradit (Brant a kol. 2019a). Jejich přítomnost v porostech jiných polních plodin a zelenin v roli pomocné plodiny tak přináší zásadní benefit z hlediska eliminace všeobecné a pravé únavy půdy.

Dynamika růstu a role pomocné plodiny

Dynamika růstu je primárně závislá od rychlosti klíčení semen a vzcházení klíčenců. V době vzcházení se rostliny vyznačují rychlou tvorbou kořenového systému, který dobře prokořeňuje půdu. Význam dynamiky růstu na počátku vývoje mladých rostlin je zásadní primárně ve vztahu k půdním vlastnostem, kdy se mladé rostliny mohou způsobem podílet na prokypření horní vrstvy půdy a zajištěním podpory infiltrace srážkové vody kolem kořenového systému od růstové fáze BBCH 11. Přibližně jeden měsíc od výsevu jsou vzešlé rostliny schopny prokořeňovat půdy do hloubky 0,1 až 0,2 m. V rámci odrůd jsou samozřejmě přítomné rozdíly v dynamice vývoje rostlin po vzejití (obrázek 75), kdy pomalejší dynamiku růstu vykazují ozimé formy hrachů setého a rolního. Rostliny hrachu setého a rolního se po vzejití vyznačují úzkým poměrem nadzemní a podzemní biomasy, který průměrně činí 2,15 (tabulka 9, Brant a kol. 2017e). S nárůstem listové plochy vzešlých rostlin dochází ke snížení rizika kapkové eroze a následně dalších erozních procesů, ale také k omezení půdního škraloupu v důsledku peptizačních procesů v půdě.



Obrázek 75: Habitus rostlin (22.4.2016) hodnocených druhů doplněný o rostliny vikve panonské (Dětenická) na lokalitě Stupice (Brant a kol. 2017e).

Po přechodu rostlin do prodlužovacího růstu (BBCH 30) jsou dynamika růstu a habitus rostlin výrazně ovlivněny podmínkami v hlavní plodině. Na růst hrachů má vliv jejich rozmístění v prostu, kdy mohou být vysévány do prostoru meziřádku nebo přímo do řádku hlavní plodiny. U porostů s užší roztečí řádků dochází k výraznější podpoře prodlužovacího růstu v důsledku nedostatku světla, ale obdobný efekt je patrný i při společném výsevu hlavní plodiny (primárně obilniny) a hrachu do společného řádku (obrázek 76). Tabulka 7 dokládá kvantifikaci produkce nadzemní a podzemní biomasy hrachu rolního (ozimá forma) ve vztahu k rozdílné struktuře porostu ozimé pšenice na jaře, před aplikací selektivního herbicidu.

Při pěstování hrachů v širších řádcích, například při výsevu do meziřádků ozimé řepky vyseté s roztečí 0,45 – 0,5 m nebo v systémech setí do dvouřádků ve schématu 0,25 – 0,5 – 0,25 m je habitus ovlivněn nejen hlavní plodinou, ale i skutečností, zda se jedná o monokulturní využití hrachů jako pomocné plodiny, či zda je součástí vícekomponentní směsi.

Na obrázku 77 je stav porostů ozimé řepky vyseté systémem dvouřádků (0,25 – 0,5 – 0,25 m), kdy v meziřadí dvouřádků ozimé řepky byly vysety tři řádky (rozteč 125 mm) hrachu rolního (ozimá forma). Z fotografie (obrázek 77) je dobře patrný efekt hrachu, který intenzivněji využil pro růst méně zapojené části porostu, na zónách s intenzivnějším růstem rostlin řepky je řepkou intenzivněji korigován.

Tabulka 9: Průměrná hmotnost suché nadzemní a podzemní biomasy rostliny (g) poměr mezi nadzemní a podzemní biomasou rostliny (nadzemní/podzemní) stanovené 22.4.2016 (Stupice) a 27.4.2016 (Červený Újezd). Rozdílné indexy mezi průměry dokumentují statisticky průkazné rozdíly mezi průměry v rámci sloupců (ANOVA, $\alpha = 0,05$, Tukey) Brant a kol. (2017e).

odrůda	Stupice			Červený Újezd		
	průměrná hmotnost kořene (g)	průměrná hmotnost nadzemní biomasy rostliny (g)	poměr nadzemní a podzemní biomasy (nadzemní/podzemní)	průměrná hmotnost kořene (g)	průměrná hmotnost nadzemní biomasy rostliny (g)	poměr nadzemní a podzemní biomasy (nadzemní/podzemní)
Eso	0,043 ab	0,110 bcd	2,64 a	0,048 c	0,088 bc	1,86 ab
Gambit	0,056 b	0,135 d	2,85 a	0,036 ab	0,059 ab	1,68 ab
Protecta	0,052 ab	0,121 cd	2,34 a	0,063 d	0,117 c	1,91 ab
Arvika	0,043 ab	0,095 abc	2,26 a	0,060 bc	0,076 c	1,28 a
Arkta	0,028 a	0,078 ab	2,79 a	0,020 a	0,034 a	1,80 ab
Enduro	0,040 ab	0,073 a	2,00 a	0,036 bc	0,080 ab	2,39 b

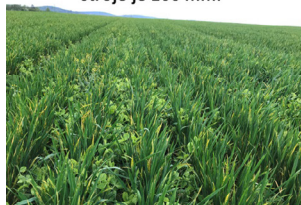
Po přechodu rostlin do prodlužovacího růstu (BBCH 30) jsou dynamika růstu a habitus rostlin výrazně ovlivněny podmínkami v hlavní plodině. Na růst hrachů má vliv jejich rozmístění v prostu, kdy mohou být vysévány do prostoru meziřádku nebo přímo do řádku hlavní plodiny. U porostů s užší roztečí řádků dochází k výraznější podpoře prodlužovacího růstu v důsledku nedostatku světla, ale obdobný efekt je patrný i při společném výsevu hlavní plodiny (primárně obilniny) a hrachu do společného řádku (obrázek 76). Tabulka 10 dokládá kvantifikaci produkce nadzemní a podzemní biomasy hrachu rolního (ozimá forma) ve vztahu k rozdílné struktuře porostu ozimé pšenice na jaře, před aplikací selektivního herbicidu.

Při pěstování hrachů v širších řádcích, například při výsevu do meziřádků ozimé řepky vyseté s roztečí 0,45 – 0,5 m nebo v systémech setí do dvouřádků ve schématu 0,25 – 0,5 – 0,25 m je habitus ovlivněn nejen hlavní plodinou, ale i skutečností, zda se jedná o monokulturní využití hrachů jako pomocné plodiny, či zda je součástí vícekomponentní směsi. Na obrázku 77 je stav porostů ozimé řepky vyseté systémem dvouřádků (0,25 – 0,5 – 0,25 m), kdy v meziřadí dvouřádků ozimé řepky byly vysety tři řádky (rozteč 125 mm) hrachu rolního (ozimá forma). Z fotografie (obrázek 77) je dobře patrný efekt hrachu, který intenzivněji využil pro růst méně zapojené části porostu, na zónách s intenzivnějším růstem rostlin řepky je řepkou intenzivněji korigován.

Habitus rostlin hrachu rolního jako pomocné plodiny v závislosti na způsobu založení porostu ozimé pšenice

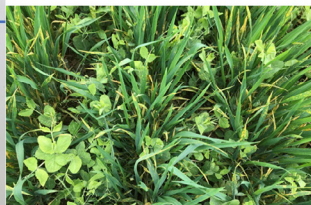
výsev hrachu do samostatného řádku mezi řádky pšenice

výsevek pšenice ozimé (Elementary, 2 MKZ/ha) 90 kg/ha, rozteč řádků pšenice 332 mm, do meziřádku vysetý ozimý hrách rolní (Arkta, 60 kg/ha). Meziřádková vzdálenost u secího stroje je 166 mm.



výsev hrachu do společného řádku s pšenicí

výsevek pšenice ozimé (Elementary, 2,5 MKZ/ha) 110 kg/ha společně s ozimým hrachem rolním (Arkta, 48 kg/ha) do řádku, rozteč řádků pšenice s peluškou 166 mm.



Brant a Kasl, 2023

Obrázek 76: Habitus rostlin ozimé formy hrachu rolního jako pomocné plodiny v závislosti na způsobu založení porostu ozimé pšenice.



Obrázek 77: Stav porostů ozimé řepky založené systémem dvouřádků (0,25 – 0,5 – 0,25 m) se souběžným výsevem ozimé pelušky (Arkta) dne 30.10.2021. Arkta se ve srovnání s jarními formami vyznačuje pomalejší dynamikou růstu, čímž méně konkuruje řepce (foto Brant).

Tabulka 7: Stav porostů pšenice ozimé s výsevem hrachu rolního (ozimá forma) do meziřádku a do společného řádku na lokalitě Dolní Lukavice dne 23.3.2023. Výsev byl proveden 17.10.2022. Použita byla odrůda pšenice Elementary a odrůda ozimého hrachu rolního Arkt. V tabulce je specifikován vliv rozteče řádků a výše výsevků na počet rostlin na jednotku plochy, průměrný výnos suché nadzemní biomasy hrachu rolního a průměrný výnos suché podzemní biomasy v termínu hodnocení (24.3.2023). Odlišné indexy v rámci sloupců dokládají statisticky průkazné rozdíly mezi průměry na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey).

varianta	pšenice ozimá		hrách rolní	rozteč řádků pšenice ozimé (m)	rozteč řádků hrachu rolního (m)	počet rostlin hrachu rolního (kusy/ha)	výnos nadzemní suché biomasy hrachu rolního (t/ha)	výnos podzemní suché biomasy hrachu rolního (t/ha)	poměr nadzemní a podzemní suché biomasy u hrachu rolního
	výsevek MKZ (ha)	výsevek (kg/ha)							
pšenice ozimá + ozimý hrách rolní (samostatný výsev druhů ob řádek)	2	90	60	0,332	0,332	512048 a	0,693 b	0,084 b	8,3 a
pšenice ozimá + ozimý hrách rolní (výsev druhu společně do řádku)	2,5	108	48	0,166	0,166	421687 a	0,468 a	0,050 a	9,9 a

Kvalitativní parametry nadzemní a podzemní biomasy

Z hlediska kvantifikace přínosů pomocných plodin, ale i mezipločin, je nutné pracovat s kvalitativními parametry rostlin. Dominantně se jedná o chemické složení rostlin, které se výrazně omezuje na obsah živin, makro a mikroprvků. Znalost obsahu živin v biomase má poskytnout informace na rozdílné úrovni pěstebních systémů s využitím pomocných plodin a mezipločin. Jedním z pohledů je stanovení biologické sorpce rostlinami, což je spojeno s kvantifikací jejich ztrát z profilu na úrovni hloubky prokořenění rostlinami, jejich vazby do organických vazeb a ve vztahu k potenciálnímu využití živin obsažených ve vytvořené nadzemní a podzemní biomase půdním edafonem a hlavní, či následnou plodinou pěstovanou pro tržní využití. U zástupců druhů z čeledi bobovitých, se samozřejmě jedná o kvantifikaci obsahu dusíku, který jsou rostliny pomocí symbiotických rhizogenních bakterií fixovat ze vzduchu. Zajímavou otázkou je i změna obsahu živin během vývoje rostliny, a to na úrovni jednotlivých rostlinných orgánů. Tabulka 11 dokládá obsah vybraných živin v podzemní a nadzemní biomase hrachu rolního pěstovaného jako pomocná plodina v porostech ozimé pšenice před herbicidním umrtvením na jaře. Srovnání obsahu živin v nadzemní a podzemní biomase vybraných rostlinných druhů využitelných jako pomocné rostliny, ale i mezipločiny, dokumentují tabulky 12 a 13.

V rámci koloběhu uhlíku v pěstebních systémech nelze opomenout ani obsah uhlíku na nadzemní a podzemní biomase pomocných plodin (tabulka 14).

Z hlediska přímého a nepřímého působení pomocných plodin se však jedná o znalost informací o vlivu kořenových exsudátů během růstu a meziproductů rozkladu vytvořené biomasy na mikrobiální společenstva, o jejich alelopatické přímé a následné působení na hlavní plodiny a na plevelná společenstva (např. Halkier a Gershenzon 2006; Weston a kol. 2013 a Jabran a kol. 2015). Tyto informace jsou u kulturních zástupců rodu hrách spíše omezené.

Tabulka 11: Obsahy vybraných prvků (%) v nadzemní a podzemní biomase hrachu rolního (ozimá forma, odrůda Arkta) využitého jako pomocné plodiny v porostech ozimé pšenice (termín odběru biomasy: 12.3.2019) - lokalita Nabočany (Brant a Šmöger, 2019).

biomasa/ prvek	K	Ca	P	N	S	B	Mo
nadzemní	2,20	1,16	0,53	3,83	0,31	20,26	1,27
podzemní	3,10	0,70	0,70	3,31	0,87	17,05	2,43

Tabulka 12: Obsahy vybraných prvků (% ,mg/kg) v nadzemní biomase u plodin využitelných jako pomocné plodiny a meziplodiny, jednoděložné druhy se v termínu odběru nacházely ve fázi BBCH 37 – 43, dvouděložné druhy max. do BBCH 59. Lokalita Praha Suchdol.

rostlinný druh	odrůda	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Se (mg/kg)
bob obecný	Merkur	5,12	0,50	5,05	1,70	0,28	0,30	22,2	415,0	70,9	61,8	10,5	3,2	0,1
hořčice bílá	Andromeda	5,07	0,51	5,31	2,91	0,20	1,06	32,1	262,7	48,2	49,2	8,4	2,1	0,2
hrách rolní - jarní forma	Arvika	4,88	0,50	4,25	2,40	0,27	0,32	16,6	307,1	42,8	50,0	10,1	5,7	0,1
hrách rolní - ozimá forma	Arkta	4,90	0,54	4,02	2,44	0,26	0,43	20,2	279,6	55,2	56,4	11,4	4,1	0,2
ječmen jarní	Solist	4,87	0,57	4,86	0,92	0,16	0,45	5,9	704,0	100,0	70,5	10,1	2,0	0,1
lnička setá	Zuzana	5,92	0,72	6,26	3,48	0,26	0,93	29,3	376,9	55,8	48,5	10,3	2,0	0,5
oves nahý	Marco Polo	5,24	0,69	5,32	0,59	0,18	0,48	6,1	481,0	122,8	84,0	15,7	2,7	0,2
	Oliver	3,94	0,61	4,72	0,61	0,15	0,46	5,9	491,2	98,0	58,0	9,7	2,7	0,2
oves setý žlutý	Atego	5,59	0,63	5,78	0,69	0,19	0,51	7,8	430,4	124,7	91,0	14,7	3,2	0,2
svazanka vratičolistá	Protana	5,37	0,62	4,45	6,04	0,27	0,46	28,5	484,0	81,7	39,2	11,7	1,8	0,1
tritcale jarní	Mamut	4,54	0,75	4,95	0,75	0,16	0,51	4,8	588,9	162,1	99,7	16,8	1,8	0,2
žito trsnaté		4,97	0,63	4,44	1,20	0,15	0,35	6,7	342,7	71,9	59,9	12,9	2,6	0,1

Tabulka 13: Obsahy vybraných prvků (% , mg/kg) v podzemní biomase u plodin využitelných jako pomocné plodiny a meziplodiny, jednoděložné druhy se v termínu odběru nacházely ve fázi BBCH 37 – 43, dvouděložné druhy max. do BBCH 59. Lokalita Praha Suchdol.

	odrůda	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)	B (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mo (mg/kg)	Se (mg/kg)
triticales jarní	Mamut	1,82	0,36	3,03	0,44	0,16	0,21	5,5	1419,0	104,8	127,7	60,1	0,8	0,3
bob obecný	Merkur	2,98	0,42	4,10	0,61	0,30	0,48	17,4	2065,0	139,7	58,0	19,4	5,3	0,2
hořčice bílá	Andromeda	2,58	0,46	3,60	0,57	0,12	0,52	15,0	702,0	40,7	43,1	9,1	1,3	0,1
hrách rolní - jarní forma	Arvika	3,10	0,45	3,41	1,23	0,38	0,50	17,0	1112,0	162,1	64,7	27,9	6,0	0,3
hrách rolní - ozimá forma	Arkta	3,16	0,46	3,13	1,16	0,26	0,55	17,1	955,4	136,2	57,4	26,7	3,6	0,2
ječmen jarní	Solist	1,91	0,33	3,06	0,42	0,13	0,24	4,8	1101,0	68,9	82,6	26,0	1,5	0,1
lnička setá	Zuzana	2,56	0,65	4,19	0,60	0,13	0,59	21,6	874,4	40,8	58,7	18,2	1,1	0,1
oves nahý	Marco Polo	2,12	0,35	2,76	0,40	0,16	0,19	5,4	1544,0	85,7	93,3	36,7	0,8	0,2
	Oliver	1,45	0,36	2,81	0,45	0,19	0,17	5,2	1988,0	91,8	63,0	46,5	0,8	0,1
oves setý žlutý	Atego	1,59	0,41	2,95	0,46	0,18	0,21	6,2	1667,0	93,0	67,6	34,5	0,6	0,1
svazanka vratičolistá	Protana	2,80	0,47	4,65	0,86	0,20	0,31	17,6	562,7	64,4	45,5	17,9	3,0	0,1
žito trsnaté		2,38	0,48	3,18	0,68	0,18	0,32	8,5	1831,0	111,7	88,5	45,9	1,8	0,2

Tabulka 14: Obsahy uhlíku (%) v podzemní a v nadzemní biomase u plodin využitelných jako pomocné plodiny a meziplodiny, jednoděložné druhy se v termínu odběru nacházely ve fázi BBCH 37 – 43, dvouděložné druhy max. do BBCH 59. Lokalita Praha Suchdol.

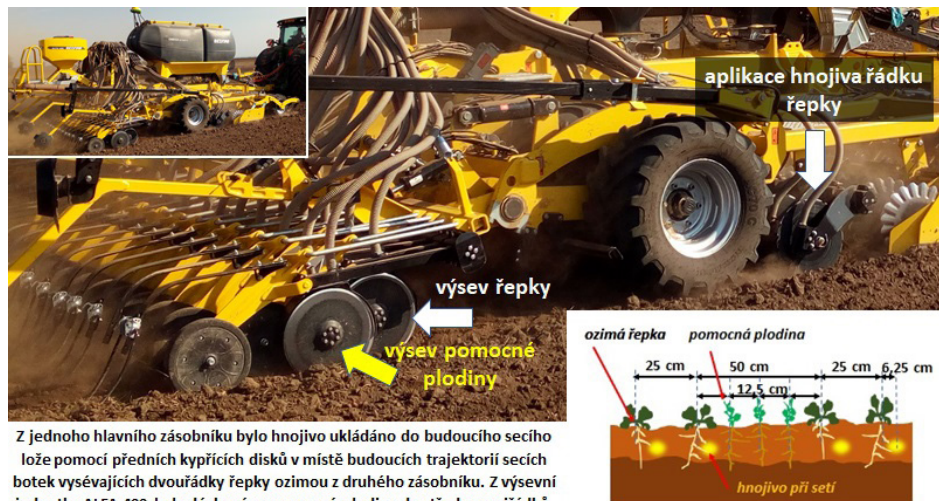
rostlinný druh	odrůda	podzemní biomasa	nadzemní biomasa
bob obecný	Merkur	42,4	42,0
hořčice bílá	Andromeda	44,5	40,4
hrách rolní - jarní forma	Arvika	44,0	42,5
hrách rolní - ozimá forma	Arkta	43,9	42,5
ječmen jarní	Solist	43,8	42,1
lnička setá	Zuzana	44,0	39,0
oves nahý	Marco Polo	40,5	42,4
oves nahý	Oliver	43,5	42,9
oves setý žlutý	Atego	44,7	41,9
svazenka vratičolistá	Protana	43,6	37,4
triticale jarní	Mamut	42,1	41,9
žito trsnaté		41,9	42,7



Obrazek 78: Modifikace secího stroje pro výsev řepky systémem dvouřádku 0,25 – 0,50 m se souběžným výsevem pomocné plodiny a s pásovým postřikem při setí, pásový postřik zajišťuje souběžnou aplikaci hnojiva a herbicidu.

Využití hrachů v porostech ozimé řepky

Využití hrachů jako pomocných plodin se využívá především v systémech výsevů do meziřádků ozimé řepky. Důvodem je habitus rostlin, který je spojen s rizikem polehnutí. Jedná se o možnost výsevu hrachů ob řádek při výsevu řepky do řádků 0,25 až 0,332 m nebo do prostoru meziřádku při výsevu řepky s roztečí 0,45 až 0,5 m. Jednoznačné opodstatnění využití pomocných plodin je i v systémech ozimé řepky zakládané systémem dvouřádků s roztečí rostlin ozimé řepky v dvouřádku 0,25 m a s prostorem mezi dvouřádky 0,5 m (obrázek 79).



Brant, 2019

Obrázek 79: Výsev řepky s pomocnou plodinou a s cílenou aplikací hnojiva k řádku řepky (systém řádků 0,25 – 0,5 – 0,25 m) pomocí secího stroje vybaveného větším počtem zásobníků.

V rámci pěstování ozimé řepky s pomocnou plodinou lze využít i systémy setí luskoviny přímo do řádku ozimé řepky, či k její blízkosti. Pro tyto výsevy jsou primárně využívány luskoviny mající vzpřímené lodyhy, jako jsou bob obecný a případně sója luštinatá. Tyto druhy se vyznačují i silnějším a hlouběji pronikajícím křovítkem, který zajišťuje kvalitní biologické zpracování půdy v místě rozvoje kořenových systémů ozimé řepky a vzpřímený růst snižuje riziko konkurence pomocné a hlavní plodiny v nadzemní části. Oba druhy (bob obecný a sója luštinatá) se rozdíle od ozimých, ale i jarních forem, hrachů vyznačují dobrým vymrznutím při příchodu podzimních mrazů (sója luštinatá) či pozdějších mrazů v únoru či březnu (bob obecný). V těchto systémech jsou pro výsev využívány secí stroje pro setí do nezpracované půdy, kde pomocná plodina vysetá do řádku přispívá k biologickému zpracování půdy nebo secí stroje pro přesné setí, kde je pomocná plodina ukládána při hnojovacími disky k řádku ozimé řepky. Při výsevu secími stroji pro přesné setí s roztečí řádků od 0,45 m je ochrana půdy a eliminace rozvoje plevelů zajišťována dobrou pokrývností prostoru meziřádku mulčem meziplodiny či rostlinnými zbytky předplodiny.

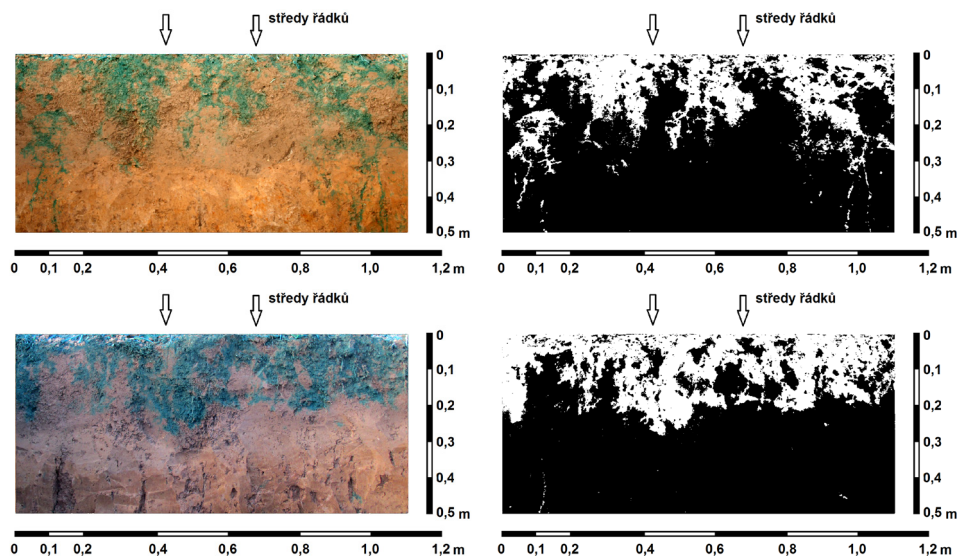
Efekty pomocných plodin v porostech ozimé řepky

Uplatnění hrachů v porostech ozimé řepky se plně shoduje s obecnými zásadami jejich využití v porostech kulturních plodin. Jedním z efektů je omezení degračních procesů půdy v meziřádcích hlavní plodiny. Ty lze z hlediska parametrů půdních vlastností rozlišit na:

- omezení vodní eroze v prostoru meziřádku včetně eliminace kapkové eroze
- omezení rizik větrné eroze v kontextu klimatické změny
- podpora biologického zpracování půdy a zvýšení infiltračních procesů vody a podpora retenční kapacity půdy
- tvorba organické hmoty v prostoru meziřádku v rámci nadzemní vrstvy půdy a v orničním profilu
- zpřístupnění živin včetně fixovaného dusíku luskovinami pomocnou plodinou
- eliminace evaporace mrtvým mulčem pomocné plodiny v meziřádku podpora druhové pestrosti agrofytocenóz a eliminace poškození porostů zvěří
- omezení výskytu plevelů a případné vynechání aplikace herbicidů do prostoru meziřádku

Vliv na půdní vlastnosti

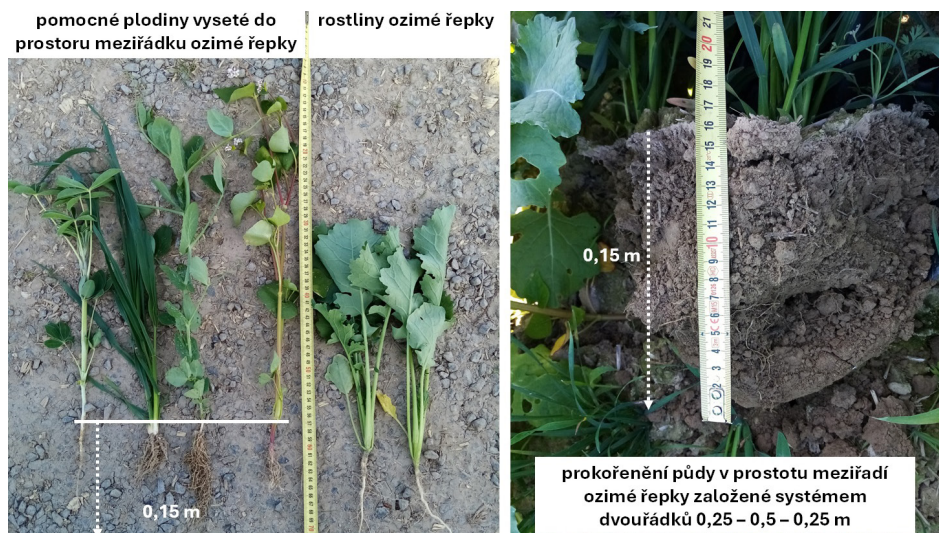
Zásadním faktorem přítomnosti pomocných plodin v době jejich růstu a následně působení jejich mulče po umrtvení je omezení kapkové eroze půdy (Brant a kol. 2017g). Dále se jedná



Obrázek 80: Infiltrace srážkové vody simulovaná metodou modré infiltrace (dávka obarvené vody činila 40 mm) na plochách s výsevem ozimé řepky systémem dvouřádků (0,25 – 0,5 0,25 m) na plochách bez pomocné plodiny v meziřadí (nahore) a na plochách s osetím meziřadí ozimou formou hrachu rolního (odrůda Arkta), obrázky dole, 7.10.2019 na lokalitě Bučina. Vlevo jsou půdní profily po odkrytí a vpravo po převedení do černo-bílého formátu (bílá barva znázorňuje preferenční toky vody).

o podporu infiltrace vody při vyšších srážkách v době růstu pomocné plodiny (obrázek 80) kolem kořenových soustav pomocných plodin a následně v místech tvorby mokro a mikro pórů po jejich odumření po ukončení vegetace porostů. Obrázek 80 dokládá infiltraci srážkové vody simulovanou metodou modré infiltrace (dávka obarvené vody činila 40 mm) na plochách s výsevem ozimé řepky systémem dvouřádků (0,25 – 0,5 – 0,25 m) na plochách bez pomocné plodiny v meziřadí a na plochách s osetím meziřadí ozimou formou hrachu rolního (odrůda Arkta) 7.10.2019 na lokalitě Bučina. Přítomnost pomocných plodin v meziřádku rovněž omezuje riziko větrné eroze po založení porostů a může v pozdějších fázích růstu ozimé řepky přispívat k omezení rizika chladového stresu při rychlém nástupu nízkých teplot.

Zásadním faktorem působícím na půdní vlastnosti je biologické zpracování půdy v prostoru meziřadí kořeny pomocné plodiny, které je rovněž spojeno s distribucí organické hmoty do půdního profilu (obrázek 81). V době růstu se aktivní kořenový systém podílí na podpoře mikroorganismů především v zóně rhizosféry a po odumření je dalším zdrojem pro rozvoj půdního mikroedafonu.



Obrázek 81: Stav kořenových systémů pomocných plodin vysetých ve směsi do prostoru meziřádku a rostlin ozimé řepky (vlevo) a prokořenění půdy v prostoru meziřádku (vlevo) 3.10.2021. Výsev porostů proběhl 21.8.2021 (foto Brant).

Regulace plevelů pomocnými plodinami

Dalším benefitem pomocných plodin je omezení výskytu jednoletých plevelných druhů. Jednat se může o systémy cílených výsevů do meziřádků, nebo o celoplošný výsev pomocné plodiny. Pro uplatnění pomocných plodin v ozimé řepce jsou důležité časnější výsevy, které zajišťují nejen vývoj rostlin ozimé řepky, ale také požadovanou dynamiku růstu pomocných plodin. Časový prostor pro vývoj pomocných plodin na podzim je určen termínem výsevu a poklesem teplot pod hranici zastavení fyziologických procesů v rostlině u ozimých druhů,

nebo nástupem letálních teplot pro vymrzající druhy. Délka vegetace na podzim pozitivně koreluje, při dostatku vody v půdě, s produkcí nadzemní a podzemní biomasy pomocných plodin. Při využití hrachů jako pomocných plodin lze v rámci plánování délky vegetace na podzim pracovat s výsevem ozimých nebo jarních forem. Ozimé formy hrachu setého a rolního se vyznačují pomalejší dynamikou růstu po výsevu, ale s produkcí biomasy spojené s aktivním růstem rostlin, lze počítat i během teplejších zim a v jarním období. Při použití ozimých druhů je nutné počítat s jejich případnou herbicidní regulací na jaře.

V systémech pěstování ozimé řepky s roztečí řádků 0,5 m nebo v systému dvouřádků 0,25 – 0,5 – 0,25 m je z důvodu eliminace stresu ozimé řepky vhodné provést páskové ošetření herbicidem v meziřádku pomocí postřikovačů s roztečí trysek 0,5 m, nebo 0,25 m s možností individuálního ovládání trysek. Vstupují-li ozimé formy hrachů do zimního období již ve fázi prodlužovacího růstu či ve fázích vyšších, lze počítat s vyšší pravděpodobností jejich vymrznutí při nástupu teplot pod $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až na začátku následného roku (únor – březen). S pomalejší dynamikou růstu u ozimých forem je nutné počítat i při jejich využití ve směsích, kde je vhodné je kombinovat spíše s teplomilnými druhy (pohanka obecná, masťák habešský), které mají vzpřímenou lodyhu a na začátku vegetace přebírají funkci porytí půdy a regulace plevelů, po jejich odumření v důsledku nízkých teplot (zastavení a poškození růstu začíná při teplotách pod $8\text{ }^{\circ}\text{C}$), přebírají tyto funkce rostliny hrachů. Tabulka 15 dokumentuje produkci nadzemní biomasy pomocných plodin, včetně produkce nadzemní biomasy plevelů na konci podzimní vegetace. Výrazný výskyt plevelů byl v meziřádcích osetých druhů s malou růstovou dynamikou (svazenka shloučená a jetel alexandrijský) a poté na kontrole. Nejnižší produkce nadzemní biomasy plevelů byla na plochách s čistosevem ozimé formy hrachu rolního. Pozitivní vliv přítomnosti pomocné plodiny v meziřádku plevelů na regulaci plevelů a na celkovou produkci suché nadzemní biomasy dokládá tabulka 16 a stav porostů ozimé řepky na pokusné lokalitě před termínem hodnocení výskytu plevelů dokládá obrázek 82.

Tabulka 15: Produkce suché nadzemní biomasy pomocných plodin a plevelů (t/ha) a počet rostlin ozimé řepky na m² na hodnocených variantách 30. 10. 2020. Porosty byly založeny 21.8.2020 do systému dvouřádků 0,25 – 0,50 – 0,25 m. Při výsevu proběhl výsev rozdílných směsí pomocných plodin do meziřádku (50 cm). Odlišné indexy v rámci sloupce dokládají statisticky průkaznou diferenci mezi průměry (ANOVA, Tukey, 95 %), Brant a kol. 2021b.

směs/druh pomocné plodiny	produkce nadzemní suché biomasy pomocné plodiny (t/ha)	produkce nadzemní suché biomasy plevelů (t/ha)	počet rostlin ozimé řepky na m ²
1. – směs PRO SEEDS: výsevek: 5,5 kg/ha (jetel alexandrijský + masťnák habešský)	0,978	0,723	18,9
2 – směs PRO SEEDS: výsevek: 11 kg/ha (svazanka shloučená + jetel alexandrijský + vikev setá)	2,107	1,079	18,1
3 – směs PRO SEEDS: výsevek: 7 kg/ha (svazanka shloučená + jetel alexandrijský)	1,296	1,363	18,4
4 – směs Soufflet Agro: výsevek: 25 kg/ha (pohanka obecná 7,5 kg/ha + svazanka vratičolistá 1,25 kg/ha + hrách rolní / jarní forma/ 8,75 kg/ha + vikev jarní 5 kg/ha + jetel alexandrijský 2,5 kg/ha)	2,440	0,299	18,4
5 – směs Soufflet Agro: výsevek: 20 kg/ha (pohanka obecná 7,5 kg/ha + svazanka vratičolistá 1,25 kg/ha + hrách rolní /jarní forma/ 8,75 kg/ha + jetel alexandrijský 2,5 kg/ha)	3,462	0,104	19,7
6 – pomocná plodina Selgen: výsevek: 50 kg/ha (hrách rolní /ozimá forma/ - odrůda Arkta)	1,481	0,038	17,9
7 – neosetí meziřádku, plečkování po vzejití porostu		0,768	19,5

Tabulka 16: Produkce suché nadzemní biomasy plevelů na pokusné ploše s pomocnou plodinou a na kontrole bez osetého meziřádku (hodnoceno 19.10.2021) v porostech ozimé řepky (t/ha) - přepočteno na ha porostu po odečtení plochy dvouřádku řepky. Smě byla složena s pohanky obecné, jarní formy hrachu rolního, ovsa setého a z lupiny bílé. Porosty byly založeny systémem dvouřádků 0,25 – 0,50 – 0,25 m. Výsev řepky proběhl 21.8.2021. Odlišné indexy v rámci sloupců dokládají statisticky průkazné rozdíly mezi průměry na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey).

varianta	suchá biomasa plevelů (t/ha)	suchá biomasa plevelů a pomocné plodiny (t/ha)
s pomocnou plodinou	0,030 a	0,262 b
bez pomocné plodiny	0,056 a	0,056 a



Obrázek 82: Stav porostů ozimé řepky založené systémem dvouřádků (0,25 – 0,5 – 0,25 m) 3.10.202, meziřádku je směs pomocných plodin obsahující jarní formu hrachu rolního (foto Brant).

Výnosy ozimé řepky při využití pomocných plodin

Dosavadní výsledky ověřování použití pomocných plodin v ozimé řepce na výnos semen v rámci České republiky, kde je dominantní systém jejich cíleného výsevu do meziřádku poukazují na skutečnost, že tyto pěstební systémy nevedou k poklesu produkce semen. Tabulky 17 a 18 dokumentují průměrný výnos semen na plochách s rozdílnými druhy pomocných plodin v meziřádcích ozimé řepky na lokalitách Makov a Bučina (východní Čechy) v roce 2020. V rámci popisů tabulek je specifikována technologie pěstování.

Tabulka 17: Výnosy ozimé řepky Crosby vyseté systémem dvojřádků 0,25 - 0,50 - 0,25 m s využitím pomocných plodin vysévaných souběžně s ozimou řepkou. Sklizeň proběhla 28.7.2020 na lokalitě Makov, pozemky ZD Dolní Újezd. Velikost sklizňové plochy pokusných parcel se pohybovala od 1885 do 1930 m². Průměrné hodnoty nečistot na pozemku nepřekročily 3 %. Průměrný počet rostlin na m² činil 26.3.2020 průměrně 16 kusů. Porosty byly poškozeny hraboši, jejich působení snížilo počet rostlin během zimního období o 6 kusů rostlin na m². Porosty se souběžným setím pomocné plodiny byly ošetřeny pouze dávkou herbicidu Butisan Star 1 l/ha - ostatní plevela regulovala pomocná plodina, graminicid byl aplikován plošně.

pokusné varianty	výnos (t/ha), 8% vlhkost	HTS (g)
souběžné setí řepky a ozimé formy hrachu rolního ARKTA (70 kg/ha)	4,831	4,28
souběžné setí řepky a jarní formy hrachu rolního ARVIKA (70 kg/ha)	5,046	4,07
souběžné setí řepky a směsi jarní formy hrachu rolního + bob obecný (40:60, 150 kg/ha)	5,024	3,87
souběžné setí řepky a vikve seté (30 kg/ha)	4,969	4,14
souběžné setí řepky a vícekomponentní směsi (vikve, jetele, pohanka obecná, svaženka vratičolistá a bob obecný) - 30 kg/ha	5,019	4,14
souběžné setí řepky a směsi (mstňák habešský, jetel alexandrijský, piskavice řecké seno) - 13 kg/ha	5,008	4,03
kontrola - setí řepky bez pomocné plodiny	4,996	4,14

Tabulka 18: Výnosy ozimé řepky Crosby vyseté systémem dvojřádků 0,25 – 0,50-0,25 m s využitím pomocných plodin vysévaných souběžně s ozimou řepkou do meziřádku. Sklizeň proběhla 28.7.2020 na lokalitě Bučina, pozemky Statku Bureš. Velikost sklizňové plochy pokusné parcely se pohybovala od 1042 do 1246 m². Průměrná hodnoty nečistot na pozemku nepřekročily 4 %. Průměrný počet rostlin na m² činil 26.3.2020 průměrně 15 kusů. Porosty byly ve spodní části pozemku poškozeny hraboši. Porosty se souběžným setím pomocné plodiny byly ošetřeny přípravkem Command 36 CS na dvojřádek ozimé řepky (0,25 l/ha, šířka pásů činila 30 cm, 11.8.2019), ostatní plevely regulovala pomocná plodina, graminicid byl aplikován plošně). Pásový postřik herbicidem proti dvouděložným rostlinám přispěl ke snížení zatížení pozemku herbicidem. Odlišné indexy v rámci sloupce u HTS dokládají statisticky průkazný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95%, (ANOVA, Tukey).

pokusné varianty	výnos (t/ha), 8% vlhkost	HTS (g)
souběžné setí řepky a ozimé formy hrachu rolního ARKTA (70 kg/ha)	5,000	4,41
souběžné setí řepky a jarní formy hrachu rolního ARVIKA (70 kg/ha)	5,248	4,12
souběžné setí řepky a směsi jarní formy hrachu rolního + bob obecný (40:60, 150 kg/ha)	5,202	4,53
souběžné setí řepky a vikve seté (30 kg/ha)	5,447	4,51
souběžné setí řepky a vícekomponentní směsi (vikve, jetele, pohanka obecná, svazenka vratičolistá a bob obecný) - 30 kg/ha	5,501	4,69
souběžné setí řepky a směsi (mstňák habešský, jetel alexandrijský, pískavice řecké seno) - 13 kg/ha	5,643	4,71

V tabulce 19 je stanoven vliv pěstební technologie na biometrické parametry rostlin a výnos semen u ozimé řepky a kontrolní varianty bez pomocné plodiny. Porosty byly založeny 21.8.2021 do systému dvouřádků 0,25 – 0,50 – 0,25 m. Kontrolní variantou byla plocha bez pomocné plodiny. Při výsevu byl proveden postřik na dvouřádek ozimé řepky – směs hnojiva DAM 390 (40 l/ha) a herbicidu Command 36 CS (1 l/ha). Použita byla odrůdy ozimé řepky – PT 298, výsevek činil 0,7 výsevní jednotky na hektar. Ostatní ošetření proti chorobám a škůdcům a hnojení bylo na obou variantách shodné. Pomocné plodiny do začátku vegetace spolehlivě vymrzly. Výnos semen ozimé řepky byl na ploše s pomocnou plodinou vyšší.

Tabulka 19: Výnosy ozimé řepky Crosby vyseté systémem dvojřádků 0,25 - 0,50 - 0,25 m s využitím pomocných plodin vysévaných souběžně s ozimou řepkou do meziřádku. Sklizeň proběhla 28.7.2020 na lokalitě Bučina, pozemky Statku Bureš. Velikost sklizňové plochy pokusné parcely se pohybovala od 1042 do 1246 m². Průměrná hodnoty nečistot na pozemku nepřekročily 4 %. Průměrný počet rostlin na m² činil 26.3.2020 průměrně 15 kusů. Porosty byly ve spodní části pozemku poškozeny hraboši. Porosty se souběžným setím pomocné plodiny byly ošetřeny přípravkem Command 36 CS na dvojřádek ozimé řepky (0,25 l/ha, šířka pásů činila 30 cm, 11.8.2019), ostatní plevely regulovala pomocná plodina, graminicid byl aplikován plošně). Pásový postřik herbicidem proti dvouděložným rostlinám přispěl ke snížení zatížení pozemku herbicidem. Odlišné indexy v rámci sloupce u HTS dokládají statisticky průkazný rozdíl mezi průměry na hladině významnosti 95%, (ANOVA, Tukey).

	26.03. 2022		12.05. 2022				24.08. 2022	
varianta	počet rostlin řepky ozimé na m ² (kusy)	průměr kořenové- ho krčku (mm)	výška rostlin ozimé řepky (m)	počet větví na rostlině (kusy)	počet šešulí na rostlině (kusy)	semen v šešuli (kusy)	výnos semen při 100% sušině (t/ ha)	olejna- tost při vlhkosti 9%
řepka vysetá systémem dvouřádků (0,25 – 0,50 – 0,25 m) bez pomocné plodiny v meziřádku (0,5 m)	15,3 a	14,6 a	1,788 ab	9,50 a	354,6 a	25,0 a	4,353	44,1
řepka vysetá systémem dvouřádků (0,25 – 0,50 – 0,25 m) s výsevem pomocné plodiny do meziřádku, směs ovesa setého, hrachu rolního – jarní forma, pohanky obecné a lupiny bílé	19,5 b	15,1 a	1,932 b	9,63 a	319,6 a	26,6 a	4,791	43,6

Další systémy pěstování ozimé řepky s pomocnou plodinou

V rámci technologií pěstování ozimé řepky s pomocnou plodinou se jedná o cílené výsevy luskovin vedle řádku ozimé řepky, kdy je ozimá řepka zaseta do širších řádků (0,45 – 0,5 m) přesným secím strojem a vedle řádku ozimé řepky se uloženo osivo luskoviny. V těchto systémech se však z důvodu omezení konkurence vůči ozimé řepce používají luskoviny s nepoléhajícími lodyhami (bob obecný a sója luštěnatá). Omezení lze využít i jarní formy hrachu setého a rolního, které spolehlivě vymrznou.

Další možností je výsev ozimé řepky do strniště předplodiny (setí do nezpracované půdy), kdy je do stejného řádku vysévána luskovina, především bob obecný, který vytváří silný kůlový kořen. Ten napomáhá zpracování půdy pro následný vývoj rostlin řepky. Hrachy nejsou pro tyto systémy z důvodu slabší tvorby kořene vhodné.

Využití hrachů v porostech obilnin

Nejčastěji využívanou pomocnou plodinou u pšenice ozimé jsou zástupci rodu hrách. Jedná se jak o jarní, tak i o ozimé formy hrachu setého a rolního. V osevních postupech se standardním zastoupením hrachů je vhodné z fyto-sanitárních důvodů nahradit tyto luskoviny jinými rostlinnými druhy (např. ředkev olejná a hořčice bílá). Pomocné plodiny vyseté současně s ozimou pšenicí mohou zajišťovat následující funkce (Brant a Šmoger, 2019):

- Ukládají na počátku vývoje ozimé pšenice do své podzemní a nadzemní biomasy živiny, které jsou po umrtvení pomocné plodiny mrazem, či na jaře herbicidně nebo plečkováním, přístupné pro vyvíjející se porost pšenice.
- Svojí přítomností v meziřádku pšenice ozimé omezují rozvoj plevelů, nebo snižují klíčivost semen plevelů v jarním období, kdy začínají působit inhibiční látky uvolněné z jejich odumřelé biomasy, což je typické především pro brukvovité rostliny.
- Prokořeněním půdy pomocnou plodinou dochází k obohacení půdy o kvalitní organickou hmotu, ke zvýšení stability půdní struktury a omezení vzniku půdního škraloupu, ale také k intenzivnější infiltraci vody do půdy v době vývoje porostu pšenice.
- Zvýšením pokryvu půdy v meziřádku (živé rostliny či jejich odumřelé zbytky) omezují nejen větrnou a vodní erozi, ale v době růstu se podílejí na zvýšení využití energie slunečního záření a na jejich transformaci do vytvořené biomasy a následně do půdy.

Využití ozimých a jarních forem

Z hlediska uplatnění luskovin jako pomocných plodin v ozimé pšenici jsou spíše preferovány ozimé formy luskovin, zejména zástupci hrachu setého a rolního. Ty se na rozdíl od jarních forem luskovin vyznačují pomalejší dynamikou růstu a tvorbou nadzemní a podzemní biomasy ještě v jarním období. Na rozdíl od vymrzajících jarních forem je na jaře nutná jejich chemická, či mechanická regulace v meziřádku. Kultivace meziřádku s nevymrzající luskovinou je využitelná především v systémech ekologického zemědělství při rozteči řádků obilniny větší než 250 mm. Nevymrzlé či ozimé formy hrachů jsou v konvenčním zemědělství hubitelné většinou herbicidů určených pro jarní ošetření (Brant a kol. 2019a).

Brant a kol. (2018b) poukazují na pozitivní korelaci mezi výnosem zrna pšenice ozimé a počtem rostlin hrachu rolního (ozimá forma) na jaře na jednotku plochy při jejich využití jako pomocné rostliny. Na základě stanovení regresní funkce, vykazovaly vůči kontrole bez hrachu rolního vyšší výnos porosty, kde počet rostlin hrachu rolního byl roven či vyšší než 64 kusů na m². Tito autoři dále uvádějí, že vliv na výnos pšenice mohl hrát i druh, kdy rostliny hrachu rolního vykazovaly na jaře vyšší růstovou dynamiku než ozimé formy hrachu setého (obrázek 83). Pozitivní korelace byla stanovena i mezi výší výnosu zrna u odrůdy ozimé pšenice Julie ve vztahu k produkci nadzemní, podzemní a celkové biomasy ozimých forem hrachů před herbicidním umrtvením na jaře. Nejtěsnější korelace byla stanovena mezi produkcí podzemní biomasy hrachů a výnosem pšenice. Vliv kořenového systému však nelze spojovat jen se samotnou produkcí biomasy a následným uvolněním živin z biomasy, která je uložena v půdě, ale také s působením kořenů na půdní vlastnosti a s funkcí rostlinných společenstev.



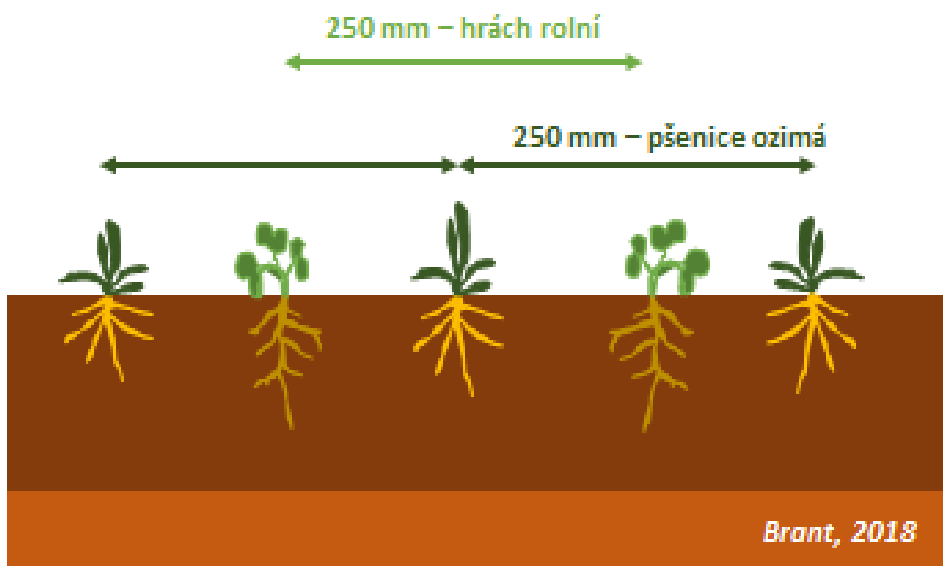
Obrázek 83: Stav porostů 21.3.2017, vlevo rostliny hrachu setého Aviron, vpravo rostliny hrachu rolního Arkta v porostu ozimé pšenice Julie (foto Brant).

Principy technologie

Základem technologie využití pomocných luskovin v pšenici ozimé je pěstování kompenzačních odrůd v širších řádcích v kombinaci se sníženým výsevkem od 70 do 120 kg/ha. Nejčastěji používanou roztečí řádků obilniny při pěstování pšenice ozimé s pomocnou plodinou je rozteč 250 mm. Do meziřádků je následně vyseta secí botkou luskovina. Výsev lze zajistit secím stroje se dvěma zásobníky a pšenici s pomocnou plodinou vysévat ob secí botku (obrázek 84). Změnou tlaku na botky vysévající pomocnou plodinu je možné zajistit i optimální hloubku setí dle velikosti osiva pomocné plodiny. Semena hrachu rolního a ozimých forem hrachu setého vykazují ve srovnání s jarními formami hrachu setého menší velikost, což je výhodné nejen z hlediska dodržení hloubky setí, ale také z důvodu snížení potřeby velikosti zásobníku pro pomocnou plodinu (Brant a kol. 2019a). Výše výsevu u ozimých forem hrachu setého a rolního by se z důvodu zajištění požadovaného množství rostlin pomocné plodiny a samozřejmě také produkce jejich biomasy měla pohybovat v rozmezí 60 – 90 kg/ha. Náklady na osivo hrachu by měly být pokryty úsporou na osivu obilniny a snížením dávek dusíku. Produkce nadzemní biomasy hrachu rolního se na jaře se při výsevu 80 kg/ha pohybovala na základě našich výsledků v rozmezí od 200 do 700 kg/ha. Podzemní biomasa poté odpovídá

1/2 až 1/3 produkce nadzemní biomasy (Brant a Šmöger, 2019). Základem snížení nákladů na technologii je i cílené hnojení pod patu jen k rostlinám ozimé pšenice, poté musí být secí stroj vybaven třemi zásobníky, zásobník na osivo ozimé pšenice, hrachu a na hnojivo).

Hrách rolní jako pomocná plodina v pšenici ozimé – struktura porostu



Obrázek 84: Struktura porostu při využití výsevu pomocné plodiny (hrách rolní – peluška).

Výnosy ozimé pšenice

Problematika pěstování ozimé pšenice s hrachy jako pomocnými plodinami je v české literatuře dobře zpracována (např. Brant a kol. 2019a). Dlouhodobé testování technologie prokázalo, že technologie pěstování pšenice ozimé s roztečí řádků 0,25 m a s řádkovým výsevem hrachů do meziřádků pšenice ozimé není spojeno s redukcí výnosů zrna, ani nevykazuje vyšší náklady na technologii. Podmínkou je však dostupnost vhodného secího stroje. V tabulce 20 dokládá vliv technologií pěstování ozimé pšenice s pomocnou plodinou na lokalitě Nabočany.

Tabulka 20: Porosty ozimé pšenice s pomocnou plodinou na lokalitě Nabočany (hospodářský rok 2018 - 2019) - demonstrační plochy na výstavě Naše pole 2019. Odlišné indexy v rámci sloupců dokumentují statisticky průkaznou diferenci mezi průměry v rámci odrůdy (P-value 0,05; ANOVA). Statistické vyhodnocení je v termínu 22.7.2019 provedeno pro jednotlivé odrůdy.

varianta/ struktura porostu	specifi- kace	12.3.2019			10.6.2019		22.7.2019		výnos slámy (100 % sušina) t/ha
		průměr- ný počet odnoží na rostlinu pšenice (kusy)	počet rostlin pšenice ozimé na m ² (kusy)	počet rostlin po- mocné plodiny na m ² (kusy)	počet plod- ných odnoží na rostlině (kusy)	počet klasů pšenice na m ² (kusy)	výška porostu (m)	výnos zrna (100 % sušina a čistota) t/ha	
rozteč řádků pšenice 250 mm, rozteč hrachu rolního 250 mm	obilnina 120 kg/ha (Julie), 80 kg/ha (peluška Arkta)	6,6 bc	198 a	76 a	3,1 a	661 a	1,010 a	9,724 a	9,995 a
rozteč řádků pšenice 250 mm	obilnina 120 kg/ha (Julie)	6,6 bc	212 a		3,6 abc	648 a	0,996 a	9,332 a	10,144 a
rozteč řádků pšenice 250 mm, rozteč hrachu rolního 250 mm	obilnina 120 kg/ha (Turandot), 80 kg/ha (peluška Arkta)	6,6 bc	240 ab	54 a	4,5 c	659 a	0,888 a	7,481 ab	11,606 a
rozteč řádků pšenice 250 mm,	obilnina 120 kg/ha (Turandot)	6,9 c	204 a		4,1 abc	726 a	0,908 a	8,559 b	12,349 a
rozteč řádků pšenice 250 mm, rozteč ředkve olejné 250 mm	obilnina 120 kg/ha (Turandot), 12 kg/ha (ředkev Romesa)	5,5 ab	200 a	90% vymrz- nutí	4,5 bc	650 a	0,914 a	7,460 ab	11,728 a
rozteč řádků pšenice 125 mm	obilnina 160 kg/ha (Turandot)	7,7 c	272 ab		3,6 abc	657 a	0,904 a	6,856 a	12,915 a
rozteč řádků pšenice 125 mm, hořčice bílá na široko	obilnina 160 kg/ha (Turandot), hořčice bílá 12 kg/ha (Andromeda)	5,1 a	336 b	100% vymrz- nutí	3,3 ab	659 a	0,910 a	7,211 ab	13,089 a

Využití hrachů v porostech brambor

V posledních letech je intenzivní pozornost věnována problematice pěstování pomocných plodin v bramborech. Využití pomocných plodin vychází z principů biotických intenzifikací, na kterých by měly být moderní technologie postaveny (Cadoux a kol. 2015). Biotické efekty poskytuje rostoucí rostlina nebo její odumřelá biomasa (Echarte a kol., 2011). Brant a kol. (2019) definují pomocné plodiny jako rostliny, které napomáhají dosažení pěstebních a ekologických cílů při časově rozdílné době souběžného pěstování s hlavní plodinou a mohou být využity i jako producenti hlavního produktu. Použití pomocných plodin v hlavních polních plodinách přináší pozitivní efekty z hlediska zpřístupnění živin hlavní plodině (např. Paul 2016; Böhm a kol. 2017), ochrany půdy (např. Klingenhagen 2019), omezení rozvoje škodlivých činitelů (např. Moreau a kol. 2006; Cadoux a kol., 2015). Směsné porosty rozdílných druhů plodin mohou zvyšovat produktivitu systémů, omezovat výskyt škodlivých organismů, zvyšovat fixaci CO₂ a omezovat ztráty živin (Malézieux a kol. 2009). Aby bylo dosaženo požadovaných účinků v agroekosystémech, měla by být pomocná plodina pečlivě vybrána s ohledem na druh, termín pěstování a způsob ukončení na základě lokality, farmy nebo specifického účelu (Quintarelli a kol., 2022). Mimo očekávané přínosy však může být pěstování pomocných plodin spojeno s určitým negativním biotickým působením na souběžně hlavní plodinu nebo na následnou plodinu. V rámci negativního vztahu se může jednat o přímé působení v době růstu hlavní plodinu nebo následné působení umrtvené, či odumřelé biomasy pomocné plodiny (Brant a kol. 2019). Vývoj hlavní plodiny může být také negativně ovlivněn konkurencí světlo, živiny nebo vodu mezi pomocnými plodinami a hlavními plodinami (Uchino a kol. 2009; Picarda a kol. 2010).

Využití pomocných plodin v porostech brambor spojeno především s omezením erozních procesů (Nyawade a kol. 2019), Tito autoři ověřovali vliv třech druhů luskovin (lablab purpurový, hrách setý a fazol obecný) vysetých do mezíhrůbku brambor na eliminaci vodní eroze. Použití pomocných plodin snížilo průměrně o 51 až 70 % vůči kontrole bez pomocné plodiny. Na vysoké riziko vzniku erozních procesů v porostech brambor poukazují např. Tiessen a kol. (2007) a na potřebu její eliminace novými pěstebními postupy, včetně pomocných plodin (Záruba a kol. 2023). Většina dostupných informací spojených s využitím pomocných plodin se týká pěstování brambor v ekologickém zemědělství a je staršího data. Haas (2002) uvádí, že výsev *kukuřice seté* nebo *slunečnice roční* v červnu do mezířádku brambor přispěl ke snížení dusíku v půdě a měl vliv i na snížení rizika vyplavení živin do spodních vrstev půdy. Rostliny *Zea mais* a *Helianthus annuus* byly před sklizní brambor sklizeny na produkci biomasy. Podobné výsledky potvrzuje i Spiess (2000) u výsevů jílku mnohokvětého do mezířádku brambor při poslední priorávce. Pozitivní vliv pomocných plodin založených do prostoru mezíhrůbku brambor potvrdili Haas a Köpke (2002). Informace o uplatnění pomocných plodin v konvenčním zemědělství nejsou ve vědecké literatuře dostupné. V konvenčním zemědělství je primární přínos spojen s potenciálním omezením eroze a s produkcí organické hmoty. Zaplevelení porostů brambor s pomocnou plodinou je dominantně řešeno herbicidy, které nesmí pomocnou plodinu poškodit. Zároveň nejsou v literatuře dostupné informace o regulaci pomocné plodiny v porostech brambor herbicidem, kdy je potřebné ji umrtvit z důvodu omezení konkurence vůči hlavní plodině a případně zajistit regulaci plevelů před uzavřením porostu. Zásadní informace scházejí i o produkci nadzemní a podzemní biomasy pomocných plodin v porostech

brambor, dostupné informace o produkci nadzemní a podzemní biomasy pomocných plodin v ostatních plodinách jsou dostupné pro kukuřici, pšenici, mák a řepku (Brant a kol. 2019).

Z hlediska pěstování brambor s pomocnou plodinou je nutné stanovit vliv pomocných plodin na výnos hlíz. Haas a Köpke (2002) uvádějí, že výnosy hlíz na plochách s přívěsem pomocných plodin do porostů brambor v ekologickém zemědělství v červnu nebo v červenci přispěly k poklesu výnosu hlíz, ale mezi výnosy na kontrole bez pomocné plodiny a plochami s přívěsy nebyly statisticky průkazné. (Nyawade a kol. 2019) naopak tvrdí, že pomocná plodina v porostu brambor neměla negativní vliv na produkci hlíz, naopak vliv na produkci brambor byl mírně pozitivní. Záruba a kol. (2023) uvádějí, že pomocná plodina může mít vliv na porost brambor z hlediska konkurence o vodu a živiny a je důležitá správná volba pomocné plodiny i její umístění. Negativní vliv na výnos hlíz brambor při využití pomocné plodiny popisují naopak Gitari a kol. (2018). Autoři zjistili výrazně nižší výnos hlíz v meziplodinových systémech s kukuřicí, pšenicí, mák a řepku. Informace o produkci nadzemní a podzemní biomasy pomocných plodin jsou spojovány se systémy pozdějšího výsevu do porostů brambor a při souběžné pěstování plodin na pozemku. Informace o ověřovaném systému pomocných plodin při výsadbě brambor s následnou chemickou regulací společně při ošetření proti plevelům nejsou dostupné.

V rámci České republiky je dominantně využívána technologie záhonové separace půdy. Důvodem je značná skeletovitost půd v bramborářských oblastech a její využití je podmínkou pro zachování konkurenceschopnosti produkce brambor v České republice. Technologie separace kamenů vylučuje možnosti mechanické kultivace během vegetace a regulace plevelů probíhá chemickými metodami. Z tohoto důvodu je z hlediska podmínek v České republice nutné hledat technologické postupy, které umožní využití pomocných plodin i v systémech separace půdy.

Ověřování v podmínkách České republiky

V rámci České republiky probíhalo ověření využití pomocných plodin v porostech brambor pěstovaných technologií separace půdy na lokalitě Chmelná (střední Čechy) v letech 2022 – 2024. Lokalita se nachází v bramborářské výrobní oblasti. Ve všech hodnocených letech byla předplodinou pro brambory ozimá řepka, sláma předplodiny byla ponechána na stanovišti. Po sklizni předplodiny byla na pozemku do nezpracované půdy zaseta směs meziplodin (hrách setý polní, hrách setý rolní, bob, slunečnice, hořčice a svazenka). Vyšetřené meziplodiny do jara vymrzly a na jaře byl pozemek celoplošně nakypřen do hloubky 0,1 m. Následně proběhlo záhonové odkameňování půdy. V průběhu výsadby došlo základnímu hnojení hnojivem NPK 15-15-15 v dávce 300 kg/ha.

V rámci pokusů byla použita odrůda brambor Antonia. Porost byl založen ve sponu 0,75 x 0,30 m, hloubka uložení hlízy byla 0,15 m od vrchu hrůbku. Počet hlíz při výsadbě činil 44 500 trsů na ha. Pomocné plodiny byly vyseta přímo při výsadbě brambor na dno mezihrůbku. Porost byl založen dvouřádkovým sazečem brambor Reekie RMP-2 doplněným o dvě výsevní jednotky semen APV MDP 40 M1, ze kterých bylo do půdy ukládáno dvoukotoučovými botkami umístěnými na rámu sazeče osivo pomocných plodin (obrázek 85).



Obrázek 85: Modifikovaný sazeč pro výsev pomocných plodin (zpracoval Holejšovský).

Jako pomocné plodiny byly testovány následující druhy: oves nahý, hrách setý a bob obecný. Tabulka 21 dokládá ověřované druhy, jejich odrůdy a výše výsevků. Pomocné plodiny byly vysety na dno každého mezihrůbku. Založeny byly tedy v kolekových i nekolekových řádcích. Termíny výsadby brambor a založení porostů pomocných plodin proběhly v letech 25.4.2022, 30.4.2023 a 13.4.2024.

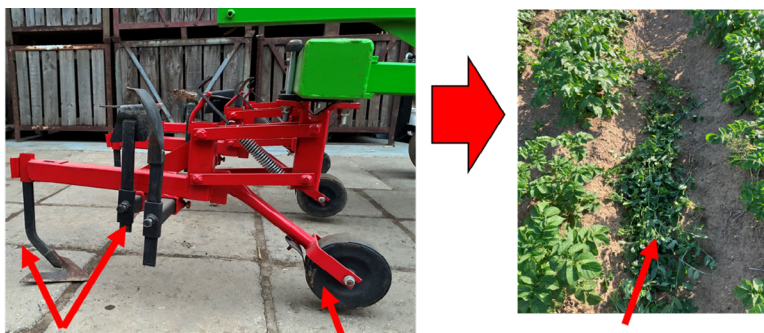
Tabulka 21: Druhy a odrůdy pomocných plodin a výsevky na jednotku plochy pozemku (výsev probíhal do mezihrůbků) v letech 2022 – 2024.

pomocná plodina	odrůda/vlastník odrůdy	výsevek (kg/ha)	hloubka setí (mm)
oves setý	Marco Polo/Selgen a.s.	30	30
hrách setý	Eso/Selgen a.s.	60	40
bob obecný	Merkur/Selgen a.s.	60	40

Pokusné plochy byly v jednotlivých letech herbicidně ošetřeny. Voleny byly herbicidy, které neměly vliv na vývoj pomocných plodin. Po založení porostů proběhla aplikace preemergentního herbicidu. V prvním experimentálním roce proběhla aplikace 2.5.2022, použit byl herbicid s účinnými látkami *metribuzin*, *prosulfocarb*, dávka účinné látky *prosulfocarb*

4000 g/ha, *metribuzin* 400 g/ha (dávka vody 350 l/ha). Ve druhém roce (6.5.2023) byl aplikován herbicid s účinnou látkou *prosulfocarb*, dávka účinné látky 4000 g/ha (dávka vody 350 l/ha) a (10.6.2023) postemergentní herbicid s účinnou látkou *metribuzin* v dávce 400 g/ha (dávka vody 250 l/ha). Ve třetím roce poté 18.4.2024 preemergentní herbicid s účinnou látkou *prosulfocarb*, dávka účinné látky 400 l/ha (dávka vody 350 l/ha) a (28.5.2024) postemergentní herbicid s účinnou látkou *metribuzin* dávka účinné látky 400 g/ha (dávka vody 250 l/ha). V prvním roce musely být aplikovány účinné látky společně z důvodu silného tlaku plevelu. Z důvodu využití systému odkameňování půdy nebyla během vegetace provedena žádná mechanická kultivace půdy pro regulaci plevelu.

Rostliny ovsa setého byly ve všech experimentálních letech umrtveny graminicidem s účinnou látkou *propaquizafop*, dávka účinné látky 50 g/ha (250 l/ha vody). Termín ošetření byl v prvním roce 27.6.2022, ve druhém 18.6.2023 a ve třetím 29.5.2024. Porosty hrachu setého a bobu obecného byly umrtveny mechanicky upravenou plečkou na brambory, která porost



Pracovní nástroje plečky během umrtvení porostů pomocných plodin nezpracovávaly půdu.

Porosty hrachu setého a bobu obecného byly mechanicky umrtveny zalomením pomocí opěrných kol plečky.

Rostliny hrachu setého a bobu obecného mezi hrůbky umrtvené po přejezdu opěrných kol plečky.

Obrázek 86: Popis modifikace plečky pro umrtvení pomocných plodin z čeledi bobovitých (zpracoval Holejšovský).

Tabulka 22: Termíny odběrů biomasy pomocných plodin na pokusných plochách v letech 2022–2024.

rok	1. termín hodnocení		2. termín hodnocení	
	datum	počet dní od výsevu	datum	počet dní od výsevu
2022	25.5.	31	24.6.	61
2023	31.5.	32	15.6.	47
2024	14.5.	32	29.5.	47

pomocné plodiny povalila a zalomila. Obrázek 86 dokládá opěrné kolečko na plečce, které bylo použito pro umrtvení porostů hrachu setého a bobu obecného. Při mechanické regulaci nedošlo ke zpracování půdy. Termíny mechanické regulace pomocných plodin byly 27.6.2022, 18.6.2023 a 29.5.2024.

Na pokusných variantách byla každý rok hodnocena produkce nadzemní a podzemní biomasy pomocných plodin (tabulka 23), a to ve dvou termínech od založení porostů. Termíny odběrů biomasy pomocných plodin v experimentálních letech dokumentuje tabulka 22.

V rámci polních experimentů byl sledován vliv pomocných plodin na výnosové parametry hlíz. Hodnocena byla celková produkce hlíz a konzumních hlíz na jednotku plochy a pod jedním trsem. Kategorii konzumních hlíz představují hlízy, které nepropadly čtvercovým sítím o rozměru 35 x 35 mm. Následně byla vypočítána výtěžnost konzumních hlíz, který vyjadřuje % zastoupení konzumních hlíz z celkového výnosu (tabulka 24). U konzumních hlíz byl polarimetricky stanoven obsah škrobu v hlízách.

Vývoj porostů během vegetace

Tabulka 23: Průměrná produkce nadzemní a podzemní biomasy pomocných plodin (t/ha) při prvním a druhém termínu hodnocení a poměr nadzemní a podzemní biomasy (průměr let 2022 – 2024). Rozdílné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokládají statisticky průkazný rozdíl mezi hodnotami na hladině spolehlivosti 95% (ANOVA, Tukey).

rostlinný druh	výnos celkové biomasy t/ha)	výnos podzemní biomasy (t/ha)	výnos nadzemní biomasy (t/ha)	podíl nadzemní/ podzemní biomasy	výnos celkové biomasy t/ha)	výnos podzemní biomasy (t/ha)	výnos nadzemní biomasy (t/ha)	podíl nadzemní/ podzemní biomasy
	první termín hodnocení				druhý termín hodnocení			
oves setý	0,241 a	0,071 b	0,170 a	2,33 a	0,866 b	0,216 b	0,650 b	2,61 a
hrách setý	0,064 a	0,020 a	0,044 a	2,32 a	0,146 a	0,020 a	0,126 a	6,65 b
bob obecný	0,225 a	0,054 ab	0,171 a	2,29 a	0,524 ab	0,110 a	0,414 ab	3,78 a
P-Value	0,0510	0,0056	0,0733	0,9959	0,0012	0,0001	0,0033	0,0012

Vliv na produkci a kvalitu hlíz

Průměrný obsah škrobu v hlízách činil za období 2022 – 2024 na plochách s pomocnou plodinou bobem obecným 14,0 %, hrachem setým 14,5 % a ovsem nahým 15,1 %. Na kontrolní variantě bez pomocné plodiny dosáhl obsah škrobu 14,8 %. Rozdíly mezi průměrnými obsahy škrobu mezi hodnocenými variantami, včetně kontroly, nebyly statisticky průkazné.

Tabulka 24: Průměrné hodnoty produkce brambor pěstovaných s pomocnou plodinou za období 2022 - 2024. V termínu sklizně byl hodnocen celkový výnos čerstvých hlíz (t/ha). Rozdílné indexy mezi průměry v rámci sloupců dokládají statisticky průkazný rozdíl mezi hodnotami na hladině spolehlivosti 95% (ANOVA, Tukey).

rostlinný druh	hmotnost hlíz pod trsem (kg)	počet hlíz pod trsem (ks)	počet konzumních hlíz pod trsem (kusy)	celkový výnos hlíz (t/ha)	výnos konzumních hlíz (t/ha)	výnos konzumních hlíz (%)
<i>oves setý</i>	0,853 a	10,7 a	6,9 a	37,949 a	31,191 a	80,3 a
<i>hrách setý</i>	0,795 a	10,5 a	6,3 a	35,360 a	28,336 a	77,0 a
<i>bob obecný</i>	0,748 a	9,2 a	5,4 a	33,262 a	26,495 a	74,6 a
<i>kontrola</i>	0,884 a	12,1 a	7,1 a	42,830 a	34,079 a	82,8 a
<i>P-Value</i>	0,5348	0,4859	0,1956	0,2526	0,6338	0,8108

Hrachy a ozelenění meziřadí ve chmelnicích

Hrách setý a rolní lze využít i pro ozelenění meziřadí chmelnic za účelem ochrany půdy, produkce biomasy, omezení rozvoje plevelů, fixace dusíku do půdy, produkce organické hmoty apod. (Brant a kol. 2021c, d). V rámci technologií ozelenění je lze primárně využít pro podzimní výsevy a pro časně jarní až pozdní jarní výsevy (Vopravil a kol. 2022). Pro ozelenění meziřadí chmelnice na podzim jsou samozřejmě nejvhodnější ozimé formy hrachu setého a rolního. Vysokou míru přezimování vykazuje především odrůda ozimé formy hrachu rolního Arkta. Při podzimním ozelenění lze využít čistosevy hrachu, ale vhodnější je provést kombinaci výsevu hrachů s obilninami (obrázek 87), například s pšenicí ozimou nebo ovsem setým či nahým (Brant a kol. 2021e), které většinou při výsevech v měsíci říjnu nevymrzají. Výsev lze provádět do poloviny října. Výsev ozimých hrachů lze provést i v kombinaci s dalšími druhy, třeba se svazenkou vratičolistou, kde jsou mladé rostliny rovněž schopné přezimovat. Výsev hrachů do meziřadí chmelnice je jednoznačně vhodnější provést uložením do půdy pomocí secích btek nebo za radličky či dlátka mělce pracujících kypričů. U podzimních výsevů lze použít i výsev na povrch půdy.

Časně jarní výsevy lze brát jako případnou alternativu k podzimním výsevům, ale stav půdy na jaře není vždy pro výsev vhodný. Pozdní jarní výsevy, tedy okamžitě po provedení příorávky jsou spojeny s vyšším rizikem sucha pro vzházení hrachů a samozřejmě s rizikem zastínění porostů v důsledku vývoje chmelových rostlin.

Porosty hrachů a jejich směsi ve chmelnicích (obdobně jako porosty dalších druhů) lze zapravit do půdy nebo provést jejich mulčování před nástupem porostů do fáze zrání, které zajistí další regeneraci porostů a prodloužení doby jejich aktivního růstu. Rostliny hrachu lze rovněž použít pro tvorbu mrtvého mulče, kde je umrtvení porostů vhodné provést reznými válci.

Tabulky 25 a 26 dokládají produkci biomasy porostů mezipločin založených do meziřadí chmelnice na podzim (včetně variant s ozimou formou hrachu rolního) před termínem prvního a druhého mulčování. Produkce nadzemní biomasy hrachů se u podzemních výsevů může pohybovat v rozmezí 1 až 3 t/ha, u pozdních jarních výsevů na úrovni 1 až 1,5 tha.

Stav porostů v termínu prvního mulčování – 3.6.2021.

oves nahý a ozimý hrách rolní



ozimý hrách rolní (čistosev)



Obrázek 87: Porosty hrachu rolního (ozimá forma) ve směsi s ovšem nahým (vlevo) nebo čistosev (vpravo) hrachu před prvním mulčováním porostů v meziřadí, které byly založeny na podzim (foto Brant).

Tabulka 25: Produkce suché nadzemní biomasy vysetých druhů, plevelů a celkové biomasy (t/ha) 3.6.2021, lokalita Kozojedy. Porosty byly založeny 7.10.2021. Odlišné indexy v rámci sloupců dokládají statisticky průkazné rozdíly mezi průměry na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey) zdroj: Vopravil a kol. (2021).

varianta	výsevek (kg/ha)	produkce ovsa nahého (t/ha)	produkce hrachu rolního (t/ ha)	produkce svazenky vratičो- listé (t/ha)	produkce jetele na- chového (t/ha)	produkce kultur- ních druhů (t/ha)	produkce plevelů (t/ha)	produkce nad- zemní biomasy (t/ha)
oves nahý + hrách rolní (ozimý)	80 + 40	3,304 a	2,352 a			5,656 ab	0,166 a	5,822 bc
hrách rolní (ozimý)	80 + 6		3,916 a			3,916 a	0,262 a	4,178 b
oves nahý + svazenka vratičो- listá	80 + 10	2,032 a		4,538		6,570 b	0,038 a	6,608 c
oves nahý + jetel nachový	80 + 20	5,260 b			0,368	5,628 ab	0,340 a	5,968 bc
oves nahý	80 + 8	6,512 b				6,512 b	0,427 a	6,939 c
neosetá kontrola (plevelé)							2,109 b	2,109 a

Tabulka 26: Produkce suché nadzemní biomasy vysetých druhů, plevelů a celkové biomasy (t/ha) 29.6.2021, lokalita Kozojedy. Porosty byly založeny 7.10.2020. - 3.6.2021 proběhlo první mulčování porostů. Odlišné indexy v rámci sloupců dokládají statisticky průkazné rozdíly mezi průměry na hladině významnosti 0,05 (ANOVA, Tukey). Zdroj: Vopravil a kol. (2021).

varianta	výsevek (kg/ha)	produkce ovsa nahého (t/ha)	produkce hrachu rolního (t/ha)	produkce svazenky vratičolisté (t/ha)	produkce jetele nachového (t/ha)	produkce kultur- ních druhů (t/ha)	produkce plevelů (t/ha)	produkce nadzemní biomasy (t/ha)
oves nahý + hrách rolní (ozimý)	80 + 40	0,973 a	0,145 a			1,118 ab	0,066 a	1,184 ab
hrách rolní (ozimý)	80 + 6		0,560 a			0,560 a	0,211 a	0,771 a
oves nahý + sva- zenka vratičolistá	80 + 10	0,973 a		0,345		1,318 abc	0,004 a	1,322 ab
oves nahý + jetel nachový	80 + 20	1,670 B			0,021	1,691 bc	0,047 a	1,738 ab
oves nahý	80 + 8	2,026 B				2,026 c	0,039 a	2,064 b

Výživa a hnojení hrachu

Vzhledem k faktu, že hrách patří mezi luskoviny, které se vyznačují symbiózou bakterií tvořících na kořenech rostlin hlízy a díky tomu schopností poutat vzdušný dusík, patří mezi relativně nenáročné plodiny na výživu. Ovšem ani u hrachu není dobré výživu zcela opomenout.

Dusík

Hrách je velmi dobře schopen osvojovat si živiny ze staré půdní síly. Důležité je tedy nejen jeho zařazení v osevním postupu, ale i celková úroveň hnojení zejména dusíkem. Při hnojení je tudíž třeba respektovat několik zvláštností. Vyšší dávky dusíku vedou ke snížení tvorby hlízek, a tím zpomalují příjem dusíku ze vzduchu. Náhrada fixace vzdušného dusíku dusíkem z průmyslových hnojiv není nikdy ekvivalentním opatřením ani z hlediska výnosu, ani z hlediska následného vlivu na půdní úrodnost. Proto je ideální zařazovat hrách do třetí tratě po organicky hnojených plodinách. Přestože je již v úvodu zmíněno, že je hrách vůči půdním podmínkám do jisté míry značně plastický, je třeba zajišťovat optimální rozmezí pH 6,2 – 7. Hodnota pH totiž ovlivňuje aktivitu hlízek. Při poklesu pH pod uvedené rozmezí je vhodné vápnit například mletým vápencem, hrách ale snáší i přímé vápnění. Některé zdroje upozorňují na možnost prodloužené doby vaření v případech použití semen pro potravinářské účely. Vaněk a kol. (2016) uvádí, že hlízkové bakterie kryjí za příznivých podmínek z 80 - 85 % celkovou potřebu dusíku rostlin. Jako hlavní předpoklad efektivního pěstování bobovitých rostlin udává vytvořením vhodných podmínek pro rozvoj a aktivitu rhizobií. Před základním hnojením dusíkem je optimální zjistit stav N-min v půdě a teprve poté rozhodnout, zda je vůbec nutné dodávat před setím základní dávku hnojiva. Pokud byl hrách zvolen jako následná plodina po hnojených okopaninách na úrodné půdě, je možné dusíkaté hnojení vypustit. Výživa hrachu dusíkem je tedy nutná jen v případech velmi nízkého obsahu minerálního dusíku po sklizni předplodiny, špatné nodulaci, často se využívá pro nastartování její tvorby a růstu hrachu v počátečním období. Další hnojení dusíkem se obvykle jeví jako neefektivní či dokonce neekonomické. Vyšší obsah dusíku v půdě prodlužuje kvetení, tím celou vegetační dobu hrachu, ztěžuje převod živin do semen a dozrávání a snižuje odolnost proti poléhání a chorobám. Přihnojování dusíkem se tedy u porostů hrachu příliš neosvědčilo. Otázkou tedy zůstává, zda je vůbec účelné hnojit bobovité rostliny dusíkem.

Draslík

Zásoba draslíku v půdách je většinou dostačující. Důležitost, kterou je potřeba brát v potaz, je poměr mezi draslíkem a hořčíkem. Při vyšším obsahu hořčíku hrozí omezení příjmu draslíku. Na základě rozboru půdy je možné aplikovat draslík v podobě například síranu draselného nebo NPK. Na vytvoření jedné tuny semen a slámy je u běžných luskovin včetně hrachu potřeba přibližně 20 kg draslíku.

Hořčík

Literatura uvádí spotřebu hořčíku okolo 3,5 kg na tvorbu 1 t zrna a odpovídajícího množství slámy Vaněk a kol. (2016). Deficience Mg se na rostlinách projevuje zvláště na kyselejších písčitých půdách s nízkým obsahem vápníku a hořčíku. Symptomem je chloróza listů mezi žilnatinou. Tzv. intervenální chloróza starších listů se díky poměrně dobré schopnosti reutilizace objevuje později, postupně se mění na nekrotické světle hnědé skvrny. Pro přihnojení luskovin hořčíkem je možné využít více způsobů. Hořčík lze do půdy částečně dodávat formou dolomitických vápenců až dolomitů již v rámci vápnění půdy. Čistě hořečnatých hnojiv je málo, hořčík se většinou vyskytuje jako součást jiných hnojiv (LAD, Dumag, MgN-sol, Patentkali, Kainit). Před setím je možné aplikovat například hořečnaté hnojivo Kieserit, roztok hořké soli je vhodný pro přihnojení na list během vegetace.

Stimulace hrachu

Porosty hrachu je vhodné stimulovat jak během vegetace, tak pomocí moření osiva před jeho výsevem. Hrách velmi dobře reaguje na stimulanty na bázi směsí huminových kyselin a fulvokyselin, které mohou navíc být obohaceny o auxiny, popřípadě mikroprvky. Tyto stimulanty obvykle podporují tvorbu a pevnost pletiv a rostliny jsou tak odolnější vůči stresu a celkově robustnější. Výhodou těchto stimulantů je obecně podpora obsahu fotosynteticky aktivních barviv (tzv. green efekt), čímž zvyšují produkční schopnosti rostlin. Tyto látky je obecně nejvhodnější aplikovat do přechodu mezi vegetativní a generativní fází vývoje, tedy do počátku prodlužovacího růstu, maximálně počátku květu, neboť aplikace v pozdějších fázích již může zbytečně protáhnout vegetaci a hrách bude při dozrávání náchylný na napadení chorobami a škůdci. Další vhodnou skupinou látek jsou stimulanty na bázi výtažků z mořských řas, které mají kromě výše popsaných vlastností humátů i částečnou antifungální aktivitu. Využít lze celou řadu dalších stimulačních látek, kterých je na trhu nepřeberné množství. Z prováděných pokusů je evidentní, že všechny tyto látky mají pozitivní efekt na porosty hrachu, zvláště ve stresových podmínkách, avšak je třeba mít na paměti ekonomičnost dané aplikace.

Ochrana proti škodlivým činitelům

Regulace zaplevelení

Hrách setý je poměrně vysoce citlivý na konkurenci plevelů. Základem systému regulace plevelů v porostech hrachu je systém zpracování půdy a kvalita zasetí. Vzhledem k tomu, že je pěstován v různých podmínkách, je vystaven konkurenci relativně širokého spektra vytrvalých i jednoletých plevelů. Použití herbicidů je stále relativně bohaté, co do možností, a proto je možné poměrně účinně řešit většinu plevelných druhů, avšak se zvyšujícím se celospolečenským tlakem na používání pesticidů obecně i zde účinných látek ubývá. Plevelé způsobují v porostech hrachu snižování výnosu semene až 90 %. Spektrum jednoletých plevelů tvoří např. laskavce, merlíky, lebedy, ježatka kuří noha, penízek rolní, oves hluchý, svízel přítula, heřmánkovité plevele a celé spektrum plevelů tzv. spodního patra. Z vytrvalých plevelů jsou to zejména pcháč oset a pýr plazivý.

Nároky na regulaci plevelů jsou výrazně odlišné pro porosty jednodruhové a pro porosty sloužící ke krmným účelům. U porostů LOS, které slouží jako krmivo pro hospodářská zvířata, není běžně prováděna žádná ochrana. Oproti tomu u porostů jednodruhových, které jsou dále využívány pro potravinářský průmysl nebo množitelské účely je regulace plevelů nutná. Ochranu lze provádět mechanicky (vláčení, prutovými branami) nebo chemicky (použití herbicidů). Obě tyto metody regulace lze kombinovat. V porostech hrachu setého lze použít herbicidy preemergentní i postemergentní. Termín aplikace preemergentních herbicidů proti jednoletým dvouděložným plevelům je maximálně tři dny po zasetí. Při pozdější aplikaci hrozí nebezpečí fytotoxicity vůči hrachu. Preemergentní ošetření herbicidy by mělo být použito zejména tam, kde je očekáváno invazivnější zaplevelení zejména jednoletými plevele. Na plevele se využívá postemergentních herbicidů, a to obvykle do výšky hrachu 5–15 cm. Pozemky, kde je plánované pěstování hrachu, je rovněž vhodné odplevelit chemicky neselektivními herbicidy již v meziorostním období, kdy se jedná o levné a efektivní odplevelení. Z důvodů ubývání registrovaných přípravků proti plevelům je vhodné se zabývat i založením porostů do širších řádků, které dávají možnost porosty hrachu plečkovat před zapojením porostu. V případě mechanické kultivace je výhodnější využití plečky v širším sponu hrachu (meziřádková vzdálenost alespoň 25 cm, ne však větší než 45 cm) oproti použití plecích (prutových) bran, které porosty hrachu značně poškozují.

Škůdci

Nejvýznamnějším škůdcem hrachu setého je listopas čárkovaný (*Sitona lineatus*). Dospělci brouků listopasů se v hrachu vyskytují již od začátku vegetace. Z časového hlediska se tedy jedná o první škůdce, kteří mohou být na hrachu spatřeni. Vyznačují se typicky svým boč-

ním žírem, který má polokruhovitý tvar výkusu na listech a palistech. Dospělci listopasů jsou velmi plaší a při vyrušení padají k zemi, přestanou se pohybovat a stanou se tak klidně na několik minut neviditelnými. Pro zjištění množství brouků je proto nutné několik minut setrvat v klidu, než se brouci opět aktivují. Brouci listopasů působí škody pouze na vzházejících rostlinách. V případě potřeby je možno ošetřit rostliny registrovanými insekticidy.

Dalším významným škůdcem, který dlouhodobě negativně ovlivňuje porosty hrachu v ČR a způsobuje zejména v posledních letech nezanedbatelné škody nadzemních částí luskovin je kyjatka hrachová (*Acyrtosiphon pisum*). Dospělci škodí sáním ve velkých koloniích na vrcholcích rostlin, listech a výhonech. Posátá pletiva se deformují a žloutnou, mladé plody a květy opadávají. Je i významným přenašečem viróz. Na hrachu přenáší např. výrustkovou mozaiku hrachu nebo obecnou mozaiku.

V letech se suchým a teplým jarem je pozorován početnější výskyt malého a nenápadného škůdce – trásněnky hrachové (*Kakothrips pisivorus*). Generativní orgány – květy, poupata a mladé lusky jsou poškozovány sáním, a to jak od larev, tak od dospělých jedinců. Napadené rostliny zasychají a opadávají. Na postižených místech zanechávají stříbřité lesklé skvrny s tmavými kupkami trusu (Houba et al., 2009).

V době květu hrachu klade samička zrnokaze hrachového (*Bruchus pisorum*) svá jantarově žlutá vajíčka na mladé lusky. Vylíhlá larva se skrytě vyvíjí uvnitř semena hrachu, který zevnitř vyžírá (obrázek 79). V jednom semeni žije vždy jedna bělavá larva s tmavou hlavou. Larvy se kuklí uvnitř, brouk v něm přezimuje a jako dospělec opouští semeno často ve skladu již v zimním období. Typickým znakem poškození je otvor, který v semeni zanechá.



Obrázek 88: Semena hrachu setého poškozená zrnokazem (foto Procházka).

Choroby

Porost hrachu může být napaden již v prvních fázích vývoje již při vzcházení, a to půdními patogeny. Ty způsobují odumírání vzcházejících rostlin. Za toto onemocnění může často *Aphanomyces euteiches*, *Pythium* nebo *Rhizoctonia*. Včasné a kvalitní zpracování půdy spolu s včasným výsevkem do nepřemokřené půdy a správně zvolené hloubky je základním prvkem preventivního ochranného opatření. Neméně důležité je dodržení střídání plodin na pozemku, u hrachu je to 4-6 let. Dalším důležitým prvkem ochrany hrachu proti chorobám v počátečních fázích růstu je fungicidní moření.

K ekonomicky nejzávažnějším chorobám hrachu patří kromě komplexu virových onemocnění komplex kořenových a krčkových hnilob. Největší výnosové ztráty způsobují z komplexu viróz např. výrůstková mozaika hrachu (PEMV), virus mozaiky svinování listů (PLRMV), žlutá fazolová mozaika (BYMV), obecná hrachová mozaika (PMV). Všechny tyto virózy se projevují obvykle barevnými a morfologickými změnami. Virózy jsou většinou přenášeny hmyzem (mšicemi, kyjatka), popřípadě osivem. Základní ochranou proti houbovým chorobám je zdravé osivo, mořené proti chorobám přenosným osivem. Kořenové hniloby způsobují půdní oomycety (*Pythium ultimum*, *Pythium sp.* a *Aphanomyces euteiches*). Oospóry přežívají v půdě 6-9 let, napadají kořenovou kůru a způsobují postupné odumírání kořenů. Významné výnosové ztráty způsobují také houby rodu *Fusarium* (Sharma et al., 1998). Ty způsobují fuzariózu hrachu (*Fusarium oxysporum* f. sp. *pisi*), která má za následek vadnutí a usychání hrachu. Příznaky kořenových hnilob fuzarióz se objevují v průběhu května. Na přelomu května a června se v porostech hrachu začíná objevovat napadení houbami. To vyvolává skvrnitost listů, stonků a lusků (*Ascochyta pisi*, *Mycosphaerella pinodes*, *Phoma medicaginis* var. *Pinodella*) a při napadení je vhodné porosty hrachu ošetřit fungicidem. Výše zmíněná stimulace hrachu často napomáhá zvýšení obranyschopnosti rostlin vůči houbovým chorobám.

Sklizeň hrachu

Vhodný termín sklizně je jednou z rozhodujících fází pěstování. Vzhledem k poléhání porostu, nerovnoměrnému dozrávání, sklonu k pukání lusků je volba termínu a použití vhodné techniky složitější než například u obilnin. Pro sklizeň hrachu se používají klasické obilní mlátičky. Všechny u nás pěstované odrůdy hrachu dozrávají v našich podmínkách v průběhu hlavní sklizňové sezóny, čímž odpadá problematika ukončení vegetace chemicky, které je u některých luskovin nutné, avšak v ČR z hlediska legislativy dosti problematické. Desikace porostů hrachu navíc není vhodná ani z hlediska ekonomiky, neboť tento dodatečný vstup celou technologii ještě více prodražuje. Legálně lze pro desikaci hrachu použít pouze DAM 390 se smáčedlem, popřípadě neselektivní herbicidy na bázi přírodních látek, které jsou však velmi nákladné a cena aplikace se pohybuje přes 5000,- Kč na hektar. Vzhledem k faktu, že většina odrůd hrachu je náchylných k poléhání, zejména v důsledku povětrnostních podmí-

nek v průběhu tvorby lusků, které se u hrachu tvoří v horní třetině rostliny a působí jako „páka“, je nutné porosty hrachu sklízet přednostně, jakmile jsou zralé. Výhodné je z hlediska sklizně využití úponkových (semi-leafless), neboť tyto odrůdy jsou vůči poléhání do určité míry odolné. V současné době je úponkových odrůd hrachu na našem trhu relativně velké množství, oproti klasickým listovým odrůdám.

Pro sklizeň hrachu je vzhledem k výše zmíněné problematice poléhání vhodné využívat přednostně sklízecí mlátičky s flexibilním žacím adaptérem, jako je například MacDon Flex draper, John Deer Flex draper, nebo Class Convio flex. Tyto flexibilní adaptéry (obrázek 89) umožní při správném nastavení docílit velmi nízkého strniště a téměř naprostou eliminaci ztrát.



Obrázek 89: Flexibilní adaptér MacDon Flex draper vhodný pro sklizeň hrachu (foto Procházka).

Pokud má pěstitel možnost výběru typu pohonu sklízecí mlátičky, je vhodné flexibilní lištu kombinovat s pásovým pohonem předních kol. Pásky lépe kopírují terénní nerovnosti a vhodně doplňují kopírovací schopnosti flexibilní lišty (obrázek 90). Nutným předpokladem pro kvalitní a bezztrátovou sklizeň je pečlivá předsetová příprava – dokonalé urovnění pozemku a například i sběr kamene. Předčasný termín sklizně může vést ke snížení výnosu, špatné jakosti



Obrázek 90: Pásový pohon sklízecí mlátičky v kombinaci s flexibilní lištou (foto Procházka).

semen nebo ke zvýšení nákladů na posklizňové ošetření. Naopak při opožděné sklizni dochází k poklesu výnosu kvůli rychle narůstajícím sklizňovým ztrátám. Na kvalitu výmlatu mají vliv otáčky bubnu, které je nutné snížit na minimum dle propozic daného stroje ve vztahu ke sklizni hrachu. Mezera mezi košem a mláticím bubnem by měla být 25-34 mm na vstupu a 14-18 mm na výstupu. Důležité je správné nastavení čistícího ústrojí, které by mělo být odpovídající velikosti semen. Kvalitu sklizně ovlivňuje i průchodnost a množství hmoty, které je v mláticím ústrojí. Obecně platí, že čím víc hmoty, tím je poškození semen menší. Tomuto faktoru je tudíž nutné přizpůsobit rychlost jízdy sklízecí mlátičky.

Optimální vlhkost semen pro sklizeň je mírně pod 15 %, kdy jednak není semena nutné po sklizni dosoušet a jednak nedochází při mlácení k jejich pülání. Zvláště důležité je pečlivé nastavení mlátičky a dodržení optimální vlhkosti u semenářských porostů, aby nedocházelo při sklizni ke zhoršení vitality semen. Nešetrná sklizeň je u hrachu jeden z limitujících faktorů vitality semen. Pokud je nutné sklizeň semenářských porostů dosoušet, měl by být použitý co nejstudenější vzduch, neboť vyšší teploty sušení výrazně snižují vitalitu semen. Pokud sklízecí mlátička umožňuje regulaci proudu materiálu za drtičem, je vhodné rozptýl posklizňových zbytků regulovat tak, aby byl rozptýlen po celém záběru adaptéru, avšak nepřehazoval rozdrčené zbytky do neskližené sóji. Při velmi zralém a suchém porostu by mohlo docházet k vylušťování lusků v ještě neskliženém porostu, neboť posklizňové zbytky stonků jsou poměrně tvrdé a při rozptýlení za drtičem mají velkou energii.

Potravinářské využití hrachu

Kromě svého historického a agronomického významu si hrách v posledních desetiletích získává rostoucí pozornost i v souvislosti s výživou a zdravím. Konzumuje se v čerstvé i suché formě, je výborným zdrojem rostlinných bílkovin a nachází uplatnění ve stále širším spektru potravinářských výrobků, od mražených a konzervovaných produktů po hrachovou mouku a proteinové izoláty. Jeho nutriční profil je spojován s příznivými účinky na lidské zdraví, včetně prevence obezity, kardiovaskulárních chorob a některých typů nádorových onemocnění.

Hrách se tak v současnosti stává nejen tradiční základní plodinou, ale i perspektivní funkční potravinou, která spojuje agronomické, nutriční a zdravotní přínosy a odpovídá výzvám moderní udržitelné výživy.

Chemické složení a výživová hodnota

Chemické složení hrachu je značně variabilní a závisí na odrůdě, stupni zralosti i podmínkách prostředí, v nichž je plodina pěstována. Tato variabilita odráží široké možnosti šlechtění a zpracování hrachu a zároveň podmiňuje jeho nutriční hodnotu.

Bílkoviny a aminokyselinové složení

Hrách je cenným zdrojem rostlinných bílkovin. Jejich obsah se pohybuje v rozmezí 15,6–34,1 % sušiny, přičemž vyšší hodnoty dosahují zejména odrůdy s vrásčitými semeny. Takto vysoký obsah řadí hrách mezi významné bílkovinné plodiny, využívané nejen v lidské výživě, ale i v krmivářství. Bílkoviny hrachu jsou charakterizovány příznivým aminokyselinovým profilem, i když limitujícím faktorem je nižší obsah methioninu.

Bílkoviny hrachu se dělí na několik frakcí, které se liší nutriční hodnotou i technologickými vlastnostmi. Legumin (11S globulin) je zásobní bílkovina bohatá na síru obsahující aminokyseliny, zejména methionin a cystein. Tyto aminokyseliny jsou nezbytné pro syntézu proteinů a správné fungování metabolismu, a jejich přítomnost zvyšuje biologickou hodnotu bílkovin hrachu. Vicilin (7S globulin) představuje dominantní proteinovou složku semen, avšak je nutričně méně hodnotný než legumin, protože obsahuje nižší podíl síru obsahujících aminokyselin. Jeho množství však zásadně ovlivňuje celkový proteinový profil hrachu.

Albuminy tvoří přibližně 20–35 % extrahovatelných bílkovin a vyznačují se příznivějším aminokyselinovým složením než globuliny. Obsahují vyšší podíl esenciálních aminokyselin a významně přispívají ke zlepšení nutriční hodnoty hrachu. Prolaminy a gluteliny jsou zastoupeny pouze v menší míře. Přestože přispívají k celkovému proteinovému spektru, jejich nutriční význam je méně zásadní než u hlavních frakcí, jako jsou globuliny a albuminy.

Hrách je ceněn zejména pro svůj vysoký obsah lysinu, aminokyseliny často deficitní v obilovinách. Díky tomu je vhodným doplňkem obilné stravy a zvyšuje její biologickou hodnotu. Limitující aminokyselinou v hrachu je naopak methionin, jehož nízký obsah snižuje celkovou kvalitu proteinu. Tento nedostatek lze částečně vyrovnat suplementací methioninem nebo kombinací hrachu s jinými potravinovými zdroji bílkovin, například s obilovinami.

Obsah ostatních esenciálních aminokyselin, jako je leucin, isoleucin, valin nebo fenylalanin, je v hrachu relativně vyrovnaný a přispívá k jeho nutriční hodnotě. Přítomnost cysteinu a tryptofanu v nižším množství představuje další faktor, který je třeba zohlednit při hodnocení kvality proteinu.

Bílkoviny hrachu mají kromě nutriční hodnoty také technologický význam. Díky svým funkčním vlastnostem, jako je schopnost vázat vodu, emulgační a pěnotvorná kapacita či gelotvorné vlastnosti, se uplatňují při výrobě proteinových izolátů a koncentrátů, které nacházejí široké využití v potravinářském průmyslu.

Z hlediska krmivářství představují bílkoviny hrachu vyvážený zdroj živin, který je ceněn zejména pro vysoký obsah lysinu. Využitelnost bílkovin je však ovlivněna přítomností anti-nutričních látek, jejichž účinek lze omezit vhodnou tepelnou úpravou.

Tuky

Obsah lipidů v semenech hrachu je poměrně nízký, 0,8–6,1 % sušiny, a proto je hrách řazen mezi potraviny s nízkým obsahem tuku. Přítomné lipidy jsou však nutričně významné, protože ve složení převládají polynenasycené mastné kyseliny, které tvoří přibližně 42,01–60,68 % z celkového obsahu mastných kyselin. Podíl mononenasycených mastných kyselin je relativně nízký a pohybuje se v rozmezí 17,46–24,95 %.

Hlavními mastnými kyselinami v hrachu jsou kyselina palmitová 12,39–19,24 %, kyselina linolová 34,56–47,74 % a kyselina linolenová 7,37–12,55 %. Tyto složky jsou z hlediska výživy významné, kyselina linolová a linolenová patří mezi esenciální mastné kyseliny, které lidský organismus nedokáže syntetizovat.

Sacharidy

Sacharidy tvoří největší podíl hmotnosti hrachu, obvykle 56–78 % sušiny. Dominantní složkou je škrob, jehož obsah se pohybuje mezi 21–60 %. Škrob hraje významnou roli nejen jako zdroj energie, ale i jako surovina se specifickými funkčními vlastnostmi v potravinářském průmyslu. Vedle škrobu obsahuje hrách také oligosacharidy, zejména rafinózu, stachyózu a verbaskózu. Tyto látky jsou spojovány s nižší stravitelností a tvorbou plynů, ale zároveň působí jako prebiotika, tedy látky pozitivně ovlivňující složení střevní mikrobioty a zdraví trávicího traktu.

Vláknina

Vláknina stravy představuje výživově významnou složku hrachu. Koncentruje se především v osemení, kde její obsah dosahuje 1,1–9,9 % sušiny. Vedle semen jsou cenným, avšak často opomíjeným zdrojem vlákniny také vnější lusky, které tvoří přibližně 40 % čerstvé hmotnosti hrachu. Přestože bývají považovány za odpadní materiál, obsahují až 58,6 % vlákniny, 10,8 % bílkovin a významné množství minerálních látek, jako je draslík a železo, a rovněž karotenoidy. Recyklace lusků by tak mohla přispět ke snížení ztrát biomasy a zároveň zlepšit výživovou hodnotu potravinářských výrobků.

Vláknina hraje zásadní roli v podpoře zdravého trávení a ovlivňuje složení střevní mikrobioty. Působí jako prebiotikum, podporuje růst prospěšných střevních bakterií a podílí se na produkci krátkořetězcových mastných kyselin, které mají příznivý vliv na metabolické zdraví, imunitní funkce a integritu střevní bariéry. Konzumace dostatečného množství vlákniny přispívá k prevenci obezity, diabetu 2. typu a kardiovaskulárních onemocnění.

Minerální látky a vitaminy

Hrách představuje cenný zdroj minerálních látek a vitaminů, které významně přispívají k jeho nutriční hodnotě. Obsah těchto mikronutrientů je ovlivněn jak genetickými faktory (odrůda, barva osemení), tak i podmínkami pěstování a technologickým zpracováním.

Minerální látky

Z minerálních látek je hrách bohatý především na draslík, fosfor, hořčík, železo a zinek. Draslík a hořčík hrají zásadní roli při regulaci krevního tlaku a činnosti svalů, fosfor je klíčový pro energetický metabolismus a mineralizaci kostí.

Zvláštní pozornost si zaslouží obsah železa, které je nezbytné pro tvorbu hemoglobinu a prevenci anémie. Jeho biologická dostupnost je však výrazně ovlivněna přítomností kyseliny fytové, která snižuje vstřebávání železa vazbou na nerozpustné komplexy. Tento problém se netýká pouze hrachu, ale i většiny luštěnin a celozrnných obilovin.

Tepelná úprava, zejména vaření a tlakové vaření, může snižovat obsah některých minerálů v důsledku jejich uvolňování do vody. Nejvíce je tímto způsobem ovlivněn sodík a železo,

zatímco draslík a hořčík bývají relativně stabilní. Novější agronomické přístupy se proto zaměřují na šlechtění odrůd s nižším obsahem fytátu, případně na biofortifikaci, která má zlepšit nutriční dostupnost mikroprvků v populacích trpících jejich deficitem.

Vitaminy

Z vitaminů jsou v hrachu nejvíce zastoupeny vitaminy skupiny B, především thiamin (B1), riboflavin (B2) a niacin (B3). Tyto látky se podílejí na energetickém metabolismu a správném fungování nervového systému.

Hrách je také zdrojem vitamínu C, jehož obsah se pohybuje mezi 22–295 mg/kg. Vitamin C je silný antioxidant a podílí se na syntéze kolagenu, vstřebávání železa a posílení imunitního systému. Klíčení hrachu významně zvyšuje jeho obsah, což z něj činí atraktivní součást čerstvých potravinářských výrobků a diet s vyšší antioxidační kapacitou.

Dalším významným antioxidantem je vitamin E, jehož množství se pohybuje mezi 22–71 mg/kg. Přispívá k ochraně buněk před oxidačním stresem a podporuje zdraví kardiovaskulárního systému. Hrách je rovněž zdrojem kyseliny listové (vitamin B9), která je nezbytná pro syntézu DNA a správný vývoj nervové soustavy.

Kombinace vysokého obsahu minerálních látek a vitaminů činí z hrachu významnou složku racionální výživy. Optimalizace technologických postupů (klíčení, fermentace, vaření) a šlechtění odrůd s vyšší biologickou dostupností mikroživin jsou perspektivními cestami, jak dále zvýšit nutriční hodnotu této tradiční plodiny.

Výživová hodnota

Energetická hodnota hrachu je významným parametrem jak pro lidskou výživu, tak pro krmivářství, vyjadřuje množství energie, které organismus získá metabolickým zpracováním jeho živin. Hrubá energetická hodnota se pohybuje mezi 18,1–19,8 MJ/kg sušiny a odráží vysoký podíl sacharidů a bílkovin. Pro praxi je však důležitým ukazatelem metabolizovatelná energie, tedy energie skutečně využitelná po zohlednění ztrát při trávení, vstřebávání a metabolismu, hodnota hrachu je 12,2–16,6 MJ/kg sušiny.

Technologické zpracování může sice mírně snížit využitelnou energii v důsledku částečného odbourání sacharidů a ztrát některých těkavých látek, zároveň však zlepšuje stravitelnost bílkovin i sacharidů a snižuje obsah antinutričních látek. Výsledkem je vyšší biologická dostupnost živin a efektivnější využití energie organismem.

Celkové složení hrachu je charakterizováno kombinací vysokého obsahu bílkovin a sacharidů, nízkého množství tuku a významného podílu vlákniny. Tento profil činí hrách výživově atraktivní surovinou, která přispívá k pokrytí potřeby makroživin a současně poskytuje řadu fyziologicky aktivních složek. Možnosti širšího využití zbytkových částí rostliny, zejména lusků, podtrhují význam hrachu nejen jako tradiční luštěniny, ale i jako plodiny s perspektivou v oblasti udržitelné výroby a funkčních potravin. V krmivářství je považován za plodinu se střední energetickou hodnotou, využitelnou u prasat, drůbeže i přežvýkavců, přičemž významnou roli hraje i příznivý aminokyselinový profil, zejména vysoký obsah lysinu.

Antinutriční látky

Stejně jako jiné luštěniny obsahuje i hrách látky, které mohou negativně ovlivňovat biologickou dostupnost a využitelnost živin, zejména bílkovin a minerálních prvků. Tyto tzv. antinutriční látky či faktory mají různou povahu, od proteinů ovlivňujících stravitelnost až po fenolické látky zasahující do senzorických vlastností potravin.

Mezi nejvýznamnější patří proteázové inhibitory, konkrétně inhibitory trypsinu a chymotrypsinu, které narušují činnost trávicích enzymů a tím snižují stravitelnost bílkovin. V syrovém stavu mohou výrazně omezit využití dusíkatých látek, avšak jejich aktivita je citlivá na teplo, běžné technologické postupy, jako je vaření či pražení, účinnost těchto inhibitorů výrazně snižují a činí bílkoviny lépe dostupnými pro trávení. Další významnou skupinou jsou lektiny, které mají schopnost vázat se na sacharidové struktury střevní sliznice a mohou ovlivnit vstřebávání živin i imunitní reakce. V nadměrném množství mohou působit toxicky, avšak tepelná úprava jejich aktivitu obvykle eliminuje. Novější studie navíc naznačují i jejich potenciální bioaktivní funkce, například imunomodulační účinky.

Za nejproblematictější antinutriční látku hrachu je považována kyselina fytová (fytát), která v trávicím traktu vytváří nerozpustné komplexy s dvojmocnými kationty, zejména železem, zinkem, mědí a vápníkem, čímž snižuje jejich biologickou dostupnost. Ukázalo se, že samotná biofortifikace plodin železem nevede k dostatečnému zlepšení nutričního statusu v populacích, pokud není současně redukován obsah fytátu. Šlechtění odrůd hrachu s nízkým obsahem fytátů proto představuje účinnější strategii, která může zvýšit biologickou dostupnost železa až 2,5krát. Kromě fytátu vstřebávání železa omezují také polyfenoly, hojně zastoupené zejména u odrůd s pigmentovaným osemením. Odrůdy s nepigmentovaným osemením, obsahující nižší hladiny polyfenolů, vykazovaly až sedmkrát vyšší biologickou dostupnost železa, než odrůdy s pigmentovaným osemením. Tento poznatek potvrzuje negativní vliv polyfenolů na využitelnost minerálních látek a zdůrazňuje význam šlechtění odrůd s příznivějším složením antinutričních faktorů. Přítomnost tříslovin a fenolových kyselin může rovněž ovlivňovat senzorické vlastnosti, například hořkost a svravost.

Dalšími antinutričními látkami přítomnými v hrachu jsou oxaláty, amylázové inhibitory a hemaglutinin. Jejich obsah je obvykle nižší a většina z nich je inaktivována tepelnou úpravou, takže se v kontextu běžné konzumace nepovažují za zásadní nutriční problém.

Účinným prostředkem ke snížení obsahu antinutričních látek je aplikace technologických úprav, jako je namáčení, klíčení, vaření, pražení či tlakové vaření. Tyto procesy rozkládají nebo inaktivují proteázové inhibitory a lektiny a zároveň zčásti odbourávají fytát, čímž zlepšují vstřebávání minerálů a celkovou nutriční hodnotu hrachu.

Zajímavým poznatkem posledních let je, že některé antinutriční látky mohou vykazovat i pozitivní bioaktivní účinky. Například lektiny, saponiny či fytát jsou studovány pro svůj metabolický a fyziologický potenciál, včetně možného působení antioxidačního, protinádorového nebo imunomodulačního. Tím se tradiční pohled na antinutriční látky, jako výlučné nežádoucí složky, postupně mění a otevírá prostor pro jejich širší výzkum a cílené využití.

Bioaktivní látky a zdravotní účinky

Kromě základních makroživin obsahuje hrách celou řadu bioaktivních látek, které významně přispívají k jeho funkčním a zdravotním vlastnostem. Tyto sloučeniny vykazují antioxidační, protizánětlivé a metabolicky aktivní účinky a jejich pravidelná konzumace je spojována s prevencí civilizačních onemocnění, zejména kardiovaskulárních a nádorových.

Mezi nejvýznamnější bioaktivní složky hrachu patří saponiny, které se přirozeně vyskytují v luštěninách a vykazují povrchově aktivní vlastnosti. Prokazují hypocholesterolemické účinky, neboť váží žlučové kyseliny a podporují jejich vylučování, čímž nepřímě snižují hladinu cholesterolu v krvi. Tím přispívají k prevenci aterosklerózy a dalších kardiovaskulárních onemocnění. Zároveň se zkoumá jejich potenciální protinádorový účinek, založený na schopnosti ovlivňovat buněčnou signalizaci a indukovat apoptózu nádorových buněk.

Významnou skupinu bioaktivních látek tvoří fenolické sloučeniny, mezi nimiž převažují flavonoidy, jako je kaempferol a deriváty kvercetinu, a dále fenolové kyseliny, například kyselina gallová, p-kumarová a ferulová. Tyto látky se podílejí na antioxidační ochraně organismu, neutralizují volné radikály a snižují oxidační stres. Kondenzované třísloviny navíc ovlivňují senzorické vlastnosti hrachu, především jeho hořkost a svíravost.

Hrách je rovněž zdrojem lignanů a dalších polyfenolů, které posilují jeho antioxidační aktivitu. Tyto sloučeniny se spojují s prevencí hormonálně závislých nádorů, jako je rakovina prsu a prostaty, díky své schopnosti ovlivňovat metabolismus estrogenů a působit jako fytoestrogeny.

Díky synergickému působení bioaktivních složek, jako jsou polyfenoly, saponiny, lignany a vláknina, je hrách považován za funkční potravinu s širokým spektrem příznivých účinků na lidské zdraví. Jeho pravidelná konzumace může přispívat k ochraně před kardiovaskulárními onemocněními prostřednictvím snížení hladiny cholesterolu a krevního tlaku, a zároveň podporovat prevenci diabetu 2. typu díky modulaci glykémie a zlepšení inzulinové senzitivity. Antioxidační a protinádorové mechanismy, spojené zejména s obsahem fenolických sloučenin a saponinů, se podílejí na snížení rizika vzniku některých typů nádorových onemocnění. Bioaktivní látky hrachu rovněž vykazují ochranný účinek vůči degenerativním onemocněním spojeným se stárnutím, jako je například Alzheimerova choroba. Kombinace těchto vlastností činí z hrachu významnou složku stravy, jehož zařazení do vyváženého jídelníčku může mít dlouhodobě příznivý dopad na zdraví populace.

Alergenní potenciál hrachových proteinů

Se zvyšujícím se využíváním hrachových bílkovin v potravinářství, zejména ve formě izolátů a koncentrátů používaných v alternativách k masu a mléku, nabývá na významu otázka jejich alergenních vlastností. Přestože hrách patří mezi méně časté potravinové alergenů ve srovnání například s arašidy nebo sójou, u některých citlivých jedinců může vyvolávat alergické reakce.

Za hlavní alergenní složky hrachu jsou považovány zásobní bílkoviny Pis s 1 a Pis s 2 ze skupiny vicilinů, dále albuminy PA1 a PA2 a nespecifický lipidový transportní protein (nsLTP). Tyto proteiny mají strukturní vlastnosti umožňující vazbu na imunoglobuliny třídy IgE, což je předpokladem pro spuštění alergické reakce.

Dopad technologického zpracování na alergenní potenciál hrachových proteinů není dosud plně objasněn. Některé studie naznačují, že způsob, jakým je hrách při výrobě potravin tepelně nebo jinak upravován, může ovlivnit jeho schopnost vyvolat alergickou reakci a snížit

aktivitu bílkovin, které imunitní systém považuje za nebezpečné. Tento účinek se ale může lišit podle odrůdy hrachu i konkrétního způsobu zpracování

Dalším rizikovým faktorem je křížová reaktivita mezi hrachovými alergeny a alergeny jiných luštěnin, zejména arašídů a čočky. Za tuto reaktivitu jsou zodpovědné především vicilínové bílkoviny, které se vyskytují v různých druzích luštěnin a jejichž homologní epitopy mohou vyvolat alergickou reakci u osob citlivých na jiný zdroj.

Ačkoli je prevalence alergie na hrách celkově nižší než u jiných luštěnin, rostoucí využívání hrachových proteinů v potravinářství vyžaduje zvýšenou pozornost.

Senzorické vlastnosti a odrůdové rozdíly

Chemické složení hrachu se významně odráží v jeho senzorických vlastnostech, mezi něž patří chuť, vůně, textura i vizuální vzhled. Tyto charakteristiky ovlivňují spotřebitelskou přijatelnost a zároveň určují vhodnost jednotlivých odrůd pro různé kulinární a technologické účely. Odrůdy s vrásčitými semeny se vyznačují nižším obsahem škrobu, avšak vyšší koncentrací mastných kyselin, sacharózy a cholinu. Díky vyššímu podílu jednoduchých cukrů působí sladším dojmem a jsou oblíbené zejména v čerstvé formě. Naproti tomu odrůdy s hladkými a dolíčkovanými semeny obsahují více škrobu, ale méně cukrů, což ovlivňuje jejich chuť i technologické využití, například při výrobě mouky či krmných směsí. Bylo rovněž zjištěno, že odrůdy s vrásčitými semeny vykazují vyšší obsah nerezistentního škrobu, sacharózy, cholinu a fytátu než odrůdy hladké a dolíčkované.

Významným parametrem kvality je také barva osemení. Barva osemení hrachu nepůsobí pouze na vizuální vnímání, ale je zároveň ukazatelem chemického složení, které přímo ovlivňuje senzorické vlastnosti. Světlé odrůdy mají obvykle vyšší obsah jednoduchých cukrů, a proto jsou vnímány jako sladší a šťavnatější. Naproti tomu tmavě zbarvené odrůdy obsahují více polyfenolů, což se projevuje pevnější texturou, výraznějším aromatem a častěji také hořkostí či svíravostí. Hořkost semen navíc koreluje s kratší dobou vaření, což má praktický význam z hlediska kulinární použitelnosti.

Tyto poznatky ukazují, že pro výběr odrůd hrachu je zásadní spojení senzorického hodnocení s chemickou analýzou. Sladší a šťavnatější odrůdy jsou vhodné k přímé konzumaci, zatímco škrobové či proteinově bohatší typy nacházejí uplatnění při výrobě mouky, koncentrátů nebo krmiv. Propojení obou přístupů tak vede k optimálnímu využití hrachu v potravinářství i gastronomii.

Potravinářské využití hrachu a jeho složek

Díky svému nutričnímu složení a technologickým vlastnostem nachází hrách uplatnění v celé řadě potravinářských a krmivářských aplikací. Možnosti jeho zpracování jsou velmi široké a zahrnují jak tradiční způsoby, tak moderní postupy využívané v potravinářském průmyslu. Hrách má dlouhou tradici v lidské stravě, zejména ve formě polévek, kaší, pyré či směsí se zeleninou a obilovinami. Čerstvý hrách se konzumuje jako zelenina, zatímco suchý hrách se využívá v tepelně upravené podobě. Díky své chuti a výživové hodnotě se stal základní součástí stravy v mnoha kulturách.

V současné době je velká pozornost věnována zejména proteinovým izolátům a koncentrátům, které se uplatňují při výrobě enkapsulačních systémů pro bioaktivní látky, jedlých

filmů a obalů, extrudovaných výrobků a bezlepkových moučných směsí. Hrachový protein se zároveň stává využitelnou alternativou živočišných proteinů při vývoji rostlinných náhrad masa a mléčných produktů. Aktuální výzkum a vývoj se soustředí na rozšiřování aplikačních možností, zejména ve formě hrachových nápojů a jogurtů, výrobků z naklíčeného hrachu, produktů s přidavkem hrachové mouky, masových alternativ na bázi hrachových proteinů a inovativních obalových materiálů.

Mlýnské výrobky

Luštěninové mouky představují vhodný způsob, jak obohatit potraviny o funkční složky, zlepšit jejich nutriční hodnotu a současně zachovat technologickou i senzoryckou kvalitu. Hrachová mouka se uplatňuje při výrobě pečiva, těstovin či polévek, kde díky vysokému obsahu bílkovin a vlákniny zlepšuje nutriční profil výrobků a zvyšuje jejich sytívnost. Hrachová mouka je přirozeně bezlepková, a proto je vhodná pro celiaky a osoby trpící nesnášenlivostí lepku.

Zařazení hrachové mouky do pšeničných produktů, zejména chleba a pečiva, do 10 % nemá negativní vliv na texturu, senzorycké vlastnosti ani rychlost stárnutí, přičemž významně zvyšuje obsah bílkovin a vlákniny a snižuje rychlost trávení škrobu. Některé studie potvrzují, že kvalitní pečivo s obohaceným nutričním profilem lze vyrobit i při vyšší míře náhrady, až do 30 %. Při výrobě krekrového pečiva vedla náhrada pšeničné mouky až 40 % mouky ze žlutého či zeleného hrachu k významnému zvýšení obsahu bílkovin, vlákniny, fenolických látek i antioxidační kapacity.

Aplikační potenciál mají kromě semen také vedlejší produkty hrachu, zejména lusky, které představují zdroj vlákniny, bílkovin, polyfenolů a minerálních látek. Vývoj instantní polévkové směsi obohacené o 12,5 % prášku z hrachových lusků ukázal nejlepší senzorycké hodnocení, přičemž došlo i k výraznému zvýšení obsahu vlákniny (13,25 %), karotenoidů a chlorofylu.

Proteinové koncentráty a izoláty, rostlinné náhrady masa

Moderní technologie umožňují získávat z hrachu proteinové produkty s obsahem bílkovin až 90 %. Tyto izoláty představují alternativu k tradičním sójovým proteinům a nacházejí uplatnění při výrobě masových a mléčných náhražek, sportovní výživy či funkčních potravin. Vyznačují se příznivým aminokyselinovým profilem a dobrou stravitelností, zejména po odstranění antinutričních faktorů.

Hrachové proteinové izoláty nachází uplatnění nejen v čistě rostlinných produktech, ale také jako funkční složka v kombinaci s masem. Při přidavku do masných výrobků mohou snížit jejich tvrdost, lepivost a žvýkatelnost, čímž vznikne měkká textura vhodná zejména pro potřeby starší populace s vyššími dietními nároky na bílkoviny. Hrachové izoláty mohou vést ke zlepšení nutričního profilu masných výrobků a současně přispět i ke snížení nákladů na suroviny. Hrachové bílkovinné izoláty jsou vhodné i pro vývoj vláknitých struktur napodobujících maso.

Významnou úlohu při vývoji masových alternativ hraje také vláknina, která ovlivňuje texturu a šťavnatost. Hrachová vláknina byla úspěšně testována jako částečná náhrada masa s cílem snížit cenu výrobku nebo tuku pro vývoj zdravějších receptur. Hrachový škrob a vláknina byly dále testovány jako náhrada pšeničné strouhanky.

Hrachové bílkoviny, škroby a vláknina tedy mají značný potenciál jako suroviny pro částečnou náhradu masa či tuku v masných výrobcích i pro tvorbu plnohodnotných rostlinných alternativ masa, přičemž zachovávají nutriční hodnotu, technologické parametry a senzorické vlastnosti výrobků.

Hrachové nápoje a jogurty

Rostlinné nápoje nahrazující mléko se v posledních letech staly populární součástí výživy díky vysoké nutriční hodnotě a příznivým zdravotním účinkům. Hrách může být využit k přípravě nápojů přímým namáčením semen a jejich homogenizací s vodou. Jeho širší aplikaci však omezuje typická luštěninová a trávová příchut, která vzniká zejména působením těkavých aldehydů (např. hexanal, nonanal) a alkoholů (hexanol). Zkoumají se tedy možnosti redukce těchto nežádoucích senzorických projevů.

Další perspektivní využití představuje fermentace. Při vývoji probiotických nápojů se ukazuje, že fermentace laktobacily zvyšuje biologickou hodnotu bílkovin. Rostlinné jogurty, vyráběné bez použití mléka, získávají celosvětově rostoucí oblibu a hrách představuje perspektivní surovinu pro jejich výrobu. Hrachový nápoj lze snadno fermentovat pomocí bakterií mléčného kvašení, čímž vznikají jogurtové produkty. Kvalitu jogurtů na bázi hrachového nápoje významně ovlivňuje i způsob jeho předúpravy. Limitující u rostlinných jogurtů je nižší obsah bílkovin ve srovnání s mléčnými produkty a problémy s texturou způsobené delší fermentací. Aby bylo možné plně pokrýt nutriční potřeby spotřebitelů, doporučuje se fortifikace hrachových nápojů a jogurtů o živiny ztracené během zpracování.

Klíčené produkty z hrachu

Hrách může být využíván také v méně zpracované formě, například jako klíčky nebo mikrogreens. Proces klíčení je široce aplikován u jedlých semen, protože zlepšuje jejich fytochemické složení a biologické funkce. Hrachové klíčky jsou bohatým zdrojem minerálních látek a polyfenolických sloučenin. Aktivace enzymu fytázy během klíčení vede k degradaci fytátu, což zvyšuje biologickou dostupnost a využitelnost minerálů. Současně dochází k redukci oligosacharidů způsobujících nadýmání. Další perspektivou je biofortifikace klíčků esenciálními prvky, která zvyšuje jejich nutriční hodnotu, byly vyvinuty klíčky hrachu obohacené o selen, jód či zinek.

Enkapsulační systémy a obalové materiály

Hrachové proteiny nacházejí uplatnění jako účinné enkapsulační systémy i jako surovina pro výrobu obalových materiálů. V posledních letech byly intenzivně studovány jejich emulgační a enkapsulační vlastnosti, zejména při využití jako nosiče bioaktivních látek pro cílené doručování bioaktivních látek v potravinářských aplikacích.

Bílkoviny se také využívají k výrobě jedlých i nejedlých filmů a povlaků. Hrachové bílkoviny se v tomto směru osvědčily jako materiál s vysokou kyslíkovou bariérou, avšak s vyšší propustností pro vodní páru kvůli své hydrofilní povaze. Také hrachový škrob lze využít jako obnovitelnou surovinu pro výrobu biodegradabilních filmů.

Pícní využití hrachu

Využití hrachu pro produkci píce představuje v ČR jeden z tradičních způsobů jeho pěstování, ačkoliv převažuje pěstování pro produkci semen. Hrách patří mezi jednoleté bílkovinné pícniny, které mají vždy poněkud specifické uplatnění, neboť náklady na tunu sušiny jsou při jedné sklizni za dobu pěstování logicky vždy vyšší než u víceletých jetelovin či jejich směsí s travami, kde se porosty zakládají na více let, ročně poskytují několik sečí a jejich průměrný celkový roční výnos se pohybuje kolem 15 tun sušiny na hektar (Hakl a kol. 2019). Pícninářské využití hrachu je limitováno především vyššími náklady na založení porostu, náchylností k suchu a spíše průměrným výnosem píce ve srovnání s obilninami, přibližně v rozmezí 4–7 tun sušiny na hektar, v závislosti na termínu sklizně. Za hlavní benefity jeho pěstování lze považovat excelentní nutriční hodnotu sklizené píce, fixaci vzdušného dusíku, pozitivní vliv na půdní úrodnost, flexibilitu v osevním postupu, přerušení obilního osevního sledu a možnost získat dotaci na pěstování bílkovinných plodin.

Pěstování samotného hrachu či jeho směsek na píci je při jarních termínech výsevu spíše nouzové opatření při nedostatku krmiv, ale patrně nejběžnější způsob pícního využití představuje využití hrachu jako krycí plodiny při zakládání porostů víceletých pícnin. Hrách je pro jeteloviny vhodná krycí plodina, neboť má vysokou nutriční hodnotu píce na úrovni samotných jetelovin a oproti obilovinám roste pomaleji, čímž méně konkuruje vyvíjející se jetelovině. Nevýhodou jsou vyšší náklady na založení porostu dané cenou a množstvím potřebného osiva. Vyšší potřeba vody na klíčení velkých semen za sucha zhoršuje vzházení, s čímž následně souvisí i větší riziko zaplevelení, které může negativně ovlivnit kvalitu sklizené píce. Hrách s jetelovinami rovněž sdílí stejné škůdce, a to především listopasy a mšice. Nejvíce škodí listopasi, kdy dospělci poškozují žírem vzházející rostliny a jejich larvy poškozují kořenový systém.

Při využití hrachu jako krycí plodiny se doporučuje výsevek od 0,6 do 1 MKS (v průměru 50–70 rostlin na m²), přičemž 100 rostlin na m² ve vláhově příznivém roce na úrodných půdách již může i potlačovat jetelovinu. Zvolený výsevek souvisí i s plánováním termínu sklizně, přičemž čím dříve je sklizeň plánována, tím vyšší výsevek lze využít. Z hlediska rozvoje podsevu se tak doporučuje pro předpokládaný pozdější termín seče výsevek snížit. Náklady na osivo mohou být rovněž sníženy výběrem odrůd s nižší HTS (Selgen, 2023). Z odrůd hrachu se doporučují především úponkové odrůdy, které jsou výrazně odolnější k poléhání a méně zastihují podsev než listové odrůdy hrachu nebo peluška. Úponkové odrůdy hrachu jsou také ranější a sklízí se dříve (Tyrolová, 2012).

Nejvhodnější termín pro sklizeň hrachu na siláž není vždy snadné určit, neboť lusky na rostlině jsou obvykle v rozdílné fázi. Obecně lze doporučit období plnění semen až po mléčné voskovou zralost, kdy se lusky začínají „krabatět“. V této době se však sušina rostlin pohybuje pouze kolem 220 g/kg, což není optimální hodnota, neboť hrozí vyšší odtok silážních šťáv. V tomto případě je nutné zvýšit délku řezanky nad 4 cm a příliš intenzivně nedusat. Také lze zvolit dvoufázovou sklizeň s krátkým zavadáním (max. 3–5 hodin), která však může být problematická z důvodu znečištění zeminou a kontaminace klostridii, neboť hrách po seči

netvoří pevné strniště a někdy dochází i k vytrhávání rostlin. Při sušině pod 28 % se osvědčily chemické konzervanty, při zavádání na vyšší sušinu postačoval biologický konzervant. Obecně je ideální, když se sušina pohybuje mezi 30-35 %, zvláště při silážování do vaku. Je vhodné volit i konzervanty podporující aerobní stabilitu výsledné siláže (Homolka a kol., 2024). Problém nižší sušiny samotného hrachu může být řešen i pěstováním hrachu ve směsi s obilovinou, která zvyšuje jak hektarový výnos píce, tak i obsah sušiny až k hodnotě 300 g/kg. Z hlediska synchronizace ranosti komponent se pro úponkový hrách doporučuje směs s jarním ječmenem (50 kg/ha) s termínem sklizně na přelomu června a července. Pro odrůdy listového hrachu či pelušku pak doporučuje směs s jarní pšenicí (70 kg/ha), která se sklízí zhruba v polovině července a z důvodu poléhání není vhodná jako krycí plodina (Selgen 2023).

Hrách ale zejména ozimá peluška mohou být rovněž využity i v ozimých luskoobilných směskách. Samotná peluška zde má nižší výnos oproti ozimým obilovinám, ale má potenciál zvýšit kvalitu píce, o čemž rozhoduje především podíl luskoviny ve směsi. Výnosy těchto ozimých směsek se na začátku června mohou pohybovat i kolem 10 tun sušiny/ha, ale obvykle je snaha volit dřívější termíny sklizně a využít tyto směsky jako předplodinu pro následný výsev kukuřice nebo čiroku v systému dvou sklizní během vegetace (Hakl a kol., 2011).

Samotná nutriční hodnota hrachu je velmi vysoká, kde se stravitelnost živin pohybuje v podobných hodnotách jako u kvalitní vojtěšky, ale je vyšší než u siláže z ječmene. Určité rozdíly mohou být i mezi jednotlivými odrůdami hrachu (Mustafa a kol. 2002). Při porovnání s ostatními luskovinami se hodnoty obsahu neutrálně detergentní vlákniny (NDF) u hrachu při sklizni pohybují okolo 350 g/kg, což je hodnota podobná bobu a významně nižší než u lupiny. Obsah acidodetergentní vlákniny je u hrachu na úrovni 260 g/kg a je významně nižší než u bobu či lupiny, obsah hrubého proteinu (NL) je naopak mezi luskovinami nejvyšší a pohybuje se na úrovni 150 g/kg. Výhodou oproti jetelovinám je i omezená lignifikace, která souvisí s neschopností lodyhy udržet samostatný vzpřímený vzrůst. Obsah acidodetergentního ligninu (ADL) se tak pohybuje u hrachu kolem 50 g/kg a nedochází k jeho významnému zvýšení při oddálení termínu sklizně až do fáze ukončení plnění semen ve voskové zralosti, což zachovává výbornou nutriční hodnotu při vývoji rostliny v intervalu pro pícní využití. Aktualizované hodnoty stravitelnosti uvádějí, že hrách dosahuje při plnění lusků stravitelnosti sušiny na vysoké úrovni 750 – 800 g/kg, podobně jako ostatní luskoviny (Homolka a kol. 2024). Na užítkovost dojníc pozitivně působí i samotný přírůstek luskovinné či luskoobilné siláže do celkové krmné dávky z důvodu zvýšení příjmu sušiny a podpory mikrobiální batořové fermentace, a to zejména zvýšením obsahu rozpustné vlákniny.

Celkově lze shrnout, že pícní využití hrachu/pelušky představuje efektivní způsob pěstování, který poskytuje velmi kvalitní biomasu ke konzervaci silážováním, a to i ve srovnání s ostatními jednoletými luskovinami. Lze ho úspěšně zařadit jako krycí plodinu při zakládání víceletých pícnin, peluška pak může zvyšovat nutriční hodnotu ozimých luskoobilných směsek. Mimo produkčních parametrů nabízí rovněž řadu environmentálních benefitů, jako je například snížení spotřeby dusíkatých hnojiv při produkci píce nebo pozitivní vliv na půdu. Při využívání hrachu je však třeba zohlednit i jeho limity, vhodně volit odrůdy s ohledem na využití a termín sklizně, snažit se snížit náklady na osivo správnou volbou výsevu a HTS osiva. V neposlední řadě je vhodné vyloučit či zkrátit zavádání na pokose zajištěním dostatečné sušiny píce pro silážování při sklizni v návaznosti na použití vhodných konzervantů.

Seznam literatury

- Anken, T., Heusser, J., Weisskopf, P., Rek, J., Boller, M., Stamp, P. 2007: Mulch- und Direktsaat – Ursachen reduzierter Feldaufgänge. ART – Bericht. Ettenhausen.
- Böhm, H., Fischer, J., Aulrich, K., Kälber, K. 2017: Mais und Bohnen im Gemenge. LOP Landwirtschaft ohne Pflug. 11: 16–21.
- Bradbeer, J. W. 1988: Seed Dormancy and Germination. Blackie and Son Ltd. London. 146 s.
- Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M. 2016a: Seťové lůžko a abiotické faktory ovlivňující klíčení a vzházení. Úroda. 64 (2): 12–16.
- Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Kunte, J., Lukáš, J., 2017a: Vliv pěstební technologie na růstové parametry rostlin hrachu (*Pisum sativum* L.). In. Aktuální poznatky v pěstování, šlechtění, ochraně rostlin a zpracování produktů. – sborník z mezinárodní konference, 22. – 23. listopadu 2017. Brno. Vědecká příloha časopisu Úroda číslo 12.
- Brant, V., Nýč, M., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M. 2017b: Technologické postupy optimalizace tvorby seťového lože s využitím systémů zonálního hnojení. Certifikovaná metodika. Kurent, Praha. 108 s.
- Brant, V., Kroulík, M., Lukáš, J. 2017c: Možnosti monitoringu stavu porostů. Zemědělec. 37, 24 – 26.
- Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Vailich, J., Kroulík, M., Procházka, P., Kunte, J. 2017d: Alternativní využití luskovin (2) – Morfologická variabilita hrachu setého a rolního. Agromanuál. 12 (2): 88 – 91.
- Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Vailich, J., Kroulík, M., Procházka, P., Kunte, J. 2017e: Alternativní využití luskovin (3) – Hrách setý a rolní jako zdroj biomasy. Agromanuál. 12 (3): 131 – 133
- Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Vailich, J., Kroulík, M., Procházka, P., 2017f Alternativní využití luskovin (1) – Důvody a cíle. Agromanuál. 12 (1): 118 – 121.
- Brant, V., Kroulík, M., Pivec, J., Zábranský, P., Hakl, J., Holec, J., Kvíz, Z., Procházka, L. 2017g: Splash erosion in maize crops under conservation management in combination with shallow strip – tillage before sowing. Soil and Water Research. 12: 106–116
- Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Kroulík, M., Hofbauer, M., Kunte, J. 2017h: Morfologická variabilita meziplodin. Agromanuál. 12 (6): 108–112.
- Brant, V., Kroulík, M., Šmöger, J., Zábranský, P., Škeříková, M., Krček, V., Kunte, J. 2018a: Pěstební systémy ozimé pšenice - Systémy živého mulče. Úroda. 7: 12–14.
- Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Kroulík, M., Hofbauer, M., Nýč, M., Kunte, J. 2018b: Hrách – pomocná plodina v ozimé pšenici. Agromanuál. 7: 106–111.
- Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M., Mrázek, L., Kroulík, M., Petrásek, S., Hamouz, P., Procházka, P. 2018c: Pěstování luskovin s pomocnou plodinou. Agromanuál. 11-12: 14–16.
- Brant, V., Šmöger, J. 2019: Pěstování pšenice ozimí s pomocnou plodinou. Moje půda. 11–13.
- Brant, V., Kroulík, M., Šmöger, J., Zábranský, P., Škeříková, M., Hamouz, P., Tyšer, L. 2019a: Pomocné plodiny v pěstebních systémech polních plodin. AK ČR, Praha. 162.
- Brant, V., Šmöger, J., Slabý, J., Kroulík, M., Zábranský, P., Ryčl, D., Škeříková, M., Hofbauer, M. 2019b: Mák s podsevem jarního ječmene. Úroda. 3: 41–48.

- Brant, V., Netrval, P., Procházka, P., Kunte, J. 2021: Pěstování hrachu setého v širších řádcích. *Úroda*. 69 (6): 92-94.
- Brant, V., Netrval, P., Procházka, P., Kunte, J. 2021a: Pěstování hrachu setého v širších řádcích. *Úroda*. 69 (6): 92-94.
- Brant, V., Šmöger, J., Procházka, P., Kroulík, M., Tošovský, F. 2021b: Regulace plevelů pomocnými plodinami. *Úroda*. 6: 56-60.
- Brant, V., Eminger, V., Dreksler, J., Procházka, P., Kroulík, M., Krofta, K., Kunte, K. 2021c: Dlouhodobý pokryv půdy v meziřadí chmelnic. *Agromanuál*. 16(11-12): 83-87.
- Brant, V., Kroulík, M., Procházka, P., Dreksler, J., Krofta, K., Kunte, K., Matějka, J. 2021d: Cílené výsevy meziplodin do meziřadí chmelnice (1). *Agromanuál*. 16(2): 117-119.
- Brant, V., Kroulík, M., Procházka, P., Dreksler, J., Krofta, K., Kunte, K., Matějka, J. 2021e: Cílené výsevy meziplodin do meziřadí chmelnice (2). *Agromanuál*. 16(3): 142-145.
- Cadoux, S., Sauzet, G., Morison, M. V., Pontet, C., Champolivier, L., Robert, C., Lieven, J., Flénet, F., Mangenot, O., Fauvin, P., Landé, N. 2015: Intercropping frost-sensitive legume crops with winter oilseed rape reduces weed competition, insect damage, and improves nitrogen use efficiency. 22: 302.
- Entrup, L. N. 2013: *Handbuch Mais*. DLG Verlag, GmbH. Frankfurt am Main. 451 s.
- Epperlein, J., Schmidt, A., Fromme, B., Klarhölter, T. 2018: Leguminosen sind sicher abgefroren. *LOP Landwirtschaft ohne Pflug*. 6: 19-23.
- Farooq, M., Bajwa, A. A., Cheema, S. A., Cheema, Z. A. 2013: Application of allelopathy in crop production. *International Journal of Agriculture and Biology*. 15: 1367-1378.
- Finch, S., Kienegger, M. 1997: A behavioural study to help clarify how undersowing with clover affects host-plant selection by pest insects of brassica crops. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 84: 165-172.
- Gisi, U., Schenker, R., Stadelmann, R. S. F. X., Sticher, H. 1997: *Bodenökologie*. Georg Thieme Verlag Stuttgart. 351 s.
- Hakl J., Brant V., Mášková, K., Neckář K., Pivec J. 2011: The forage utilization of winter pea-cereal mixture in agriculture low-input system. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 49: 47 – 52.
- Hakl J., Mofidian S.M.A., Kozová, Z., Fuksa P., Šantrůček J. 2019: Estimation of lucerne yield stability for enabling effective cultivar selection under rainfed conditions. *Grass and Forage Science*, 74: 687 – 695.
- Halkier, B. A., Gershenzon, J. 2006: Biology and biochemistry of glucosinolates. *Annual Review of Plant Biology*. 57: 303-333.
- Hartge, K. H., Horn, R. 1999: *Einführung in die Bodenphysik*. F. Encke Verlag. Stuttgart. 304 s.
- Homolka P., Jančík F., Loučka R., Kubelková P., Gaislerová M., Koukolová V. 2024: Optimální způsoby sklizně a silážování hrachu, bobu a lupiny žluté. Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha. Certifikovaná metodika, ISBN: 978-80-7403-300-1.
- Houba, M., Dostálová, J., Dostálová, R., Hochman, M., Holeček, J., Hosnedl, V., Hýbl, M., Huňady, I., Ondráčková, E., Ondřej, M., Ponížil, A., Prášil, J., Seidenglanz, M., Smýkal, P., Šmirous, P., Vaculík, A., Zelený, V. 2009: *Luskoviny: pěstování a využití*. Kurent. České Budějovice. 133 s. ISBN: 978- 80-87111-19-2

- Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., Chauhan B. S. 2015: Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*. 72: 57–65.
- Klingenhagen, G. 2019: In der Summe überwiegen die Vorteile. LOP Landwirtschaft ohne Pflug. 4: 30–35.
- Lahola, J. 1990: Luskoviny-pěstování a využití. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 224 s.
- Lazarová, E., Šmardová, M., Klimešová, J., Středa, T. Vitalita semen – potenciál pro rychlé a uniformní vzejití a vývoj rostlin. In: Osivo a sadba. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019, s. 50–54. ISBN 978-80-213-2922-5.
- Mattioli, P. A. Herbář neboli bylinář. Překlad a úprava Václav Hájek z Libočan. Praha, 1596.
- Mustafa A.F., Seguin P., Quillet D.R., Adelye I. 2002: Effects of cultivars on ensiling characteristics, chemical composition, and ruminal degradability of pea silage. *Journal of Dairy Science*, 85: 3411 – 3419.
- Paul, N. 2016: Mais und Bohnen im Duett. Dlz agrarmagazin. 74–77.
- Pazderů K. Testování vitality osiv jako řešení zlepšení odolnosti porostů vůči suchu. In: Osivo a sadba. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2019, s. 19–23. ISBN 978-80-213-2922-5.
- Seidel, N., Gläser, H. 2017: Mit Begleitpflanzen den Raps unterstützen. LOP Landwirtschaft ohne Pflug. 7: 36–39.
- Selgen 2023. Pěstování hrachu na semeno a na píci. Dostupné na <https://selgen.cz/pestebni-technologie/>
- Sharma, Sushma. Seed Vigour Testing: Principles and Methods. *Agrobios Newsletter: Practical Gardening* [online]. 2018: 2(17), 80-82 [cit. 2019-04-11]. ISSN 972-7027X. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326255175_Seed_Vigour_Testing_Principles_and_Methods
- Theunissen, J., Booij, C. J. H., Lotz, L. A. P. 1995: Effects of intercropping white cabbage with clovers on pest infestation and yield. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. 74: 7–16.
- Tyrolová Y. 2012: Silážování hrachu. Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha. Certifikovaná metodika, ISBN: 978-80-7403-103-8.
- ÚKZUZ. Metodika zkoušení osiva a sadby. Praha: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, odbor osiva a sadby, 2017.
- Vaněk, V., Balík, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2016. Výživa a hnojení polních plodin. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-79-3.
- Vopravil, J., Brant, V., Kroulík, M., Kabelka, D., Krofta, K., Dreksler, J., Procházka, P., Kincl, D., Zábranský, P. 2022: Optimalizace zpracování půdy ve chmelnicích za účelem podpory infiltrace vody a ochrany půdy před degradačními procesy. Certifikovaná metodika. VÚMOP, v.v.i. Praha.
- Weston, L. A., Alsaadawi, I. S., Baerson, S. R. 2013: Sorghum allelopathy from ecosystem to molecule. *Journal of Chemical Ecology*. 39: 142–153.

Hrách setý

Pavel Procházka, Václav Brant, Josef Holec,
Lucie Jurkaninová, Josef Hakl,
Jiří Holejšovský, Jiří Dreksler



Autorský kolektiv:
Ing. Pavel Procházka, Ph.D.

Autoři:

Ing. Pavel Procházka, Ph.D.,
Česká zemědělská univerzita v Praze, Centrum precizního zemědělství při ČZU

Doc. Ing. Václav Brant, Ph.D.,
Agriculture Technology Environment Economics Consulting,
Centrum precizního zemědělství při ČZU

Ing. Jiří Dreksler
Česká zemědělská univerzita v Praze, Centrum precizního zemědělství při ČZU

Prof. Ing. Josef Hakl, Ph.D.,
Česká zemědělská univerzita v Praze, Centrum precizního zemědělství při ČZU

Ing. Josef Holec, Ph.D.,
Česká zemědělská univerzita v Praze, Centrum precizního zemědělství při ČZU

Ing. Jiří Holejšovský
Česká zemědělská univerzita v Praze, Centrum precizního zemědělství při ČZU

Ing. et Ing. Lucie Jurkaninová Ph.D.
Česká zemědělská univerzita v Praze, Katedra kvality a bezpečnosti potravin

Autoři fotografií:
Václav Brant, Josef Holec, Pavel Procházka,
Jiří Holejšovský, Jiří Dreksler, Josef Chára

ISBN - 978-80-88351-30-6

VYDALA:

Agrární komora České republiky

Počernická 272/96, 108 00 Praha 10

Tel.: +420 296 411 180

e-mail: sekretariat@akcr.cz

www.akcr.cz, www.eagri.cz

