



Agrotest fyto, s.r.o.
Mendelova univerzita v Brně



Využití diagnostických metod pro rozhodovací procesy v pěstební technologii jarního ječmene



Kroměříž, Brno, 2011

Zpracovali:

Ing. Karel Klem, Ph.D.

Dr. Ing. Luděk Hřivna

doc. Ing. Pavel Ryant, Ph.D.

Ing. Petr Míša, Ph.D.

Oponenti:

Ing. Jan Hrubý, CSc. (Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r.o.)

Ing. František Kůst (ministerstvo zemědělství ČR)

Abstrakt

Metodika je určena pěstitelům v zemědělské praxi a poradcům působícím na úseku rostlinné produkce. Seznamuje uživatele s možnostmi využití tradičních i nových perspektivních diagnostických metod jako nástrojů podpory rozhodovacích procesů ve významných bodech pěstební technologie jarního sladovnického ječmene. Metodika zahrnuje oblasti zpracování půdy a zakládání porostů, výživy a hnojení, ochrany rostlin a je doplněna CD s programem SLAD08 – soubor rozhodovacích pravidel pro pěstování jarního ječmene [aplikace pro Windows].

Klíčová slova

jarní ječmen, pěstební technologie, diagnostické metody, rozhodovací pravidla,

Metodika shrnuje výsledky získané při řešení výzkumných projektů:

- Ministerstva zemědělství ČR, reg. č. *1G58038* s názvem Inovace pěstitelských technologií sladovnického ječmene vývojem diagnostických metod pro vyhodnocení struktury porostu, zdravotního a výživného stavu, řešeného v letech 2005 až 2009.
- Výzkumného záměru Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy ČR reg. č. *MSM2532885901* s názvem Optimalizace faktorů trvalé udržitelnosti rostlinné produkce na základě vývoje geneticko šlechtitelských, diagnostických a rozhodovacích metod, řešeného v letech 2004 až 2010.
- Výzkumného centra reg. č. *1M0570* s názvem Výzkumné centrum pro studium obsahových látek ječmene a chmele (2005 – 2011).

Metodika byla certifikována Odborem rostlinných komodit Ministerstva zemědělství České republiky vydáním osvědčení č. 1/37263-2011 ze dne 7. ledna 2011.

ISBN 978-80-904594-0-3

Obsah

I Cíl metodiky	4
II Vlastní popis metodiky	5
II.1 Rozhodovací body v rámci pěstební technologie jarního sladovnického ječmene	5
II.1.1 Růst a vývoj jarního ječmene	5
II.1.2 Rozhodující body pěstební technologie	11
II.1.3 Vliv agrotechniky na kvalitu zrna ječmene	18
II.2 Diagnostické metody pro podporu rozhodovacích procesů	21
II.2.1 Základní hnojení k jarnímu ječmeni	21
II.2.2 Metody pro stanovení základní dávky dusíku před setím	25
II.2.2.1 Korekce dávky dusíku podle obsahu $N_{\min}$ v půdě	26
II.2.2.2 Prognóza uvolňování dusíku během vegetace inkubační metodou	28
II.2.2.3 Diagnostika potenciálně mineralizovatelného dusíku s využitím extrakce amonného dusíku pomocí horkého KCl	31
II.2.3 Metody založené na diagnostice hustoty porostu	36
II.2.3.1 Význam vyhodnocení hustoty porostu pro pěstební technologie ječmene	36
II.2.3.2 Vyhodnocení hustoty porostu ječmene pomocí kamer snímajících v červeném pásmu viditelného spektra (650 – 690 nm) a blízkém infračerveném pásmu (750 – 800 nm)	43
II.2.3.3 Rozhodovací pravidla pro regulaci poléhání u sladovnického ječmene	55
II.2.4. Metody pro korekci výživného stavu jarního ječmene v průběhu vegetačního období	63
II.2.4.1 Dohnojování podle výsledků rozborů rostlin	65
II.2.4.2 Diagnostika výživného stavu v polovině odnožování na základě stanovení koncentrace nitrátů ve šťávě z bází rostlin	67
II.2.4.3 Vyhodnocení výživy ječmene dusíkem pomocí přístroje N-Pen založeného na aktivním měření spektrální odrazivosti listů v zelené (okolo 550 nm) a blízké infračervené oblasti (okolo 750 nm)	72
II.2.4.4 Predikce obsahu N látek v zrně ječmene na základě měření spektrální odrazivosti porostu ke konci sloupkování	77
III Srovnání „novosti postupů“	84
IV Popis uplatnění metodiky	85
V Ekonomické aspekty	85
VI Seznam použité literatury	86
VII Seznam publikací, které předcházejí metodice	87

I Cíl metodiky

Území České republiky je charakteristické různorodostí přírodních podmínek. Nachází se navíc na rozhraní kontinentálního a přímořského klimatu, v důsledku čehož dochází ke značným ročníkovým rozdílům v průběhu povětrnosti. Pěstební technologie založené na paušálních postupech a standardních dávkách hnojiv i pesticidů často nevedou k nejlepšímu ekonomickému výsledku - závěry a rozhodnutí prováděné na základě průměru mnoha let logicky nemusí odrážet aktuální stav porostů a půdního prostředí. Tyto přístupy jsou dnes běžnou praxí a jsou často propagovány výrobci agrochemikálií (zdůvodňují jimi potřebu nákupu a aplikace jejich výrobků). Paušální opatření ovšem nemusejí být v dané situaci a na daném místě pro dosažení vysokého výnosu a kvality produkce vždy nezbytná a v některých případech mohou působit dokonce negativně (například nadměrné dávky dusíku či regulátorů růstu). Výsledkem je pak časté nízké ekonomické zhodnocení vstupů, nebo dokonce jejich ztrátovost.

Modifikace pěstebních technologií dle aktuálních podmínek ročníku a pozemku (nebo jeho části) tak představují jednu z největších rezerv v zefektivnění pěstování polních plodin a využívání produkčních faktorů. Mohou pěstitelům přinášet bezprostřední úspory na materiálových vstupech, především na průmyslových hnojivech, pesticidech, regulátorech růstu, případně i pohonných hmotách. Do určité míry jsou tímto způsobem materiálové a energetické vstupy nahrazovány využitím odborných znalostí a informací.

Jednou z podmínek efektivních modifikací v rámci pěstebních technologií je dostupnost diagnostických metod, které umožňují hodnotit stav porostu, dynamiku procesů souvisejících s tvorbou výnosu a kvalitou produkce i dynamiku procesů v půdě. Pojem dostupnost z pohledu praktického pěstitele zahrnuje také způsob, jak výsledky zjištěné danou metodou interpretovat a jak je využít k podpoře rozhodování v důležitých bodech pěstební technologie.

Cílem metodiky je poskytnout pěstitelům v zemědělské praxi a poradcům působícím na úseku rostlinné produkce pomůcku pro cílené a efektivní modifikace pěstebních technologií jarního sladovnického ječmene. Je zaměřena na možnosti využití vybraných tradičních i některých nových perspektivních diagnostických metod.

Jako další podpůrný prvek rozhodovacích procesů v důležitých bodech pěstební technologie může posloužit softwarová aplikace SLAD08, která metodiku doplňuje.

II Vlastní popis metodiky

II.1 Rozhodovací body v rámci pěstební technologie jarního sladovnického ječmene

II.1.1 Růst a vývoj jarního ječmene

Růstem a vývojem se souhrnně nazývají změny probíhající v rámci životního cyklu (ontogeneze). Zahrnují období od nabobtnání a vyklíčení obilky až do vytvoření nového zrna.

Z praktického hlediska rozlišujeme v rámci ontogeneze dvě základní období:

- vegetativní (klíčení, vzcházení, odnožování),
- generativní (sloupkování, metání, tvorba zrna, zrání).

Růstové změny spočívají v kvantitativních přírůstcích organické hmoty (růst a diferenciace rostlinných pletiv), vzniku rostlinných orgánů a jejich uspořádání. K zajištění růstu je třeba, aby vegetační faktory (živiny, voda, vzduch, světlo) byly rostlinám k dispozici alespoň v minimálním množství.

Souběžně probíhající kvalitativní změny vedou k přechodu rostlin z vegetativního do generativního období a vrcholí vytvořením reprodukčních orgánů (zrna). K průběhu a uskutečnění vývojových změn potřebují rostliny splnění limitovaných požadavků na vnější faktory, hlavně teplotní a světelné, v určité výši, působících v konkrétním časovém rozsahu (např. délka světelného dne, suma aktivních teplot).

Klíčení a vzcházení

V období klíčení a vzcházení se rozhoduje o konečném počtu rostlin na jednotce plochy. Je důležité, aby klíčení a vzcházení bylo rovnoměrné a pokud možno co nejkratší, neboť byla prokázána korelace mezi délkou doby vzcházení a počtem vzešlých rostlin. Jarní ječmen začíná klíčit již při 1 – 2 °C, což umožňuje rané setí a pěstování jarního ječmene i v chladnějších oblastech, optimální teplota je okolo 15 °C. Obvyklá doba vzejití se pohybuje v rozmezí 7 – 10 dnů. Pro zabezpečení dostatku vzduchu je důležitá správná hloubka setí (zvláště na ulehých půdách) a přiměřená vyžrálost půdy, aby nedošlo k zamazání osiva.

Odnožování

Zónou zakládání odnoží je odnožovací uzel. Je umístěn pod povrchem půdy a jeho hloubka je závislá na hloubce setí (pro obilniny obecně je doporučováno tzv. mělké setí do hloubky 2 – 3 cm, které umožňuje založení odnožovacího uzlu na úrovni uloženého semene). V úžlabí každého listu (za jeho pochvou) se zakládá adventivní pupen - základ příští odnože. Přeměna tohoto pupenu v odnož je však podmíněna jednak dostatečnou výživou, ale hlavně inhibicí růstu příslušného listu. Obdobně jako u vzrostného vrcholu hlavního stébula se tvoří odnože prvního řádu, které se vývojově blíží hlavnímu stébłu, i na bázi listů těchto odnoží se tvoří pupeny, z nich pak odnože druhého řádu a postupně třetího, případně dalších. Potenciální schopnost tvořit odnože je u jarního ječmene neobyčejně velká a nekončí zcela ani nástupem generativního období, nýbrž trvá po celé období růstu (dodatečná tvorba odnoží u polehlých porostů či v případě nástupu vlhkého počasí ve fázi sloupkování po dlouhém suchu). Je žádoucí, aby tvorba odnoží byla vyrovnaná, neboť velké rozdíly ve vývoji jednotlivých odnoží jsou příčinou vysoké variability velikostí zrna charakterizované nižším podílem předního zrna a větším výskytem zelených zrn.

Cílem všech agrotechnických opatření ve fázi odnožování je dosažení 2 až 4 plodných stébel na rostlině, což představuje 800 – 1000 klasů na m². Celkově lze považovat odnožování za jedno z nejvýznamnějších období růstu, kdy se rozhoduje o hustotě porostů, potenciálu výnosu a do značné míry i o kvalitě zrna.

Sloupkování

Sloupkování je obdobím intenzivního růstu. Vyznačuje se největšími přírůstky sušiny rostlin a jedná se o období, kdy jsou rostliny nejnáročnější na dostatek vláhy, živin a odpovídající průběh teplot. Při sloupkování se stébelná kolénka od sebe oddalují a tvoří se jednotlivá internodia (články) stébula. Nástup sloupkování (zaznamenáváme při objevení se prvního kolénka nad povrchem půdy – zjišťuje se hmatem) nastává u jarního ječmene za 4 – 6 týdnů po vzejití a je zároveň signálem přechodu do generativního období. Celá fáze sloupkování trvá průměrně 20 až 30 dnů (v závislosti na úrovni vegetačních faktorů).

Byla prokázána kladná závislost mezi přírůstkem sušiny na začátku sloupkování a výnosem zrna. Jsou-li ovšem přírůstky sušiny v tomto období příliš vysoké, nemá to na vyšší výnos ani kvalitu zrna příznivý dopad, neboť tento stav často souvisí s tvorbou a vývojem neproduktivních odnoží.

Během sloupkování se vytváří morfologické a anatomické předpoklady pro poléhání porostů. K častým zásahům v této růstové fázi proto patří aplikace regulátorů růstu.

Metání a kvetení

Při metání se klas uvolňuje z pochvy posledního praporcovitého listu. Pořadí metání jednotlivých klasů odpovídá vývojovému stupni stébel (od nejdříve po nejpozději vytvořená). V této době se dá nejlépe posoudit vyrovnanost porostu, především z hlediska toho, zda a do jaké míry se odnože svým růstovým rytmem přiblížily hlavnímu stéblu. Optimum teplot se pohybuje v rozmezí 16 – 20 °C, příliš vysoké teploty, doprovázené navíc suchem, případně výraznějším nedostatkem živin, bývají u ječmene častou příčinou nevymetání klasu z pochvy listů. Ječmen se opyluje převážně svým vlastním pylem a k otevření kvítků velmi často ani nedojde. I v případě otevření kvítků bývá semeník většinou již opylen ještě před metáním. Díky této vlastnosti je ječmen k průběhu počasí ve fázi kvetení do značné míry tolerantní. Fáze kvetení porostu probíhá přibližně deset dnů (při vysokých teplotách se doba zkracuje), kvetení jednoho klasu trvá asi tři dny.

Tvorba zrna, zrání

V tomto období dochází k intenzivnímu transportu asimilátů a jejich spotřebovávání na tvorbu zrna. Vedle velikosti asimilačního povrchu, zvláště horní části rostlin, je důležitý rovněž zdravotní stav rostlin (napadení listovými chorobami, poškození listů škůdci), nepříznivě se projevuje také polehnutí porostů.

Růst obilek probíhá ve třech časových fázích, kdy lze sledovat rozdílnou akumulaci sušiny od jejího pozvolného nárůstu v první fázi přes rychlý nárůst (cca 15 – 35 dní po odkvětu) až k trvalému poklesu ve třetí fázi a zakončení v plné zralosti. V zrnu jsou v tomto období syntetizovány z látek jednoduchých (rozpuštěných) látky složitější, ve vodě nerozpustné. Nejdříve jsou do zrna transportovány hlavně minerální látky, převážně dusík. Později převládá ukládání bezdusíkatých asimilátů, z nichž vzniká škrob. Mění se skladba jednoduchých dusíkatých látek, postupně dochází k syntéze bílkovin a klesá také obsah ostatních N-látek. Nakonec se v zrnu tvoří tuky. S přibývajícím koncentrací asimilátů narůstá obsah sušiny v zrnu, dochází k jeho dehydrataci a zvyšuje se jeho hmotnost. Z pořadí syntézy a ukládání zásobních látek v procesu tvorby a zrání zrna vyplývají i nároky ječmene na podmínky vnějšího prostředí s ohledem na další užití produkce, především sladovnickou kvalitu. Při tzv. nouzovém dozrání (vlivem zaschnutí při vláhovém deficitu) se relativně zvyšuje podíl dusíkatých látek včetně bílkovin k látkám bezdusíkatým, hlavně škrobu. Na druhou stranu, prodloužení období zrání

(např. v důsledku aplikace fungicidů s tzv. greening efektem) vede ke snížení relativního obsahu dusíkatých látek v zrně, neboť se prodlužuje především fáze transportu bezdusíkatých asimilátů a syntézy škrobu.

Aktuální stav rostlin v rámci uvedených základních období lze přesněji definovat pomocí fází růstu sestavených do fenologické stupnice. Nejstarší je stupnice Feekesova, nejširší uplatnění v současnosti nalézají mezinárodní stupnice Zadoksova (označovaná jako dekadická – DC) a západoevropské stupnice uváděné pod zkratkou BBCH.

Tab. II.1.1: Přehled makrofenologických stupnic

Růstová fáze	DC (Zadoks)	BBCH	Feekes
Klíčení			
Suchá obilka	00	00	
Nabobtnalá obilka	03	03	
Vyražení primárního kořínku	05	05	
Objevení koleoptile na obilce	07	07	
Objevení listu na špičce koleoptile	09	09	
Vzcházení			
Objevení koleoptile nad povrchem půdy	10	10	0
První listy			
Fáze 1. listu (2. list vyrůstá z pochvy 1. listu)	11	11	1.1
Fáze 2. listu (3. list vyrůstá)	12	12	1.2
Fáze 3. listu (4. list vyrůstá)	12	12	1.3
Fáze 4. listu a dalších (9. listů)	14 – 19	14 – 19	
Odnožování			
Neodnožená rostlina - odnož uvnitř pochvy listu	20	20	
Začátek odnožování – hlavní stéblo a 1. viditelná odnož	21	21	2
Hlavní stéblo a 2 viditelné odnože	22	22	
Hlavní stéblo a 3 viditelné odnože	23	23	
Plné odnožování – hlavní stéblo a 5 a více odnoží	25	25	3
Konec odnožování	29	29	4

Tab. II.1.1: Přehled makrofenologických stupnic (pokračování)

Růstová fáze	DC (Zadoks)	BBCH	Feekes
Sloupkování Začátek sloupkování – hlavní stéblo a odnože se vzpřimují	30	30	5
1. kolénko na hlavním stéble je hmatatelné (nad úrovní odnožovacího uzlu)	31	31	6
2. kolénko je patrné	32	32	7
3. – 6. kolénko je patrné	33 – 36	33 – 36	
Objevení posledního (praporcového) listu	37	37	8
Objevení jazýčku posledního listu	39	39	9
Naduřování listové pochvy Prodlužování pochvy praporcového listu	41	41	10
Začátek naduřování pochvy horního listu	43	43	
Naduřelá pochva	45	45	
Prasklá pochva	47	47	
Viditelné osiny vyčnívají z pochvy	49	49	
Metání Začátek metání – první klásek viditelný	51	51	10.1
Čtvrtina klasu vymetána	53	53	10.2
Polovina klasu vymetána	55	55	10.3
Tři čtvrtiny klasu vymetány	57	57	10.4
Celý klas vymetán	59	59	10.5
Kvetení Začátek kvetení, objevují se první prašníky ve středu květu	61	61	10.5.1
Plné kvetení, většina klásků má zralé prašníky	65	65	10.5.2
Konec kvetení, většina klásků odkvetlá, ojediněle visí zaschlé prašníky	69	69	10.5.3

Tab. II.1.1: Přehled makrofenologických stupnic (pokračování)

Růstová fáze	DC (Zadoks)	BBCH	Feekes
Zrání			
Mléčná zralost Tvorba obilky, první obilky dosáhly konečné velikosti, obsah zrna je vodnatý	71	71	10.5.4
Raně mléčná zralost	73	73	11.1
Středně mléčná zralost (obilky mají konečnou velikost a mlékovitý obsah)	75	75	
Pozdně mléčná zralost	77	77	
Vosková zralost			
Raně vosková zralost	83	83	11.2
Vosková zralost – obsah obilky je měkký a tvárný (mezi prsty se hněte)	85	85	
Žlutá zralost (tuhý vosk) – obsah obilky je pružný až pevný, po vrypu nehtem se tvoří rýha	87	87	11.2
Plná zralost			
Obilka je tvrdá, obtížně dělitelná nehtem	91	89	11.3
Obilka tvrdá, není možné udělat nehtem rýhu	92		11.4
Obilka se uvolňuje, v průběhu dne vypadává	93		
Přezrálost	94	92	
Dormance obilek	95		
Životaschopné obilky klíčí z 50 %	96		
Ztráta dormance obilek	97		
Vznik druhého období dormance obilek	98		
Ztráta druhé dormance obilek	99		

II.1.2 Rozhodující body pěstební technologie

Konečný výsledek pěstování jarního ječmene ovlivňuje celá řada faktorů, z nichž některé je možno ovlivnit volbou vhodných pěstitelských opatření. Technologie pěstování jarního sladovnického ječmene obecně neskýtá tolik možností k ovlivnění konečného výsledku jako např. v případě ozimé pšenice, přesto zde jak v průběhu vegetace, tak v období před setím existují body, v nichž správné rozhodnutí může pro pěstitele znamenat významné zvýšení předpokladů pro dosažení požadovaného výsledku. Diagnostické metody popisované v této publikaci s uvedením období jejich vhodného použití naleznete na konci této kapitoly v tab. II.1.3.

Období po sklizni předplodin, podzim

Do tohoto časového úseku spadají zejména rozhodnutí související se zastoupením jarního ječmene ve struktuře plodin a jeho zařazením po předplodinách, stanovení dávek P, K případně Ca hnojiv a volba způsobu zpracování půdy.

Při úvahách nad podílem jarního ječmene ve struktuře plodin v rámci konkrétního zemědělského podniku narazíme jak na rizika agrobiologická, tak i na rizika tzv. „provozní“, související s kumulací agrotechnických operací do pracovních špiček. V literatuře se většinou setkáváme pouze s doporučeným podílem obilnin, jako celé skupiny příbuzných plodin, v osevních sledech. Za mezní bývá i v příznivých půdně-klimatických podmínkách považována hranice 63 – 66 %.

Vzhledem ke snižování ploch tradičních dobrých předplodin (organicky hnojené okopaniny) vyvstává potřeba zařazovat jarní sladovnický ječmen do osevních sledů i po obilninách nebo předplodinách méně obvyklých (např. ozimá řepka, mák). Díky dnešním možnostem využití hnojiv a agrochemikálií jsme schopni některé negativní dopady pěstování ječmene po horších předplodinách zmírnit a dosahovat srovnatelných výnosů. Zhoršení se projevuje spíše v kvalitativních parametrech (podrobněji v kapitole II.1.3 Vliv agrotechniky na kvalitu zrna ječmene).

Důležitou složkou technologie pěstování jarního ječmene je systém **zpracování půdy** a zakládání porostů, neboť ovlivňuje utváření základních prvků struktury porostu, tedy budoucí podmínky pro tvorbu výnosu a potažmo i pro jeho kvalitu. Jarní ječmen vyžaduje dobře provzdušněné půdy, nedostatek kyslíku pro respiraci kořenů ječmen špatně snáší. Doporučovaná hloubka podzimního zpracování půdy se pohybuje v rozmezí 15 – 22 cm, v závislosti na předplodině a fyzikálním stavu půdy. Při podzimní kultivaci půdy je možno využívat minimalizace, jak snižováním hloubky zpracování, tak náhradou orby zpracováním půdy kypřiči nebo talířovým nářadím.

Minimalizační technologie lze využívat po téměř všech předplodinách. Z významnějších předplodin se jejich použití jeví jako nevhodné po kukuřici, a to zejména po kukuřici na zrno. Na základě experimentálních výsledků i četných praktických zkušeností panuje vcelku shoda v tom, že uplatnění minimalizačních technologií k hustě setým obilninám je vhodné na úrodných půdách kukuřičné, řepašské i obilnářské oblasti. V horších půdně-klimatických podmínkách (mělké, méně úrodné půdy, chladnější a humidnější prostředí) vede minimalizace zpracování půdy k výnosové depresi.

Výše uvedené poznatky je však třeba dát do širšího kontextu nejen z hlediska klimatických podmínek, ale celkově systému hospodaření, včetně skladby plodin a nakládání s organickou hmotou.

K poklesu výnosů při použití minimalizačních technologií (ve srovnání s orbou) dochází i ve zjednodušených osevních sledech s vysokým zastoupením obilnin, a to i po předplodinách považovaných za tzv. zlepšující. Tento pokles není z ekonomického hlediska vykompenzován ani příslušným snížením nákladů (i zde se mezní hranicí jeví na černozemních půdách 63 až 66% podíl obilnin v osevním sledu). Důležitým aspektem pěstební technologie je také správná kombinace způsobu zpracování půdy a nakládání s posklizňovými zbytky předplodin.

Rozhodovací pravidla pro volbu způsobu zpracování půdy a ošetření posklizňových zbytků jsou podrobně rozpracována v softwarové aplikaci SLAD08, která se nachází na přiloženém CD.

Do podzimních prací spadá také základní hnojení zejména fosforečnými a draselnými hnojivy. Této problematice se věnuje **kapitola II.2.1 Základní hnojení k jarnímu ječmeni, postup pro stanovení dávek základního hnojení pro hlavní živiny je též součástí programu SLAD08.**

Období před setím, jaro

Stanovení základní dávky N hnojiv

Z pohledu výnosu i kvality zrna je v tomto období mimo předsetěvé přípravy půdy důležité hnojení dusíkem. Vzhledem k velkým rozdílům v úrovni a intenzitě hospodaření mezi zemědělskými podniky nemůžeme stanovovat dávky dusíku paušálně pouze podle oblasti a předplodiny. Dávku je vhodné korigovat na základě použití některé z diagnostických metod stanovujících obsah minerálního dusíku ($N_{\min}$) v půdě, případně obsah dusíku potencionálně mineralizovatelného. Výčet metod je uveden v tab. II.1.3.

Základní dávku dusíku aplikujeme ke sladovnickému ječmeni zpravidla před setím. Pokud ve sledu agrotechnických operací upřednostníme setí před

hnojením, je možno ji aplikovat do fáze 2. lístku (DC 12). Tento časový posun hnojení dusíkem ovšem není příliš vhodný, pokud nastane po zasetí dlouhé období sucha. V rizikových oblastech s výskytem častých jarních přísušků je vhodnější aplikovat dusík před setím jarního ječmene.

Předset'ová příprava půdy a setí

Jarní příprava půdy musí zabezpečit provzdušnění ornice a vytvoření set'ového lůžka v hloubce 30 – 50 mm. Pro obilniny je nejvhodnější tzv. mělké setí do hloubky 20 – 30 mm na půdách středních a těžkých, 40 mm na lehkých půdách. Rovnoměrné uložení semen v požadované hloubce umožňuje dobré založení odnožovacího uzlu na úrovni uloženého semene (obilky), a tím i bohaté odnožení rostlin a zapojení porostu. Hluboce zaseté ("utopené") rostliny naopak méně a později odnožují.

Předset'ová příprava má vytvořit předpoklady pro udržení dobrého strukturního stavu půdy po celou dobu vegetace. Každý předčasný nebo opožděný zásah porušující strukturu „zamazáním“ nebo proschnutím půdy se nepříznivě odrazí na výnosu zrna i sladovnické kvalitě. Jarní ječmen je na tzv. „zamazání“ (na zrnu se vytvoří blátivý film, který brání přístupu kyslíku, snižuje se energie klíčení a porost nevyrovnaně vzhází) velmi citlivý. Proto je třeba dbát na to, aby půda byla při předset'ové přípravě a setí dostatečně vyžralá (pod mírným stiskem v dlani se drobí). Pokusné výsledky i praktické zkušenosti prokazují, že pokles výnosu vlivem zamazání je vyšší než vlivem opožděného setí.

K předset'ové přípravě půdy se pro jarní obilniny nejvíce využívá pasivního nářadí (brány, smyky aj.), podle potřeby agregovaného do soupřav. Z důvodu poškozování půdní struktury se upouští od klasického smykování a doporučuje se použití různých druhů kombinátorů, v jejichž sestavách jsou urovnávací smykové desky. *Platí obecná zásada – čím méně zásahů do půdy a čím méně pojezdů po poli na jaře, tím lépe.* Použití secích kombinací spojujících přípravu půdy a setí v jednu operaci je možné (u pozemků na podzim zoraných) s přihlédnutím k aktuální vlhkosti a vyžralosti půdy tak, aby nedošlo k "zamazání" osiva. Přímé setí do nezpracované půdy se nedoporučuje z důvodů zhoršeného vysychání půdy na jaře. Důsledkem bývá opožděné založení porostu.

Agrotechnická lhůta setí není u jarních obilnin kalendářně stanovena. Opožděné setí není definováno datem v kalendáři, ale zpožděním proti optimálnímu termínu v příslušném ročníku (vždy záleží na podmínkách konkrétního ročníku, nástupu jara a vytvoření vhodných podmínek). Tímto zpožděním dochází jak ke snížení výnosu, tak ke zhoršení sladovnické kvality (zvyšuje se obsah bílkovin v zrně, klesá podíl předního zrna). V polních

pokusech v Kroměříži (ročníky 1993 – 2000) se snížení výnosu zrna pohybovalo většinou v rozmezí 40 – 130 kg.ha⁻¹ (tj. cca 0,6 – 2 %) za každý den zpoždění. Se zvyšujícím se datem v kalendáři bývá negativní vliv opožděného setí na výnos jarního ječmene zpravidla silnější, takže v ročnících, kdy se v řepařské výrobní oblasti vytvoří podmínky pro setí až po 15. dubnu, může ztráta na výnosu z 1 ha dosahovat k hranici 3 % za každý den posunu za optimální termín. Zvýšení obsahu bílkovin v zrně činilo v průměru 0,5 % při 10-ti denním zpoždění proti optimálnímu termínu setí v daném ročníku, podíl předního zrna klesal po pšenici a cukrovce v průměru o 6 %.

Platí tedy, že jarní ječmen by se měl vysévat co nejdříve na jaře, jakmile to počasí a stav půdy dovolí. Prvky potenciálního výnosu (počet odnoží, délka klasu, květní hrbolky) se u ječmene jarního zakládají v raných fázích růstu. Na základě výsledků podrobné růstové analýzy prováděné v polních pokusech v Kroměříži (údaje z let 1993 – 2005) můžeme odvodit, že za normálních podmínek se na výsledném počtu klasů podílí téměř výhradně odnože vytvořené přibližně v první polovině odnožování. Později vytvořené odnože se na výnosu mohou uplatnit velmi zřídka (zhruba ve 2 letech z 10; při suchém počasí v období po vzejití a nedostatečné intenzitě odnožování).

Stanovení výsevku se provádí výpočtem na základě potřebného množství klíčivých semen na 1 ha.

$Výsevek [kg.ha^{-1}] = MKS \times HTS [g] \times 10000 / \text{čistota} [\%] \times \text{klíčivost} [\%]$

MKS – miliony klíčivých semen na 1 ha

HTS – hmotnost 1000 semen (g)

Doporučené výsevky jarního ječmene pro jednotlivé výrobní oblasti jsou uvedeny v tab. II.1.2). Při stanovení výsevku je vždy třeba uvážit také místní podmínky s důrazem zejména na sušší lokality (i místně, např. pozemky s extrémně propustnými půdami, polohy ve srážkovém stínu apod.). Zvýšení výsevku o 10 – 15 % (cca 0,5 MKS) proti hodnotám uvedeným v tabulce se doporučuje při špatném fyzikálním stavu půdy, vyšším množství posklizňových zbytků na povrchu půdy (např. po kukuřici) a při setí po 15. dubnu. Extrémní zvyšování výsevků naopak nemá velký význam s ohledem na kompenzační vztahy v porostu (rostliny v hustějších porostech vytváří menší počet odnoží a výsledně i produktivních stébel).

Tab. II.1.2: Doporučené výsevky jarního ječmene (MKS.ha⁻¹)

Výrobní oblast				
kukuřičná	řepařská	obilnářská	bramborářská	pícninářská
4,5	4,0	4,0 – 4,5	4,5	4,5

MKS = milion klíčivých semen

Vzcházení a první listy

Do tohoto období nebývá zpravidla cíleno velké množství agrotechnických zásahů. Výjimkou může být posun aplikace základní dávky dusíku do růstové fáze 1. – 2. listu ječmene. Nicméně, i v tomto období je možné využít některých diagnostických metod, jejichž výsledky se stanou podkladem pro rozhodování v pozdějších fázích vegetačního období. Hlavním zjišťovaným znakem je hustota porostu. O významu vyhodnocení hustoty porostu pro pěstební technologie jarního ječmene, diagnostických metodách a interpretaci jejich výsledků blíže informuje kapitola II.2.3.

Odnožování

V období odnožování je možné provést první korekci výživného stavu. Podle výsledků zjištěných diagnostickými metodami v DC 22–23 můžeme korigovat hnojení dusíkem, případně deficity ostatních živin (na základě výsledků rozborů rostlin). Kapitola II.2.4.1 je věnována korekci výživy na základě klasických anorganických analýz rostlin (AAR), kapitoly II.2.4.2 a II.2.4.3 pak dalším metodám pro zjišťování stavu výživy dusíkem – diagnostice výživného stavu na základě koncentrace nitrátů ve šťávě z bází rostlin a vyhodnocení výživy ječmene dusíkem pomocí přístroje N-Pen. **Rozhodovací pravidla pro dohnojení jarního ječmene na základě výsledků AAR v odnožování jsou součástí software SLAD08 na CD.**

Sloupkování, duření listové pochvy

Na začátku sloupkování je možno provést druhý odběr rostlin a na základě jeho výsledků pak korekci výživy porostů jarního ječmene (odběr ve fázi DC 30–31; vlastní přihnojení co nejdříve, nejlépe do fáze DC 33). Toto opatření slouží pouze k dolažení případných disparit ve výživném stavu rostlin a uplatnění zde nacházejí kapalná hnojiva a nízkoprocenní roztoky hnojiv. Tuhá hnojiva jsou již s ohledem na jisté zpoždění v příjmu živin méně vhodná. **Rozhodovací pravidla pro dohnojení jarního ječmene na základě výsledků AAR na začátku sloupkování jsou také součástí software SLAD08.**

Opatření proti poléhání se provádějí většinou na konci sloupkování (DC 37–41). V případě dělených aplikací regulátorů růstu ovšem spadá první ošetření do fáze 1. – 2. kolénka (DC 31–32). Celý rozhodovací systém je popsán v kapitole II.2.3.3 a je zpracován do softwarové podoby (viz příložené CD), která rozhodování o použití morforegulátorů značně usnadňuje. Pro rozhodování se využívá výsledků diagnostiky porostů a pozorování provedených také v dřívějších fázích růstu. K upřesnění informací o hustotě porostu je možno využít např. kamer snímajících v červeném pásmu viditelného spektra a blízkém infračerveném pásmu (blíže viz kapitola II.2.3.2).

Tab. II.1.3: Diagnostické metody popisované v metodice z hlediska doby jejich použití										
Metoda	Podzim	Jaro před setím	Vzcházení a první listy	Odnožování	Sloupkování	Metání a kvetení	Tvorba zrna	Zrání	Kapitola	CD
Volba způsobu zpracování půdy a ošetření posklizňových zbytků předplodiny										a
Základní hnojení k jarnímu ječmeni									II.1.2	a
Korekce dávky dusíku podle obsahu $N_{\min}$ v půdě									II.2.2.1	a
Prognóza uvolňování dusíku během vegetace inkubační metodou									II.2.2.2	
Diagnostika potenciálně mineralizovatelného dusíku s využitím extrakce amonného dusíku pomocí horkého KCl									II.2.2.3	
Hodnocení hustoty porostu ječmene pomocí kamer snímajících v červeném pásmu viditelného spektra (650-690 nm) a blízkém infračerveném pásmu (750-800 nm)			DC 11-12		DC 37-39				II.2.3.2	
Rozhodovací pravidla pro regulaci poléhání u sladovnického ječmene				DC 21-23	DC 37-39				II.2.3.3	a
Diagnostika výživného stavu v polovině odnožování na základě stanovení koncentrace nitrátů ve šťávě z báží rostlin				DC 22-23					II.2.4.2	
Dohnojování podle výsledků rozborů rostlin - období odběru				DC 22-24	DC 30-31				II.2.4.1	a
Vyhodnocení výživy ječmene dusíkem pomocí přístroje N-Pen				DC 22-25					II.2.4.3	
Predikce obsahu N látek v zrně ječmene na základě měření spektrální odrazivosti porostu ke konci sloupkování					DC 37-49				II.2.4.4	

II.1.3 Vliv agrotechniky na kvalitu zrna ječmene

Jarní ječmen je velmi náročný na agrotechniku. Je plodinou staré půdní síly s vysokými nároky na kvalitní přípravu pozemku před setím, kdy musíme zohlednit celou řadu faktorů, jako jsou předplodina, posklizňové zbytky a jejich ošetření, agrochemické vlastnosti půdy včetně podmínek stanoviště jako celku. Opomenout nemůžeme také způsob zpracování půdy a přípravy pozemku, volbu odrůdy a termín setí a úroveň hnojení. Významnou roli hraje také průběh ošetřování porostu pesticidy a morforegulátory. To vše pak má vliv na výnos a promítá se také do jeho výsledné kvality.

Významnou roli zde hraje především **výživa**. Jarní ječmen patří k plodinám, které jsou na nedostatek živin během vegetace velmi citlivé. Pokud se nenachází v optimálním výživném stavu, dochází k nedostatečnému odnožování, jsou negativně ovlivněny výnosové prvky, a tím pádem také výnos. Výrazným způsobem může být ovlivněna také jeho kvalita.

Z hlediska výnosu a jeho kvality hraje nejvýznamnější roli **dusík**. Optimální zásoba N v rostlinách na počátku vegetace, ale i v jejím průběhu je velmi důležitou podmínkou pro dosažení kvalitní produkce. Při nadbytku dusíku v rostlinách během odnožování dochází k nárůstu počtu neproduktivních odnoží. Vyšší obsah N po vymetání vede k poléhání porostu, nestejnomořnému dozrávání zrna, zvyšuje podíl zadinového zrna a přispívá k vyššímu obsahu dusíkatých látek v zrně. Nedostatek dusíku se naopak projevuje řídkými porosty, nízkým počtem výnosotvorných prvků a technologicky nevhodným obsahem N v zrně. Příliš nízký obsah N-látek v zrně bývá důsledkem nedostatečného zásobení rostlin dusíkem obecně. U řídkých porostů, jejichž malá hustota je důsledkem nedostatku dusíku na počátku vegetace, může být následná opožděná mineralizace příčinou zvyšování obsahu N-látek v zrně.

Při racionální výživě dusíkem je dosaženo vysokého podílu předního zrna. Tento vysoký podíl je zřetelným signálem, že ječmen měl během vegetace dostatek pohotových a přístupných živin a že zejména dusík byl využit pro tvorbu výnosu a nebyl ukládán ve formě N-látek do zrna.

Draslík zlepšuje kyprost endospermu, má vliv na jemnost pluch, působí na syntézu sacharidů a snižuje obsah N-látek. Dostatečná výživa draslíkem přispívá k vyšší tvorbě sušiny a následnému ukládání asimilátů do zrna, což se projeví ve vyšší extraktivnosti sladu. Zvýšený příjem na počátku vegetace ale aktivuje syntézu inhibitorů, což se projevuje nižší tvorbou odnoží, jejich dřívější redukcí a snižuje se výnos zrna.

Dostatek přístupného **fosforu** v půdě na počátku vegetace příznivě ovlivňuje tvorbu odnoží. Vysoká koncentrace fosforu v kombinaci s luxusním příjmem dusíku ovšem vede k přílišnému zahuštění porostu, což se následně

může negativně projevit v lámavosti stébel a poléhání porostu. Optimální hladina přístupného P v půdě podporuje energetický metabolismus rostliny a ovlivňuje reprodukční schopnosti. To se příznivě odráží v počtu zrn v klase. Příznivě je ovlivněna i hmotnost tisíce zrn.

Je nutné, aby obsah jednotlivých živin byl během celé vegetace pokud možno vyrovnaný. Zvyšování dávek dusíku sice vede k vyšší produkci zrna, roste v něm ale obsah bílkovin a zrna pak není sladařsky využitelné. Při optimální koncentraci ostatních živin v půdě je reakce rostlin na vyšší intenzitu hnojení dusíkem spojenou s vyšší koncentrací N-láték v zrně méně výrazná. Optimální obsah P a K živin v půdě do určité míry negativní dopad vyšších dávek dusíku na kvalitu zrna eliminuje (Zimolka et al., 2006).

Důležitou roli sehrává také cílená a vyvážená **ochrana porostu**, která eliminuje vyšší podíl zadinového zrna, zvýšený výskyt zrn zaplísňených a zrn se zahnědlými špičkami. U zdravých porostů se prokazatelně zvyšují hodnoty přepadu zrna na síť 2,5 mm, zrna je plnější, má vyšší škrobnatost a je extraktivnější.

Na zdravotní stav rostlin a potažmo i jejich kvalitu má vliv **předplodina**. Dlouhodobě nejlepší předplodinou pro sladovnický ječmen jsou okopaniny hnojené chlěvským hnojem - cukrovka, brambory (Hřivna et al., 2005). Výjimkou mohou být suché ročníky, kdy se může dosáhnout lepšího výnosu po obilnině, která tolik nevyčerpává vláhu. Největší výkyvy ve výnosu zrna bývají zpravidla u kukuřice, jako nejstabilnější se jeví cukrovka, u které bývá nejnižší výskyt houbových chorob v zrně a nízký podíl zrn se zahnědlými špičkami. Vliv předplodiny se promítá také výrazně do mechanických znaků zrna především do jeho velikosti. Vysoký podíl plných zrn zvyšuje sladařskou využitelnost a výtěžnost extraktu u dodaných partií ječmene (Kosař et al. 1997). Nejvyšší zrna bývají sklizena po cukrovce, následuje pšenice a nejnižší je kukuřice.

Jedním z rozhodujících kritérií při nákupu ječmene je obsah dusíkatých látek (Prokeš et al., 1997). Je důležité, aby se pohyboval v rozmezí 10 – 12 %. V současnosti již není vliv předplodiny tak výrazný jako dříve a obsah N je závislý více na výživě a hnojení. Problémy s vysokým, případně nízkým obsahem N-láték v zrně nastávají zvláště tam, kde se zaorává velké množství posklizňových zbytků s širokým poměrem C:N (rozklad posklizňových zbytků se v důsledku sucha nebo pozdního zapravení zpožďuje) a na pozemcích, kde bylo k předplodině aplikováno větší množství kejdy či jiných forem dusíku a tento nebyl plně využit. Problematickou předplodinou již nebývá cukrovka ale spíše obilniny, zvláště pak kukuřice.

Rozhodující pro kvalitu je také **vliv odrůdy**. Výnos a kvalita zrna se mohou u jednotlivých odrůd v rámci jednoho ročníku i lokality výrazně lišit. Zimolka (1999) uvádí, že výběr odrůdy je třeba přizpůsobit podmínkám

pěstování a dodržovat odrůdovou rajonizaci. Měly by být upřednostňovány takové odrůdy, které mají nízký stupeň redukce odnoží, mohutnější kořenový systém a rychlou tvorbu sušiny obilí.

V současné době dochází ke změnám ve **zpracování půdy** a zakládání porostů plodin. V zemědělské praxi se vedle tradičních postupů používají postupy zjednodušené s minimalizačními a půdoochrannými prvky. Jedná se o různé formy mělkého zpracování půdy, náhrady orby kypřením, výsevy plodin do nezpracované nebo pouze povrchově zpracované půdy, výsevy plodin do vymrzajících nebo herbicidy likvidovaných meziplodin a další. Zde je třeba uvést, že pro kvalitu i výnos zrna je důležité, jak má producent danou technologii zvládnutou. Minimalizační technologie mohou ovlivňovat kvalitativní parametry zrna ječmene především prostřednictvím vlivu na rozklad posklizňových zbytků a uvolňování minerálního dusíku. U minimalizačních technologií dochází na jaře k pomalejšímu prohřívání půdy, a menšímu provzdušnění, které zpožďuje uvolňování minerálního dusíku. To se následně může negativně projevit na zvyšování obsahu dusíkatých látek v zrně.

II.2 Diagnostické metody pro podporu rozhodovacích procesů

II.2.1 Základní hnojení k jarnímu ječmeni

Výživa a hnojení rostlin ječmene ovlivňuje významným způsobem výnos a kvalitu rostlinné produkce. Pokud není obsaženo v půdě dostatečné množství přístupných živin, nemůžeme očekávat vysoký a kvalitní výnos (Míša, 2003). Přitom je třeba respektovat i to, že ječmen je plodinou staré půdní síly, vyžadující půdu nejenom dostatečně zásobenou živinami, ale také půdu vyzrálou s dostatečným množstvím organických látek a odpovídající mikrobiální činností. Vzhledem ke svému mělkému kořenovému systému je nutné, aby byl živinami dostatečně saturován především profil ornice 0 – 30 cm (Hřivna et al., 2005).

Za nejvhodnější pro pěstování jarního ječmene považujeme půdy středně těžké s příznivými agrochemickými vlastnostmi (tab. II.2.1).

Tab. II.2.1: Optimální zásoba živin v půdě (mg.kg⁻¹) pro sladovnický ječmen (profil 0 – 30 cm)

Dobrá zásoba	Půdní druh		
	Lehká	Střední	těžká
P	81 – 115		
K	161 – 275	171 – 310	261 – 350
Ca	1801 – 2800	2001 – 3300	3001 – 4200
Mg	136 – 200	161 – 265	221 – 330

Poznámka: Obsah živin stanoven dle Mehlich III

Jarní ječmen velmi silně reaguje také na vlastnosti předplodiny. Pokud zůstávají na pozemku posklizňové zbytky je nutné je ošetřit tak, aby se rozložily pokud možno ještě na podzim, případně časně na jaře. Pozdější rozklad může snížit výnos a zhoršuje technologickou jakost zrna. Množství i chemické složení organických zbytků, zanechaných na pozemku po předplodině, se může značně lišit v závislosti na konkrétních půdních podmínkách, úrovni výživy, průběhu povětrnosti v době dozrávání, zdravotním stavu atd. (Zimolka et al., 2006). Rozklad posklizňových zbytků urychlíme jejich rozdrčením a úpravou poměru C:N kdy aplikujeme na 1 t slámy cca 6 až 10 kg N. Důležité je, aby se především dusík z posklizňových zbytků uvolnil co nejdříve a byl k dispozici hned na počátku růstu. Pozdější rozklad, ke kterému dochází např. při pozdním zaorání chrástu cukrovky nebo posklizňových zbytků kukuřice, může negativně ovlivnit především kvalitu zrna. Při zaorávání chrástu musíme respektovat také to, že je zde nepříznivý

příliš široký poměr C:P a z toho důvodu se doporučuje na půdách s nízkou nebo pouze vyhovující zásobou této živiny provádět dohnojení v dávce cca 5 kg P (tj. cca 11 kg P₂O₅) na 10 tun organické hmoty (Hřivna et al., 2005). Při aplikaci draselných hnojiv naopak provádíme korekci snížením dávky o hodnotu K obsaženého v posklizňových zbytcích (**algoritmus je součástí softwarové verze rozhodovacích pravidel na příloženém CD**). Vzhledem k tomu, že obsah živin v posklizňových zbytcích může být značně variabilní, je vhodné provést jejich analýzu, kterou provede jakákoliv zemědělská laboratoř. Orientační hodnoty chemického složení posklizňových zbytků uvádí tabulka II.2.2.

Tab.II.2.2: Chemické složení posklizňových zbytků (Richter, Hřivna 2000)

Posklizňové zbytky	% obsah živin					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Sláma pšeničná	0,5	0,09	1,5	0,24	0,06	0,05
Sláma kukuřičná	0,8	0,08	1,6	0,5	0,14	-
Makovina	-	0,14	1,2	1,2	0,13	0,25
Chrást řepný	2,5	0,26	3,7	1,1	0,4	-

Poznámka: Obsah je uveden v % sušiny

Jarní ječmen vyžaduje půdy s neutrální reakcí (pH). Úpravu pH půdy provádíme vápněním již k předplodinám organicky hnojeným (okopaniny, silážní plodiny aj.) nebo ihned po jejich sklizni. Ječmen je citlivý k vyšší půdní kyselosti, zejména je-li hodnota výměnného pH nižší než 6.

Půdní reakci hodnotíme podle tab.II.2.3 a dávku vápenatého hnojiva volíme podle tab.II.2.4.

Tab. II.2.3: Kriteria hodnocení půdní reakce

Hodnota pH	Půdní reakce
do 4,5	extrémně kyselá
4,6 – 5,0	silně kyselá
5,1 – 5,5	kyselá
5,6 – 6,5	slabě kyselá
6,6 – 7,2	neutrální
7,3 – 7,7	alkalická
nad 7,7	silně alkalická

K vápnění používáme výhradně uhličitánové formy vápenatých hnojiv a tam, kde je v půdě nedostatek hořčíku preferujeme dolomitický vápenec. Při stanovení dávky vápenatého hnojiva vycházíme z hodnoty pH/KCl nebo pH/CaCl₂ a zohledňujeme půdní druh a orientujeme se i podle obsahu přístupného Ca v půdě (tab. II.2.5)

Tab. II.2.4: Roční normativy dávek pro ornou půdu v tunách $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Richter et.al 1996)

Lehká půda		Střední půda		Těžká půda	
pH	t $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$	pH	t $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$	pH	t $\text{CaO} \cdot \text{ha}^{-1}$
do 4,5	1,20	do 4,5	1,50	do 4,5	1,70
4,6 – 5,0	0,80	4,6 – 5,0	1,00	4,6 – 5,0	1,25
5,1 – 5,5	0,60	5,1 – 5,5	0,70	5,1 – 5,5	0,85
5,6 – 6,0	0,30	5,6 – 6,0	0,40	5,6 – 6,0	0,50
		6,1 – 6,5	0,20	6,1 – 6,5	0,25

Tab. II.2.5: Hodnocení obsahu přístupného vápníku dle Mehlich III

Obsah	Půda		
	Lehká	střední	těžká
	Vápník ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)		
Nízký	do 1000	do 1100	do 1700
Vyhovující	1001 – 1800	1001 – 2000	1701 – 3000
Dobrý	1801 – 2800	2001 – 3300	3001 – 4200
Vysoký	2801 – 3700	3301 – 5400	4201 – 6600
Velmi vysoký	nad 3700	nad 5400	nad 6600

Fosforečná a draselná, případně hořečnatá hnojiva zapravujeme do půdního profilu již na podzim a při stanovení jejich dávky vycházíme z předpokládaného výnosu a obsahu přístupných živin v půdě. K výpočtu dávky určité živiny počítáme s množstvím živiny odčerpané 1 tunou výnosu zrna včetně příslušného množství slámy (tab. II.2.6).

Tab. II.2.6: Průměrný odběr živin ($\text{kg} \cdot \text{t}^{-1}$) přepočtený na výnos hlavního produktu

N	P	K	Ca	Mg
24,0	5,2	19,9	6,0	1,8

Celkovou dávku pak stanovíme vynásobením hodnoty předpokládaného výnosu v tunách odběrovým normativem. Při stanovení konečné dávky je nutné zohlednit také zásobu přístupných živin v půdě (tabulky II.2.7, II.2.8, II.2.9). Pohybuje – li se obsah dané živiny v oblasti nízké, případně vyhovující zásoby, vypočítanou dávku zvyšujeme o cca 25 – 50 %, je-li naopak obsah dané živiny vysoký, případně velmi vysoký, můžeme dávku snižovat o 50 – 100 % (**postup pro stanovení dávek základního hnojení pro hlavní živiny je součástí programu na CD**).

Tab. II.2.7: Hodnocení obsahu přístupného P v půdě podle Mehlich III

Obsah	Obsah P (mg.kg⁻¹)
Nízký	do 50
Vyhovující	51 – 80
Dobrý	80 – 115
Vysoký	116 – 185
Velmi vysoký	nad 185

Tab. II.2.8: Hodnocení obsahu přístupného K dle Mehlich III.

Obsah	Půda		
	lehká	střední	Těžká
	Draslík (mg.kg⁻¹)		
Nízký	do 100	do 105	do 170
Vyhovující	101 – 160	106 – 170	171 – 260
Dobrý	161 – 275	171 – 310	261 – 350
Vysoký	276 – 380	311 – 420	351 – 510
Velmi vysoký	nad 380	nad 420	nad 510

Tab. II.2.9: Hodnocení obsahu přístupného Mg dle Mehlich III

Obsah	Půda		
	lehká	střední	Těžká
	Hořčík (mg.kg⁻¹)		
Nízký	do 80	do 105	do 120
Vyhovující	81 – 135	106 – 160	121 – 220
Dobrý	136 – 200	161 – 265	221 – 330
Vysoký	201 – 285	266 – 330	331 – 460
Velmi vysoký	nad 285	nad 330	nad 460

II.2.2 Metody pro stanovení základní dávky dusíku před setím

Množství minerálního dusíku v půdě a dynamika jeho uvolňování představují klíčové faktory pro zajištění optimálního výnosu a kvality zrna sladovnického ječmene. Většina dusíku v půdách se nachází v organických látkách, jako jsou posklizňové zbytky, statková hnojiva nebo těla půdních organismů. Rostlinám je tento dusík přístupný až po jeho rozkladu pomocí mikrobů, tzn. po mineralizaci nebo amonizaci (podle vznikajícího amoniaku). Produkovaný amoniak může být dále oxidován na nitrát v procesu nazývaném nitrifikace. Kvantitativní změny jednotlivých forem dusíku mají výrazně sezónní charakter, přičemž obsah minerálního dusíku ($N_{\min}$), tj. sumy amonné a nitrátové formy, je nejvyšší na jaře a druhého maxima dosahuje na podzim.

Množství mineralizovaného dusíku v průběhu vegetačního období by se mělo pohybovat okolo optima pro předpokládaný výnos (na 1 tunu zrna odebere jarní ječmen z půdy přibližně 24 kg N). Při vyšším potenciálu mineralizace vzrůstá riziko ukládání dusíku do zrna ve formě bílkovin a zvyšování obsahu dusíkatých látek v zrnu nad úroveň vhodnou pro sladovnický ječmen. Dynamika uvolňování dusíku má přitom na kvalitu sladovnického ječmene ještě výraznější dopady, než jeho samotné množství. Ječmen potřebuje relativně velké množství dusíku především v první třetině svého vegetačního období, tj. v růstových fázích od tvorby druhého listu do začátku sloupkování. Tento dusík je nezbytný pro podporu odnožování a založení dostatečného počtu produktivních stébel. Jestliže je, při stejném množství mineralizovaného dusíku za vegetační období, posunuto maximum do pozdějších fází (obvykle do poloviny sloupkování), znamená to, že porost trpí v průběhu odnožování nedostatkem dusíku, snižuje se potenciální výnos, a následně uvolněný dusík je ve zvýšené míře ukládán v zrnu. Současně znamená zvýšená nabídka dusíku v polovině sloupkování zvýšené riziko poléhání porostu. Je zřejmé, že celkové množství mineralizovaného dusíku a dynamika jeho uvolňování jsou závislé na mnoha faktorech, především pak na půdních podmínkách, předplodině, zpracování půdy a průběhu počasí.

S ohledem na řadu faktorů (a jejich vzájemných interakcí), které se podílejí na průběhu mineralizace, je predikce potenciálního uvolňování minerálního dusíku poměrně složitá. Z tohoto důvodu jsou nadále vyvíjeny metody, které umožňují zpřesnění odhadu potenciálně mineralizovatelného dusíku a doplňují již zavedené postupy stanovení a korekce základní dávky dusíku na základě obsahu $N_{\min}$ zjištěného ve vzorcích půdy odebraných v předjaří.

II.2.2.1 Korekce dávky dusíku podle obsahu $N_{\min}$ v půdě

Jak již bylo uvedeno výše, pro rostliny ječmene je významný obsah minerálního dusíku ($N_{\min}$) v půdě především na jaře. Hodnoty zjištěné u vzorků půdy odebraných v předjaří jsou proto důležitým ukazatelem pro určení základní dávky. Její výše se řídí výrobní oblastí a předpokládaným výnosem plodiny, pohybuje se zpravidla v rozmezí 20 – 70 kg N na 1 ha a podle obsahu minerálního dusíku v půdě ji korigujeme.

Korekce podle obsahu $N_{\min}$ v půdní vrstvě 0 – 30 cm

Vzorky pro stanovení $N_{\min}$ odebíráme v předjaří (konec února, začátek března) z hloubky 0 – 30 cm. Při vlastním hnojení dusíkem se pak řídíme údaji uvedenými v tab. II.2.10. Dosažené hodnoty představují okamžitý stav obsahu $N_{\min}$ v půdě, a proto by měly být využity ke hnojení co nejdříve.

Tab. II.2.10: Kritéria hodnocení $N_{\min}$ v půdě pro hnojení jarního ječmene dusíkem (podle Wickeho, upraveno autory)

Výrobní oblast	Obsah $N_{\min}$ (mg.kg ⁻¹)	Dávka N (kg.ha ⁻¹)
Obilnářská, Bramborářská	< 7	70
	7 – 12	60
	12 – 22	40
	> 22	20
Řepařská	< 7	60
	7 – 13	50
	13 – 23	30
	23 – 30	0
	> 30	podmínky méně vhodné pro slad. ječmen

Z praktického hlediska se může zdát výhodnější uvádění obsahu minerálního dusíku v půdě v kg.ha⁻¹, čehož dosáhneme vynásobením hodnoty v mg.kg⁻¹ koeficientem 4,5 (při odběru půdy z vrstvy do 30 cm). Získaná zásoba půdního minerálního dusíku v kg.ha⁻¹ by neměla přesahovat jeho potřebu na předpokládaný výnos. Počítáme-li s výnosem zrna na úrovni 6 tun z hektaru, činí potřeba dusíku cca 120 kg.ha⁻¹. Dávku dusíku pro základní hnojení pak určíme podle následujícího vzorce:

$$N_z = N_{pu} - (N_{\min} \cdot 4,5)$$

N_z = dávka dusíku v kg.ha⁻¹ na základní hnojení

N_{pu} = potřeba N na předpokládaný výnos v kg N.ha⁻¹

$N_{\min}$ = obsah $N_{\min}$ ve vrstvě 0 – 0,3 m před hnojením v mg.kg⁻¹

4,5 = přepočítací koeficient množství dusíku v mg.kg⁻¹ zeminy na kg.ha⁻¹

Příklad výpočtu dávky dusíku:

V půdním profilu 0 – 30 cm byl stanoven o obsah $N_{\min}$ ve výši 10 mg.kg⁻¹.

Po vynásobení koeficientem 4,5 činí jeho zásoba 4,5 x 10, tj. 45 kg.ha⁻¹.

Potřeba hnojení dusíkem tedy činí:

$$N_z = N_{pu} - (N_{\min} \cdot 4,5)$$

$$N_z = 120 \text{ kg N} - 45 \text{ kg N} = 75 \text{ kg N.}$$

Korekce podle obsahu $N_{\min}$ v půdní vrstvě 0 – 60 cm

Pokud máme možnost odebrat půdní vzorek z hloubky 0 – 60 cm, lze dávku dusíku pro základní hnojení jarního ječmene určit z podobného vzorce jako v předchozím případě:

$$N_z = N_{pu} - (N_{\min} \cdot 9)$$

Přepočítávací koeficient množství dusíku v mg.kg⁻¹ zeminy na kg.ha⁻¹ je pro půdní vrstvu 0 – 60 cm roven 9.

Pomocným ukazatelem popisujícím intenzitu jednotlivých přeměn půdního dusíku, především pak nitrifikaci, je **poměr nitrátového a amonného dusíku** ($N\text{-NO}_3^-/N\text{-NH}_4^+$). Znalost tohoto parametru je využitelná zejména při rozhodování o formě aplikovaného hnojiva. Pokud je hodnota poměru $N\text{-NO}_3^-/N\text{-NH}_4^+$ vyšší než 10, je intenzita nitrifikace vysoká a limitujícím faktorem se stává nedostatek amonného dusíku. Naopak nízké hodnoty (pod 2) signalizují nadbytek amonného dusíku a nevhodné podmínky pro nitrifikaci.

Stanovení dávek dusíku podle obsahu $N_{\min}$ v půdní vrstvě 0 – 30 cm je součástí programu SLAD08 na přiloženém CD.

II.2.2.2 Prognóza uvolňování dusíku během vegetačního období inkubační metodou

Značná část organických forem dusíku podléhá za příznivých podmínek (teplo, vlhko) mineralizaci a uvolňuje se tak do forem přístupných pro rostliny. Tento proces, je-li v půdě dostatek těchto látek, může probíhat velmi intenzivně a poměrně rychle, což se projeví ve značné dynamice změn obsahu přístupného N v půdě. Tento stav je pozitivní v období, kdy potřebují rostliny ječmene velké množství dusíku pro tvorbu výnosotvorných prvků. Značné čerpání dusíku bylo zaznamenáno v období odnožování a první polovině sloupkování porostu. Jsou-li v tomto období příznivé podmínky pro mineralizaci, nedochází ke stresování rostlin v důsledku nedostatku N. Později během vegetačního období je ovšem uvolňování většího množství dusíku z lehce hydrolyzovatelných forem nežádoucí, protože může dojít k nepříznivému ovlivnění kvality zrna. Inkubační metoda umožňuje stanovit obsah lehce hydrolyzovatelného dusíku v půdě, což lze využít k prognóze možnosti jeho uvolňování během vegetace v kontextu s průběhem povětrnosti a zároveň lze provést příslušné korekce ve výživě, tj. ve stanovení celkové dávky N a určení aplikačních termínů. Pozdní odběrové termíny pak mohou přispět ke stanovení míry rizika promítajícího se do kvality produkce.

Princip metody

Půdní vzorky jsou odebírány z hloubky 0 – 30 cm. Po vysušení při 40 °C, podrcení a získání jemnozemě je stanoven minerální dusík, resp. suma amonného a nitrátového dusíku, před inkubací. Zemina je po té smíchána s pískem (v poměru 1:1), ovlhčena na 60 % MVK a inkubována 7 dní při 28 °C. Od minerálního dusíku stanoveného po inkubaci je odečten minerální dusík zjištěný před inkubací a rozdíl udává obsah lehce hydrolyzovatelného dusíku.

Dostupnost, výhody a rizika využití metody

Prezentovaná metoda nemá zvláštní požadavky na laboratorní vybavení a je proveditelná v kterékoliv řádně vybavené agrochemické laboratoři. Základem je termostat s nastavení konstantní teploty po dobu 7 dnů.

Základní dávky dusíkatých hnojiv jsou běžně stanovovány na základě množství minerálního dusíku v půdě na začátku jara (viz kapitola II.2.2.1). Obsah minerálního dusíku v půdě však podléhá značné dynamice a jeho stanovení tak vystihuje pouze aktuální stav. Výhoda inkubační metody spočívá v predikci množství dusíku, který se v půdě uvolní během vegetační

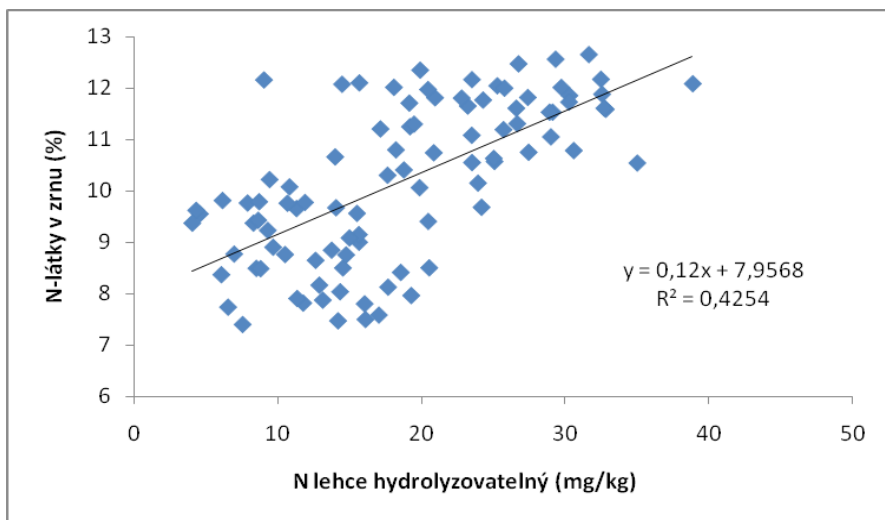
doby ječmene (a bude tedy potenciálně přístupný pro rostliny). Metoda byla opakovaně testována zatím pouze v oblasti Židlochovicka v Žabčicích. Pro širší uplatnění v praxi bude nutné její ověření i v jiných půdně-klimatických podmínkách.

Interpretace výsledků

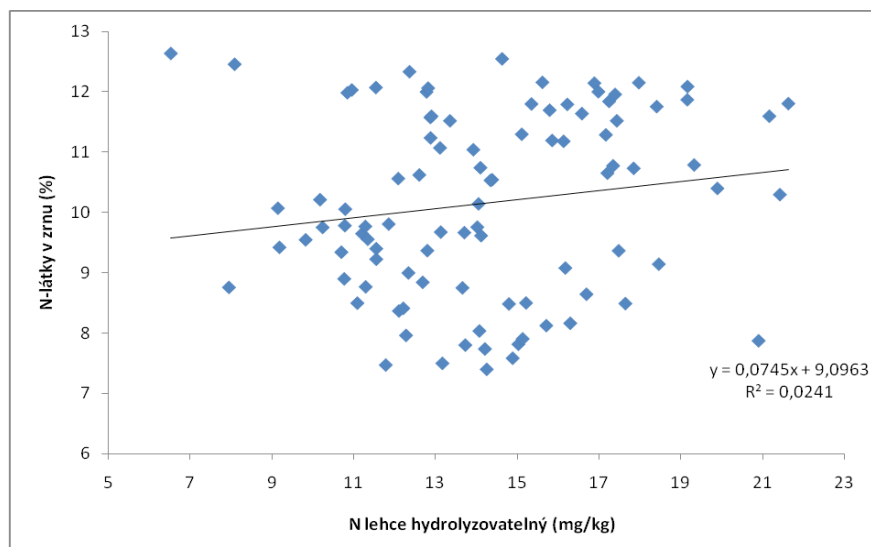
Metoda byla testována v přesných polních pokusech na experimentální stanici Školního zemědělského podniku Žabčice. Lokalita se nachází v kukuřičné výrobní oblasti, půdu lze charakterizovat jako středně těžkou, půdním typem je fluvizem glejová, obsah humusu v ornici činí 2,44 % a poměr humínových kyselin a fulvokyselin 0,49. Sorpční komplex je nasycený ($KVK = 235 \text{ mmol chem. ekv.} \cdot \text{kg}^{-1}$) a půdní reakce je v celém profilu neutrální ($pH = 6,7$).

Ve všech pokusných ročnících zahrnovalo sledování tři předplodiny (cukrovka, pšenice a kukuřice) a dvě odrůdy jarního ječmene (Jersey a Sebastian). Rozdílné výchozí podmínky z hlediska obsahu dusíku v půdě byly na pokusných parcelách navozeny aplikací různě vysokých dávek dusíku v rozdílných formách (ammoné a amidické) v rámci předseťového hnojení. Obsah lehce hydrolyzovatelného dusíku v půdě byl sledován vždy před založením porostu a během odnožování (DC 23), odběry byly prováděny jak z orniční vrstvy, tak z podorničí. Množství lehce hydrolyzovatelného dusíku v půdě bylo vztaženo k obsahu dusíkatých látek zjištěnému ve vzorcích zrna sklizeného z jednotlivých pokusných parcel.

Na základě nalezených závislostí (viz obr. II.2.1 a obr. II.2.2) je patrné, že množství lehce hydrolyzovatelného dusíku v orniční vrstvě může být prakticky využitelným kritériem pro rozhodování o dávkách dusíku aplikovaných v raných vegetačních fázích ječmene. Hodnoty zjištěné v podorničí jsou obecně nižší a ukazují vyšší variabilitu.



Obr. II.2.1: Vztah mezi množstvím lehce hydrolyzovatelného dusíku v ornici (0 – 30 cm) a obsahem dusíkatých látek v zrně



Obr. II.2.2: Vztah mezi množstvím lehce hydrolyzovatelného dusíku v půdě (hloubka profilu 0 – 60 cm) a obsahem dusíkatých látek v zrně

II.2.2.3 Diagnostika potenciálně mineralizovatelného dusíku s využitím extrakce amonného dusíku pomocí horkého KCl

S ohledem na řadu faktorů (a jejich vzájemných interakcí), které se podílejí na průběhu mineralizace, je predikce potenciálního uvolňování minerálního dusíku poměrně složitá. Z tohoto důvodu jsou vyvíjeny metody, které umožňují zpřesnění odhadu potenciálně mineralizovatelného dusíku, obvykle na základě použití speciálních extrakčních postupů. Jednou z nejperspektivnějších metod se dle řady autorů zdá být extrakce amonného dusíku pomocí horkého KCl.

Predikce potenciálně mineralizovatelného dusíku by měla praxi sloužit při rozhodování, zda je daná lokalita vhodná pro pěstování sladovnického ječmene a případně zda je nutné technologii doplnit o opatření podporující vysokou výnosovou úroveň a tím zředování uvolněného dusíku.

Princip metody

Tato metoda vychází z práce Smith a Li (1993) a následně byla ověřena a rozvinuta řadou dalších autorů. V této práci byla sledována závislost mezi obsahem amonného dusíku extrahovaného v horkém KCl, a odběrem dusíku rostlinami ječmene. Hodnota korelačního koeficientu pro tento vztah činila 0,81. Pro analýzu se používají čerstvé nebo zamražené vzorky půdy odebírané z hloubky 0 – 30 cm. Po odběru se vzorky prosévají přes síto s velikostí ok 3 mm, aby se odstranily kamínky, kořeny a nerozložené organické zbytky. Následně se stanoví vlhkost vzorku. Pro vlastní analýzu se využívá 10 g vzorku (přepočet na sušinu). Vzorek se dá do extrakční nádoby o objemu 250 ml a zalije se 50 ml 2 M roztoku KCl. Nádobka se uzavře hodinovým sklíčkem a provede se extrakce v lázni o teplotě 100°C. Extrakce probíhá po dobu 1 hodiny. Po vychlazení se suspenze doplní destilovanou vodou na objem 100 ml, a následně přefiltruje. Ve filtrátu se pak provede stanovení amonného dusíku standardními metodami.

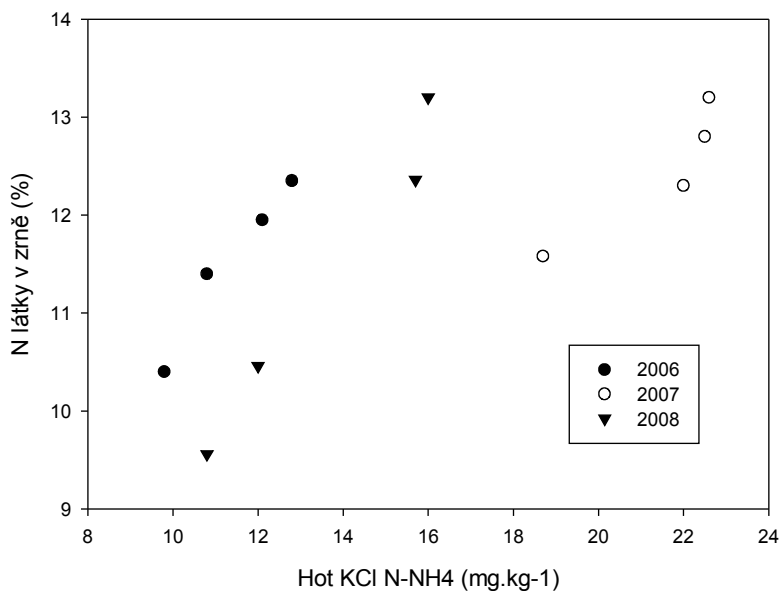
Dostupnost, výhody a rizika využití metody

Metoda není náročná na analytické vybavení a je proveditelná v běžné laboratoři specializované na analýzy půdních vzorků. Pro samotnou extrakci je nejvhodnější olejová lázeň, o kterou musí být laboratoř případně doplněna. Hlavní výhodou metody je skutečnost, že poskytuje integrální údaj o potenciální mineralizaci za delší období, zatímco obsah minerálního dusíku reprezentuje pouze aktuální stav parametru, který se velmi rychle mění v důsledku mineralizace, vyplavování a odběru rostlinami. Metoda byla zatím ověřena pouze pro půdní podmínky okolí Kroměříže, i když snahou bylo

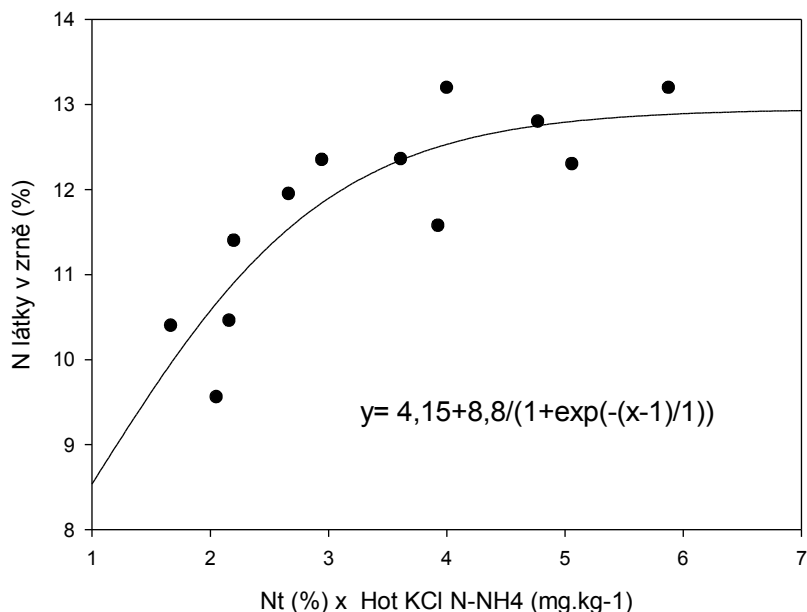
postihnout co největší rozpětí půdních podmínek a předplodin. Pro půdní podmínky zásadněji odlišné od půd v oblasti Kroměřížska bude nezbytná validace metody a případná rekaliibrace pro tuto oblast. Současně je nutné počítat s neověřenými efekty v případě neobvyklého průběhu počasí.

Interpretace výsledků a rozhodovací pravidla

Vývoj metody probíhal na několika pokusných lokalitách v blízkosti Kroměříže, které se částečně odlišovaly obsahem humusu, pH, půdním druhem apod. po dobu tří let (2006 až 2008). Ve všech ročnících bylo ověřování prováděno po čtyřech předplodinách (ozimá pšenice, cukrovka, kukuřice na zrno, ozimá řepka). Metoda byla ověřována v podmínkách experimentu, kde se sledoval obsah živin v rostlinách (AAR) v polovině odnožování, struktura porostu, výnos a obsah dusíkatých látek v zrně. Ve všech ročnících byly minimálně třikrát za vegetaci odebírány vzorky půdy z hloubky 0 – 30 cm (v letech 2007 a 2008 také z hloubky 30 – 60 cm) pro analýzy obsahu minerálního dusíku v půdě. Stanovení obsahu amonného dusíku v horkém KCl bylo prováděno vždy na začátku jara před výsevem (dle počasí konec února až začátek dubna). V letech 2007 – 2008 bylo kromě tohoto termínu provedeno stanovení amonného dusíku v horkém KCl také ve dvou termínech v průběhu vegetačního období, a to v hloubkách 0 – 30 cm a 30 – 60 cm. Cílem tohoto sledování bylo zjistit, jak se hodnoty obsahu amonného dusíku mění v čase a jak hodnoty zjištěné v ornici odpovídají situaci v podorniči. Vzhledem k tomu, že potenciální mineralizace je klíčový faktor především pro obsah dusíkatých látek v zrně, byla interpretace výsledků směřována především k tomuto parametru. Na obr. II.2.3 jsou vynesena data stanovení obsahu amonného dusíku v horkém KCl a odpovídající hodnoty obsahu dusíkatých látek v zrně (nehnojené parcely). Z tohoto grafu je zřejmý jednoznačný charakter závislosti avšak poměrně vysoký rozptyl hodnot. Současně je také patrné, že data tvoří samostatné závislosti pro jednotlivé ročníky. Jako parametr, který by měl přispět ke zlepšení predikce potenciální mineralizace na celou vegetaci a predikce obsahu dusíkatých látek v zrně jsme proto použili celkový obsah dusíku N_t . Násobek N_t s amonným dusíkem extrahovaným v horkém KCl byl vztažen k obsahu dusíkatých látek v zrně (u nehnojených variant) a výsledná závislost je patrná z obr. II.2.4. Z grafu je zřejmá vyšší těsnost závislosti dokumentovaná korelačním koeficientem $R=0,86$. Jedná se ovšem o asymptotickou závislost (s horním limitem) což znamená, že při vyšších hodnotách se přesnost predikce zhoršuje. Jedná se ovšem o případy, kdy obsah dusíkatých látek v zrně překračuje 12 % a jde již o hodnoty pro sladovnický ječmen nevhodné.

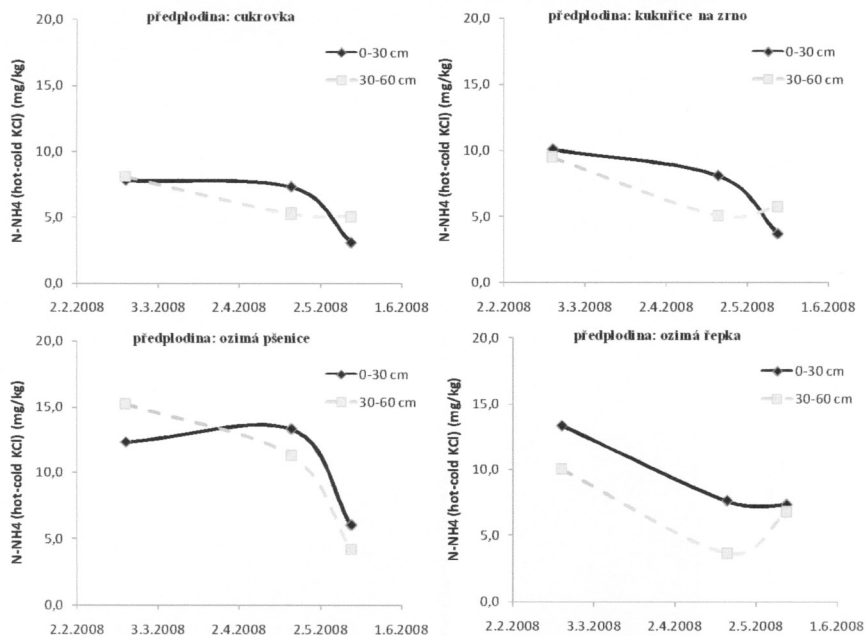


Obr. II.2.3: Vztah mezi množstvím amonného dusíku extrahovaného v horkém KCl před setím ječmene z vrstvy 0 – 30 cm a konečným obsahem dusíkatých látek v zrně samostatně pro jednotlivé ročníky



Obr. II.2.4: Závislost mezi násobkem obsahu celkového dusíku a amonného dusíku extrahovaného v horkém KCl (stanoveno před setím ječmene z vrstvy 0 – 30 cm) ke konečnému obsahu dusíkatých látek v zrně

Z pozorování změn obsahu amonného dusíku extrahovaného pomocí horkého KCl (obr. II.2.5) a porovnání této dynamiky v ornici a podorničí, můžeme konstatovat, že tyto hodnoty jsou poměrně stabilní především v první polovině vegetační doby ječmene a že rozdíly mezi ornicí a podorničím jsou z pohledu potenciální mineralizace překvapivě velmi malé. Tento fakt ukazuje na skutečnost, že tento parametr není rychle ovlivňován změnami počasí, vyplavováním, nebo odběrem rostlinami ale mění se (klesá) jen pomalu, tak jak dochází k vyčerpávání těchto zásob mineralizací. To je velmi důležité právě pročasné jaro před setím ječmene, kdy variabilita počasí může značně ovlivnit hodnoty obsahu minerálního dusíku. Současně je patrné, že údaj z ornice poskytuje velmi dobrý údaj o potenciální mineralizaci až do hloubky 60 cm a není nezbytně nutné dělat tyto rozbory i pro podorničí.



Obr. II.2.5: Dynamika potenciálně mineralizovatelného dusíku stanovená jako amonný dusík po extrakci v horkém KCl pro jednotlivé předplodiny a dvě půdní vrstvy (0 – 30 cm a 30 – 60 cm) v roce 2008

II.2.3 Metody založené na diagnostice hustoty porostu

II.2.3.1 Význam vyhodnocení hustoty porostu pro pěstitelské technologie ječmene

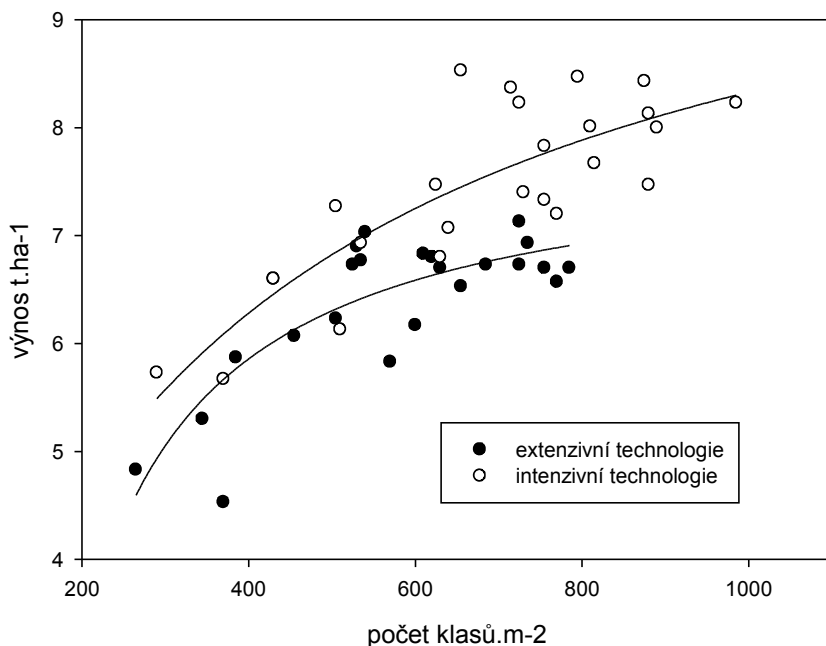
Cílem řízení struktury porostů sladovnického ječmene je optimalizace výnosů, dosažení vysoké kvality sladovnického ječmene a zajištění maximální ekonomické efektivity pěstování. Optimální struktura porostu je dána především hustotou porostu definovanou nejčastěji jako počet rostlin nebo počet produktivních stébel na jednotku plochy a také počtem odnoží na rostlinu a jejich velikostní variabilitou. Hustota porostu patří vedle dusíkaté výživy, předplodiny a odrůdy k nejdůležitějším vstupním parametrům, ze kterých je nutné vycházet při objektivním řízení pěstitelských technologií sladovnického ječmene, přičemž jako základní prvek struktury porostu ovlivňuje řadu součástí pěstitelské technologie od výživy, přes poléhání, napadení chorobami až po výnos a kvalitu zrna.

Význam hustoty porostu pro výnos

Význam hustoty porostu je dán především skutečností, že hlavním výnosovým prvkem je u jarního ječmene dostatečný počet produktivních stébel. Pro zajištění výnosového maxima současných odrůd jarního ječmene je nutné při současné vysoké intenzitě pěstování dosáhnout počtu klasů nad $1000 \cdot \text{m}^{-2}$. Jestliže se snižuje intenzita pěstování, nebo se jedná o méně příznivé půdní podmínky či méně vhodnou předplodinu, je maximálního výnosu dosahováno při nižších hustotách, které se pohybují okolo 700 až 900 klasů $\cdot \text{m}^{-2}$ (obr. II.2.6). Pro dané podmínky a technologii tedy můžeme hovořit o tzv. cílové hustotě, která je nezbytná pro dosažení maximálního výnosu. Pěstitelská technologie by tedy na jedné straně měla směřovat k dosažení cílové hustoty, ale na straně druhé musí být také přizpůsobena dané hustotě a to proto, že možnosti ovlivnění hustoty v průběhu vegetačního období jsou relativně malé. Zvyšování počtu klasů nadměrným odnožováním je poměrně neúčinné vzhledem k tomu, že při vyšším počtu odnoží se zvyšuje i následná redukce odnoží a především odnože vyššího řádu dosahují významně nižší produktivity klasu. Zvýšený podíl odnoží vyšších řádů znamená obvykle také jejich větší nevyrovnanost, opožděné dozrávání, výskyt tzv. zelených klasů ve zralém porostu, snižování podílu předního zrna a zvyšování obsahu dusíkatých látek v zrně. Optimálně by se měl počet klasů na rostlinu pohybovat do hodnoty 2,5. Nad tuto úroveň již dochází k poklesu výnosu v přepočtu na jeden klas. Navíc je dosažení vyšších hodnot než 2,5 v praxi obtížně dosažitelné. Přestože současné odrůdy vykazují velmi dobrou odnožovací schopnost, a není výjimkou i více než 6 odnoží na jednu rostlinu, obvykle v průběhu sloupkování dochází k rychlé redukci počtu odnoží, která je

podporována nepříznivými půdními podmínkami (utužení, nízký obsah humusu), suchým počasím (které je pro naše podmínky v jarním období poměrně typické), nevhodnou předplodinou společně s nedostatečně rozloženými posklizňovými zbytky (především obilnina a kukuřice na zrno) či nedostatky ve výživě. Hodnoty počtu klasů na rostlinu nad 2,5 jsou proto dosažitelné pouze na úrodných půdách a ve vláhově příznivých ročnících. Jestliže budeme za optimální hodnotu považovat 2,3 klasu na rostlinu, pak pro dosažení maximálního výnosu (počet klasů $900 - 1000.m^{-2}$) bychom měli zajistit hustotu porostu přibližně 400 rostlin. m^{-2} . Z obr. II.2.6 je patrné, že výnosový efekt vyšší úrovně intenzity roste se zvýšenou hustotou. To znamená, že zvýšená intenzita pěstitelské technologie se vyplácí až při vyšších hustotách porostu a podle jeho aktuální hustoty by měla být intenzita pěstitelské technologie přizpůsobena. Typickým opatřením, které by mělo být přizpůsobeno hustotě porostu je dusíkatá výživa. Nejen že je dodání dusíku nad potřeby potenciálního výnosu neefektivní, ale způsobuje také navazující problémy s poléháním porostu a především pak se zhoršením kvalitativních parametrů zrna (především obsahu dusíkatých látek v zrnu).

Hustota porostu stanovená na začátku vegetační doby ječmene (v růstové fázi 1. až 2. listu) tedy může sloužit pro stanovení výnosového maxima a navazujícímu přizpůsobení intenzity pěstitelské technologie danému maximu pro zajištění vysoké efektivity pěstování.



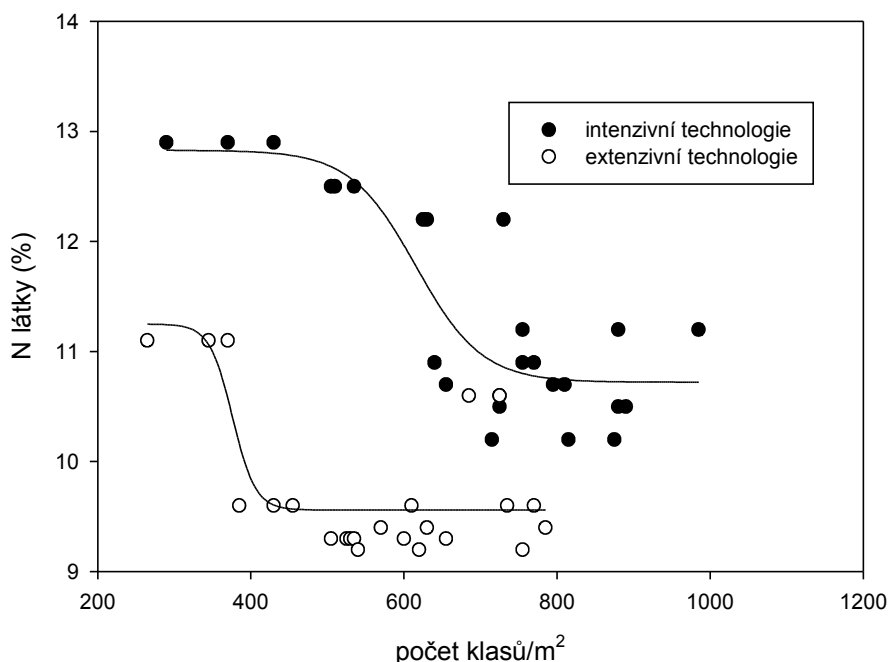
Obr. 11.2.6: Závislost mezi hustotou porostu (počet klasů.m⁻²) a výnosem zrna pro intenzivní technologii (vyšší dávky N, intenzivní ochrana proti chorobám, intenzivní používání morforegulátorů) a extenzivní technologii (pouze aplikace herbicidů) pěstování sladovnického ječmene

Význam hustoty porostu pro kvalitu zrna

Kvalita zrna sladovnického ječmene je ovlivňována řadou podmínek, které často působí ve složitých interakcích, a mohou být příčinou rozdílné ročníkové reakce na daný faktor. Podobně je tomu i u vztahu mezi hustotou porostu a kvalitou ječmene. Přesto je možné hustotu porostu považovat za klíčový faktor především z pohledu obsahu dusíkatých látek v zrně. Dosavadní výsledky ukazují, že zvyšování počtu klasů na jednotku plochy (do určitého optima) vede ke snižování obsahu dusíkatých látek v zrně. Tento vztah je patrný z obrázku 11.2.7. Při vyšším počtu klasů (a odpovídajícím zvýšení výnosu) dochází ke zředňovacímu efektu, přičemž dostupný dusík se ukládá do bílkovinných struktur zrna v nižších koncentracích, než při nízkých hustotách. Tento efekt je za určitých okolností možné pozorovat i u působení

dusíkaté výživy. Jestliže je dusík aplikován před začátkem odnožování a je plně k dispozici rostlinám v průběhu odnožování (dostatek vláhy), je tento dusík využit na tvorbu zvýšeného počtu silných odnoží, které vytvářejí základ pro zvýšený počet produktivních stébel. V těchto případech pak má dusíkatá výživa (prostřednictvím zvýšení počtu klasů) paradoxní dopad na snížení obsahu dusíkatých látek v zrně. V ročníku se suchým jarním počasím nebo po předplodinách, kde v půdě zůstalo velké množství nerozložených posklizňových zbytků (kukuřice na zrno, obilnina se zaorávanou slámou nebo i pozdě sklizená cukrovka) je dostupnost aplikovaného dusíku pro rostliny v průběhu odnožování redukována a naopak dochází k jeho využívání až v pozdějším období, což vede ke zvyšování obsahu dusíkatých látek v zrnu. To je i případ intenzivní technologie na obr. II.2.7. Je zřejmé, že v tomto případě sehraje dostatečná hustota zásadní roli pro snížení obsahu dusíkatých látek. Pokles hustoty pod 700 klasů.m⁻² je provázen rychlým vzestupem obsahu dusíkatých látek nad limit pro kvalitní sladovnický ječmen.

Vyhodnocení hustoty porostu, především v období na konci sloupkování (kdy je možné odhadnout předpokládaný počet produktivních stébel) pak má praktické využití pro identifikaci částí pozemku, nebo celých pozemků s rizikem zvýšeného obsahu dusíkatých látek v zrně. Tyto plochy je pak možné sklízet a skladovat odděleně, tak aby byla omezena rizika smísení kvalitních partií s partiemi s nízkou kvalitou a znehodnocení velkých partií sladovnického ječmene. V případě, že se jedná o hraniční hustotu pro zvyšování obsahu dusíkatých látek (okolo 600 – 700 klasů.m⁻²) je možné u těchto ploch uplatnit opatření prodlužující vegetaci (aplikace strobilurinových fungicidů, nebo aplikace růstových stimulátorů), vedoucí ke změně v poměru ukládaných látek ve prospěch škrobu a tím ke snížení obsahu dusíkatých látek.



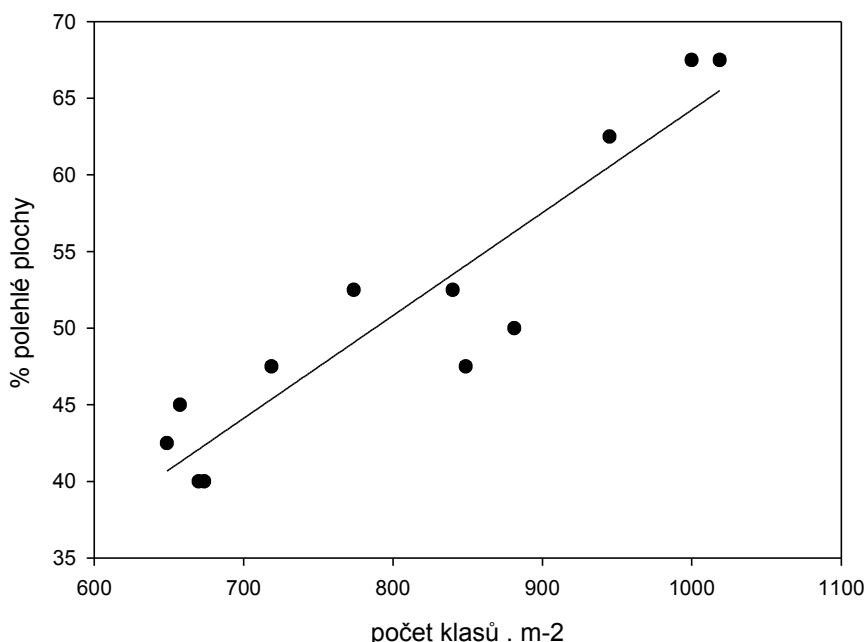
Obr. II.2.7: Závislost mezi hustotou porostu (počet klasů na jednotku plochy) a obsahem dusíkatých látek v zrně. Závislost je vyjádřena samostatně pro intenzivní technologii (s vyššími dávkami dusíku) a extenzivní technologii (nehnojenou dusíkem).

Význam hustoty porostu pro poléhání

Dosavadní zkušenosti ukazují, že pro výslednou úroveň poléhání má význam především množství mineralizovaného dusíku ke konci odnožování a v průběhu sloupkování a také odrůda. Hustota porostu má sice nižší význam, přesto do značné míry může modifikovat výslednou úroveň poléhání. Z lineární závislosti zobrazené v obrázku II.2.8 je patrné, že při zvýšení hustoty z 600 na 1000 klasů.m⁻² může dojít téměř ke zdvojnásobení úrovně poléhání. Tyto výsledky byly získány pro kombinaci ovlivnění konečné hustoty výsevkem (počet rostlin) i pěstitelskou technologií (počet odnoží), přičemž vliv na poléhání se příliš neliší a rozhodující je dosažená hustota. Současně je ale nutné mít na paměti, že hustota pouze modifikuje základní podmínky pro poléhání (především nabídku dusíku v průběhu sloupkování), přičemž při nepříznivých podmínkách pro poléhání nemusí k poléhání docházet ani u

hustého porostu a naopak při silné úrovni poléhání nemusí nižší hustota znamenat snížení úrovně poléhání.

Vyhodnocení hustoty porostu ke konci sloupkování může (společně se znalostí stavu dusíkaté výživy a odolnosti odrůdy k poléhání) sloužit jako důležitý rozhodovací parametr pro stanovení dávky aplikovaných morforegulátorů. Obecně lze kalkulovat s možností snížení dávky regulátorů růstu přibližně o 25% při poklesu hustoty o 200 klasů.m⁻².



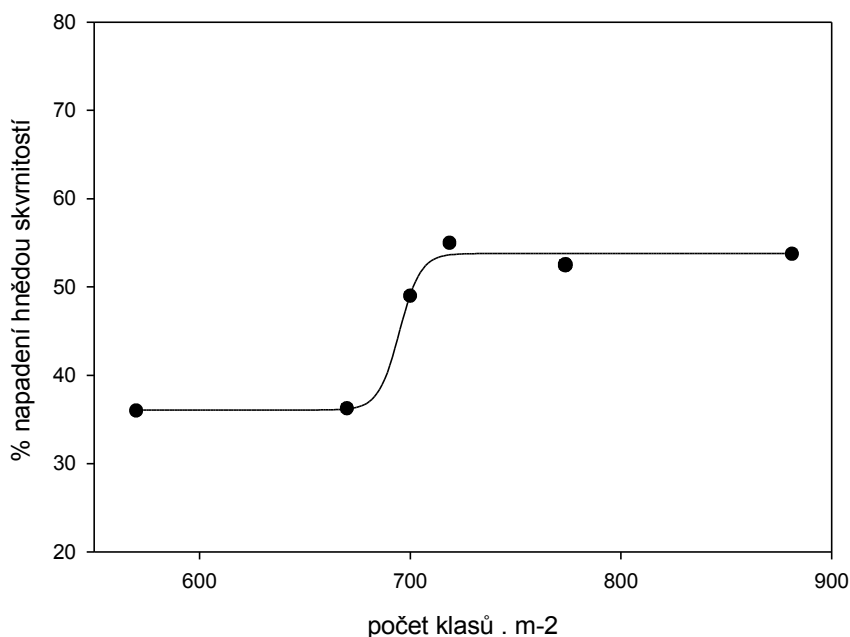
Obr. II.2.8: Závislost mezi hustotou porostu (počet klasů na jednotku plochy) a relativním podílem polehlé plochy. Výsledky jsou z pokusů s odstupňovanou úrovní hustoty výsevu a dvěma úrovněmi intenzity pěstitelské technologie.

Význam hustoty pro napadení chorobami a aplikace fungicidů

Pro šíření většiny houbových chorob vytváří hustý porost příznivější podmínky, než porost řídký. To je dáno zčásti udržováním mikroklimatu s vysokou vlhkostí a zčásti vyšší frekvencí vzájemných kontaktů listů, které přispívají k šíření horizontálně z rostliny na rostlinu, ale i vertikálně mezi

listovými patry. Obecně ovšem má hustota porostu v kontextu významu odolnosti odrůdy a počasí jen malý vliv na rozvoj chorob. To je patrné také ze vztahu mezi počtem klasů na jednotku plochy a napadením praporcového listu hnědou skvrnitostí, která je znázorněna na obr. II.2.9. Rozdíl mezi řídkým a hustým porostem činí v absolutní úrovni napadení přibližně 20%. Význam hustoty porostu pro samotnou ochranu proti chorobám se ovšem zvyšuje s ohledem na skutečnost, že při vyšší hustotě porostu dochází ke zředování systémových fungicidů v biomase rostlin a pro stejnou úroveň účinnosti je nutné používat vyšší dávky fungicidů, než u porostů řídkých.

Součet těchto dvou vlivů hustoty porostu na ochranu proti chorobám již představuje významný potenciál pro přizpůsobení dávek fungicidů, přičemž při poklesu hustoty z 800 na 600 klasů je možné uvažovat o snížení dávek fungicidů o 30 – 40 %.



Obr. II.2.9: Závislost mezi hustotou porostu (počet klasů na jednotku plochy) a napadením praporcového listu hnědou skvrnitostí (náchylná odrůda – Prestige)

II.2.3.2 Vyhodnocení hustoty porostu ječmene pomocí kamer snímajících v červeném pásmu viditelného spektra (650 – 690 nm) a blízkém infračerveném pásmu (750 – 800 nm)

Princip metody

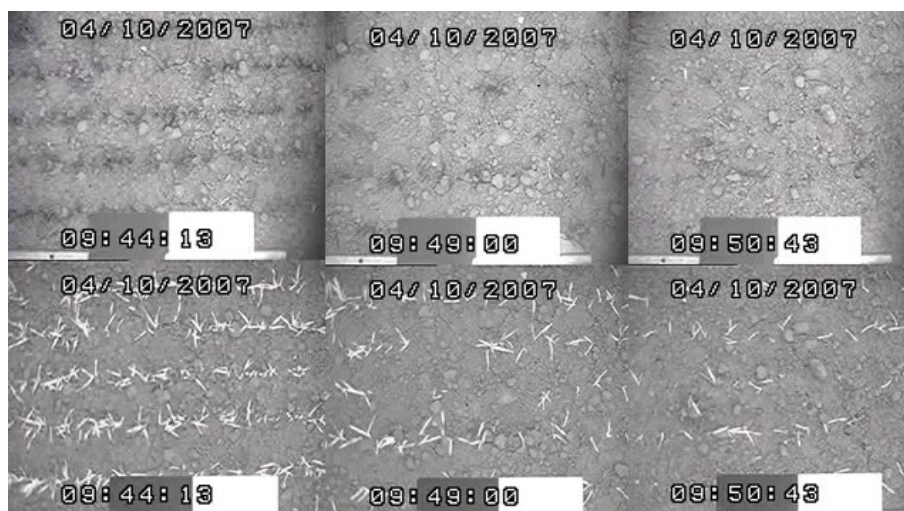
V průběhu růstu ječmene můžeme identifikovat dvě klíčová období, ve kterých je znalost hustoty porostu důležitá pro vysokou efektivnost navazujících opatření pěstitelské technologie:

- a) Fáze prvního až druhého listu, kdy se provádí aplikace základní dávky dusíku (pokud nebyla provedena před setím) a je možné přizpůsobit nejen dávku dusíku ale i všechna následující opatření pěstitelské technologie výnosovému potenciálu, který je definován počtem vzešlých rostlin (především pak dávky fungicidů aplikovaných do první poloviny sloupkování).
- b) Fáze konce sloupkování, kdy následuje hlavní termín ošetření regulátory růstu i hlavní termín pro aplikace fungicidů. Hustota porostu přitom ovlivňuje nejen výskyt chorob či úroveň poléhání ale také účinnost chemické ochrany formou zředování účinné látky.

Z těchto důvodů byla metoda vyvíjena pro tato dvě klíčová období. Metoda je založena na použití dvou komerčních CCTV kamer s CCD čipem o velikosti 1/3". V experimentech byla použita miniaturní kamera v kovovém krytu značky Sony. Jedna z kamer je osazena sadou filtrů propouštějících selektivně záření ve vlnových délkách 650 – 690 (je použito high pass filtru 650 a low pass filtru 690) a druhá filtry propouštějícími záření ve vlnových délkách 750 – 800 nm (filtry high pass 750 a low pass 800 nm). Příklad záběru z obou kamer je na obr. II.2.10. S ohledem na vzdálenost snímaného porostu cca 1 m bylo použito objektivu s ohniskovou vzdáleností 4 mm a FOV 78°. Při použití této vzdálenosti a daného objektivu je snímána plocha pod 1m² a získáváme kvalitně zobrazenou plochu 0,5x 0,5m uprostřed zorného pole, vedle kterého může být snímán ještě kalibrační panel, který je umístěn přibližně 50 cm od objektivu ve spodní části zorného pole. Zvětšování zorného pole není příliš vhodné vzhledem k rostoucím perspektivnímu zkreslení, které pak snižuje přesnost vyhodnocení hustoty. Menšího perspektivního zkreslení může být dosaženo použitím objektivu s vyšší ohniskovou vzdáleností a tudíž nižším FOV. Pro zachycení zorného pole o stejné velikosti by ale například objektiv s ohniskovou vzdáleností 16 mm a FOV 20° musel být umístěn ve vzdálenosti 4 m od porostu. Kalibrační panel byl vyroben z hliníkového plechu, natřeného matnou bílou a černou barvou (čtverce o velikosti 10x10 cm). Vzhledem k tomu že se nejedná o přesné měření absolutních hodnot odrazivosti, ale hustota je vyjadřována na základě poměrů je použití této metody kalibrace dostačující. V případě potřeby

přesného měření absolutních hodnot odrazivosti by bylo nutné použít speciálních barev s vysokou a nízkou difúzní odrazivostí nebo přímo spektralonů s těmito vlastnostmi.

Kamery jsou napájeny 12 V a jsou proto vhodné pro instalaci na traktor či na terénním vozidle. Signál je veden koaxiálním kabelem k záznamníku, kde dochází ke spojení záznamu z obou kamer do jednoho obrazu a k uložení na pevný disk. Následuje zpracování záznamu pomocí software na analýzu obrazu. Ten provede vyhodnocení průměrné intenzity ve stupních 0 – 254 samostatně pro zájmovou plochu porostu (přibližně plocha 0,5 x 0,5m), bílou a černou kalibrační plochu. Relativní odrazivost R_x je pak vyjádřena vzorcem $R_x = (I_p - I_{\text{č}}) / (I_b - I_{\text{č}})$, kde I_p je intenzita porostu, I_b intenzita bílé kalibrační plochy a $I_{\text{č}}$ intenzita černé kalibrační plochy a to samostatně pro pásmo $\lambda = 650\text{--}690\text{ nm}$ a $\lambda = 750\text{--}800\text{ nm}$. Následně se provede výpočet jednoduchého poměru SR (simple ratio) $SR = R_{650-690} / R_{750-800}$. Tento poměr je přímo vztažen k hustotě porostu.



Obr. 11.2.10: Záběry z obou kamer v růstové fázi ječmene DC 11-12 (1. až 2. list) pro tři hustoty porostu. Nahoře záběr z kamery snímající v pásmu 650 až 690 nm (jedná se o pásmo silně absorbované chlorofylem a proto jsou rostliny tmavé), dole záběry z kamery snímající v pásmu 750 až 800 nm (jedná se o pásmo velmi málo rostlinami absorbované a proto jsou rostliny světlé).

Dostupnost, výhody a rizika využití metody

Metoda zatím není komerčně dostupná a je zřejmé, že pro uvedení do praxe bude nutný ještě určitý technický vývoj jak ze strany snímání (kamery, záznam obrazu), tak i vyhodnocení dat. Z pohledu agronomické interpretace výsledků je ovšem vývoj možné považovat za dokončený. Přesto nelze vyloučit vliv některých faktorů na přesnost metody. Jednou z otázek, které by měly být dále ověřeny je například vliv odrůdy a případná potřeba odrůdové kalibrace. Hlavním limitem využití metody je ale v současné době nalezení výrobce, který by byl ochoten investovat do technického vývoje a následně zařízení vyrábět.

Interpretace výsledků a rozhodovací pravidla

Vyhodnocení jednoduchého poměru odrazivosti SR pomocí spektrálních kamer umožňuje relativně spolehlivý odhad hustoty porostu ječmene ve fázi 1. až 2. listu (počet rostlin - obr. II.2.11) i konce sloupkování (počet klasů - obr. II.2.12). V růstové fázi 1. až 2. listu (DC 11–12) se hodnoty SR pohybují v rozmezí 0,7–1. Vysoké hodnoty znamenají nízkou hustotu a naopak nízké hodnoty (okolo 0,7) představují vysokou hustotu porostu. Na konci sloupkování (DC 37–41) jsou hodnoty SR nižší a pohybují se v rozpětí 0,2–0,6.

Při interpretaci výsledků je možné postupovat dvojím způsobem. Při prvním je nejdříve proveden odhad hustoty porostu a následně je od ní odvozen predikovaný parametr, jako je například předpokládaný výnos, obsah dusíkatých látek v zrně, poléhání, napadení hnědou skvrnitostí. Tento postup vnáší do odhadu dvojitou chybu, a proto je vhodnější provádět přímý odhad požadovaných parametrů na základě poměru odrazivosti SR. Prvním příkladem takové přímé závislosti je vztah k výnosu zrna (obr. II.2.13). Tato závislost má sigmoidní charakter a je vyjádřena samostatně pro vysokou intenzitu (vyšší dávky dusíku, dvojitá aplikace plných dávek fungicidů, plné dávky regulátorů růstu) a nízkou intenzitu (bez aplikace dusíku, fungicidů i regulátorů růstu).

Na základě těchto závislostí je možné odhadnout potenciální výnos pro danou hustotu a předpokládanou úroveň intenzity a vypočítat celkovou dávku dusíku nezbytnou pro tento výnos. Pokud uvažujeme s potřebou 24 kg N na tunu zrna sladovnického ječmene, pak například pro potenciální výnos zrna 7 t činí potřeba dusíku 168 kg.ha⁻¹. Pro stanovení dávky dusíku aplikované v DC 11–12 ječmene je nutné od tohoto čísla odečíst aktuální množství minerálního dusíku v hloubce do 60 cm a odhadnuté množství dusíku potenciálně mineralizovatelného do konce vegetačního období.

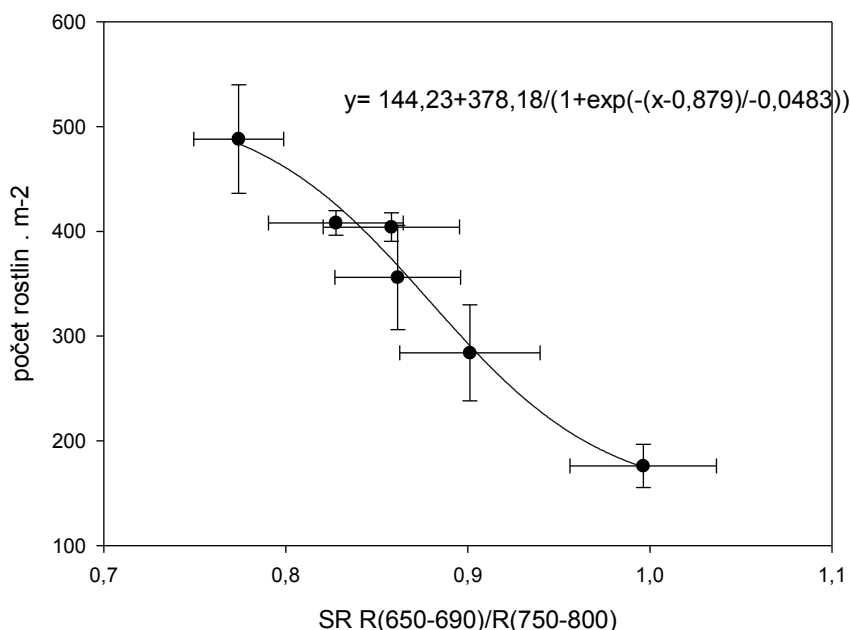
Pro účely přizpůsobení celkové úrovně intenzity je pak vhodné vycházet z rozdílů mezi odhadovaným výnosem pro nízkou a vysokou intenzitu a z rozdílu potenciálního výnosu vyhodnotit efektivní úroveň intenzity pro danou hustotu. Je zřejmé, že odhad absolutních hodnot výnosu i výnosového přírůstku může být do určité míry ovlivněn ročníkem (především dostatkem srážek na jaře) nebo půdními podmínkami. V příznivých podmínkách výnosová úroveň narůstá a tím také roste rozdíl mezi vysokou a nízkou intenzitou. Naopak v méně příznivých podmínkách musíme počítat s tím, že se výnosový efekt intenzity snižuje. Trend vlivu hustoty porostu na výnos ovšem zůstává stejný.

Vzhledem k tomu že s hustotou porostu úzce souvisí obsah dusíkatých látek v zrně, je možné také odvodit vztah mezi poměrem SR, stanoveným v 1. až 2. listu ječmene, a obsahem N látek v zrně (obr. II.2.14). Vyšší poměr SR (a tudíž nižší hustota) znamená zvyšování obsahu N látek. To souvisí se zředovacím efektem mineralizovaného dusíku. V daném případě je z obrázku patrný pokles obsahu dusíkatých látek u vyšší intenzity a to i přes skutečnost vyšších dávek dusíku. Vliv intenzity je ovšem podmíněn do značné míry počasím. V případě dostatku vláhy v průběhu odnožování je aplikovaný dusík využit na tvorbu dostatečného počtu silných odnoží. Tyto se pak prostřednictvím zvýšeného počtu klasů podílejí na zředovacím efektu. K tomu se pak přidává ještě efekt použití fungicidní ochrany (především strobilurinů), které prodlužují funkční dobu asimilačního aparátu. Výsledkem je pak zvyšování poměru škrobů na úkor dusíkatých látek. Jestliže ale v průběhu odnožování převládá suché počasí, které omezuje přijatelnost aplikovaného dusíku, posunuje se jeho využití do pozdějších období, což má za důsledek nižší odnožování (a tím pokles zředovacího efektu) a zvýšenou akumulaci dusíku v zrně. V takové situaci pak může být vliv intenzity opačný. Odhad obsahu dusíkatých látek v růstové fázi DC 11–12 je možné využít především pro zařazení opatření podporujících odnožování, vyrovnanost odnoží a prodlužujících vegetaci. Jedná se především o použití listové výživy, růstových stimulátorů a v závěru vegetace pak o aplikaci strobilurinových fungicidů.

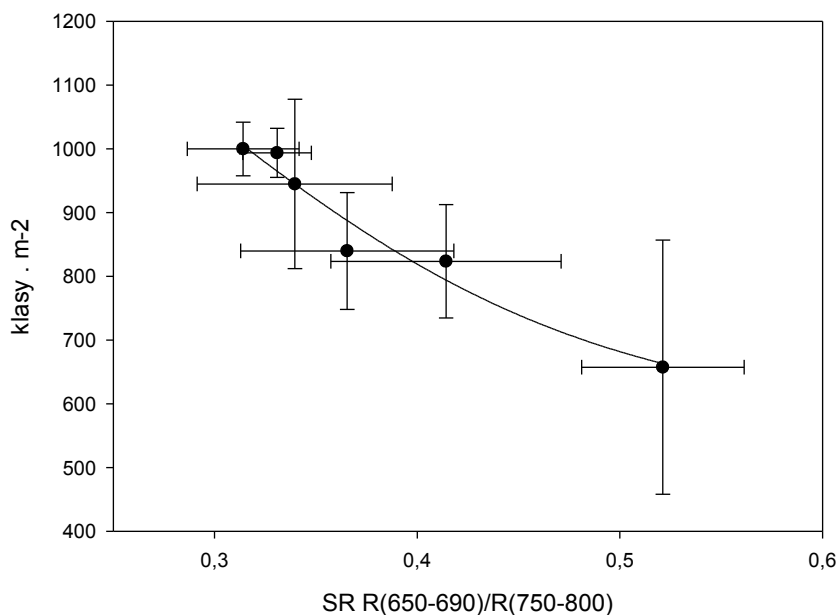
Pomocí indexu odrazivosti SR stanoveného v DC 11–12 je možné také odhadnout riziko poléhání ječmene, což je zřejmé z obr. II.2.15. Opět je zde patrný zásadní vliv intenzity pěstitelské technologie. Použití spektrálních kamer v období 1. až 2. listu tak umožňuje především naplánovat první aplikaci regulátorů růstu na začátku sloupkování (v případě dělených dávek) a eventuálně přizpůsobit dávku použitých morforegulátorů.

Vzhledem k tomu že v regulaci poléhání jarního ječmene má zásadní význam aplikace regulátorů růstu až na konci sloupkování, je důležitějším obdobím pro rozhodování o použití regulátorů růstu právě toto období. Proto

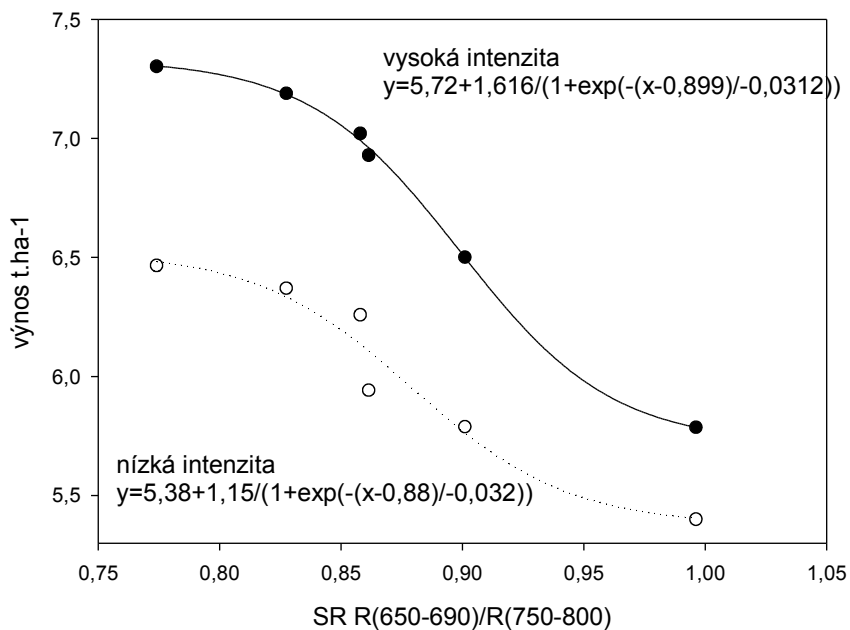
byla vyhodnocena závislost mezi parametrem SR stanoveným na konci sloupkování (DC 37–41) a poléháním (obr. II.2.16). Podobně byla pro toto období vyhodnocena závislost mezi poměrem SR a obsahem dusíkatých látek (obr. II.2.17), která umožňuje naplánovat nasazení strobilurinových fungicidů pro snížení obsahu N látek. Vztah mezi parametrem odrazivosti SR a napadením praporcového listu hnědou skvrnitostí (obr. II.2.18) byl zpracován pouze pro varianty s nízkou intenzitou pěstitelské technologie z důvodu fungicidní ochrany na intenzivních variantách. Této závislosti je pak možné využít pro přizpůsobení dávek fungicidů s vědomím, že rozhodující význam pro výslednou úroveň napadení mají odrůda a ročník.



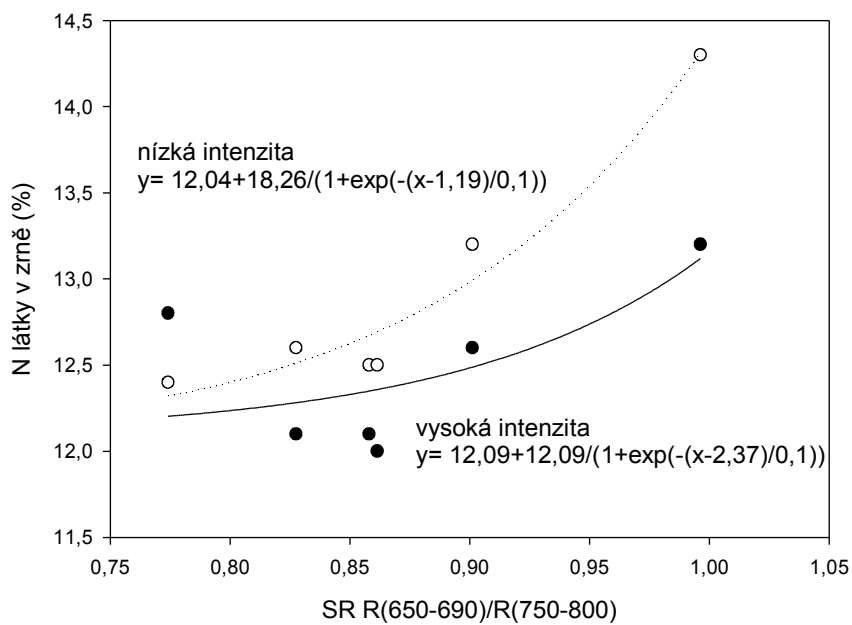
Obr. II.2.11: Závislost mezi poměrem odrazivosti v pásmech 650 – 690 nm a 750 – 800 nm v DC 11–12 ječmene (1. až 2. list) a počtem rostlin na m². Vytvořené skupiny odpovídají variantám hustoty výsevu. Vertikální a horizontální chybové úsečky reprezentují 95% intervaly spolehlivosti.



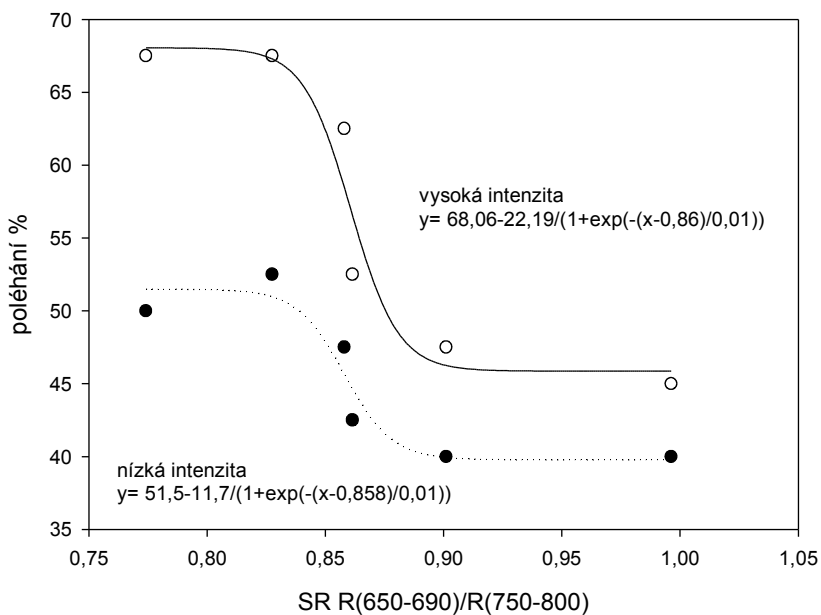
Obr. II.2.12: Závislost mezi poměrem odrazivosti v pásmech 650 – 690 nm a 750 – 800 nm na konci sloupkování (DC 37–41) a počtem klasů ječmene na m². Vertikální a horizontální chybové úsečky dokumentují 95% intervaly spolehlivosti sdružené pro variantu hustoty výsevu.



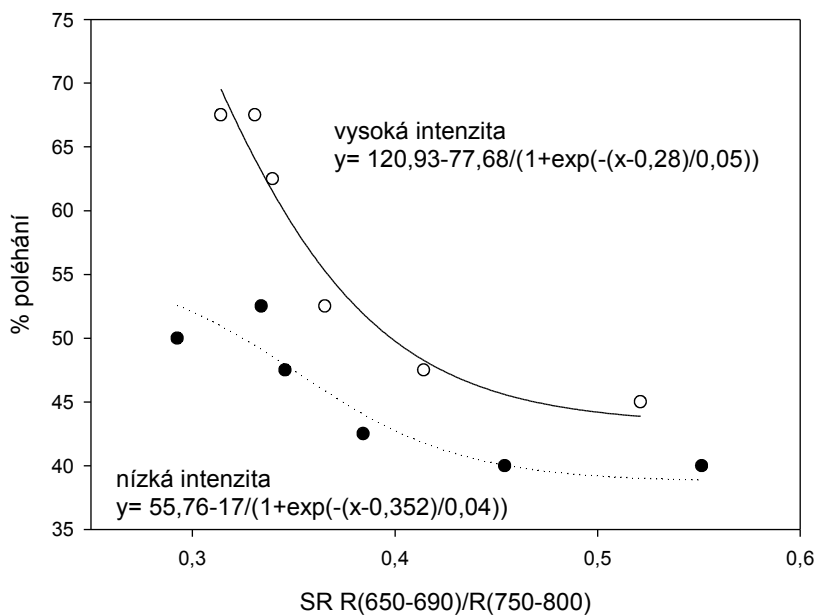
Obr. II.2.13: Vztah mezi parametrem odrazivosti SR v DC 11–12 (1. až 2. list ječmene) a výnosem pro dvě úrovně intenzity pěstitelské technologie ječmene



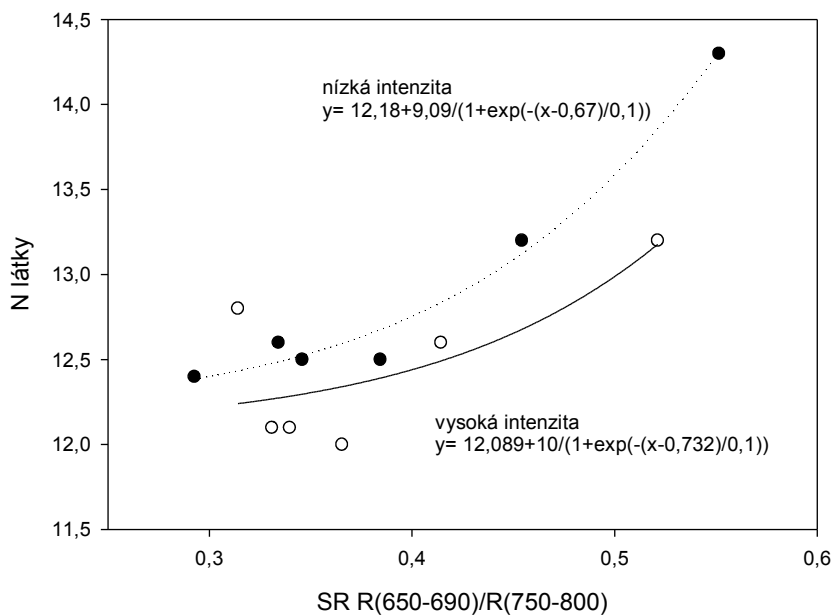
Obr. II.2.14: Závislost mezi parametrem odrazivosti SR v DC 11–12 (1. až 2. list ječmene) a obsahem dusíkatých látek v zrně ječmene pro dvě úrovně pěstitelské technologie ječmene



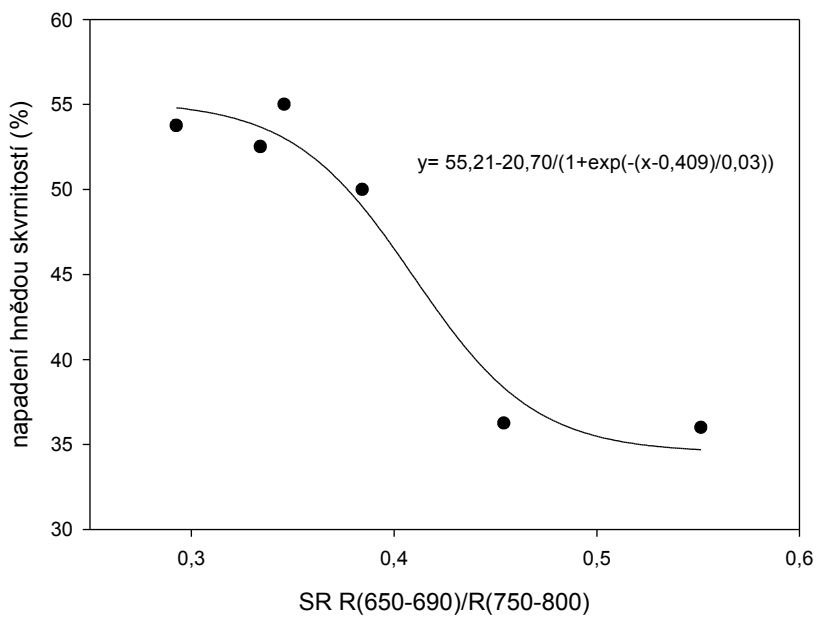
Obr. II.2.15: Závislost mezi parametrem odrazivosti SR v růstové fázi DC 11–12 (1. až 2. list ječmene) a poléháním pro dvě úrovně pěstitelské technologie ječmene



Obr. II.2.16: Závislost mezi parametrem odrazivosti SR v růstové fázi konce sloupkování ječmene (DC 37–41) a poléháním pro dvě úrovně pěstitelské technologie ječmene



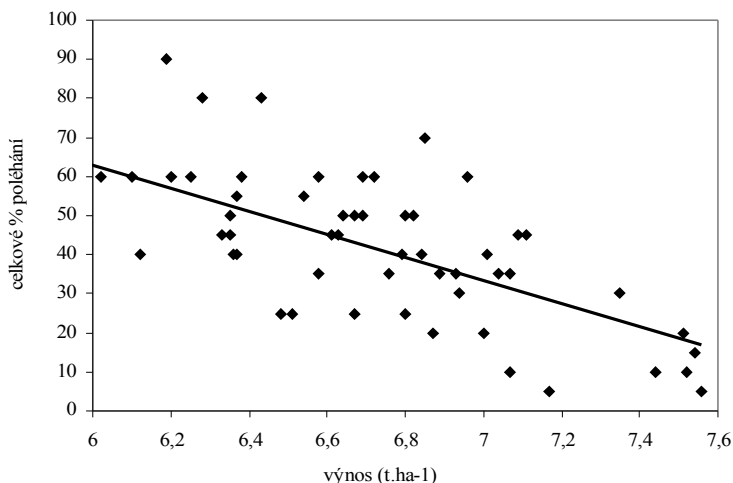
Obr. II.2.17: Závislost mezi parametrem odrazivosti SR na konci sloupkování (DC 37–41) a obsahem dusíkatých látek v zrně ječmene samostatně pro dvě úrovně intenzity pěstitelské technologie



Obr. II.2.18: Závislost mezi parametrem odrazivosti SR v DC 37–41 a napadením praporcového listu hnědou skvrnitostí

II.2.3.3 Rozhodovací pravidla pro regulaci poléhání u sladovnického ječmene

Přestože je poléhání sladovnického ječmene značně variabilní mezi lokalitami i ročníkově, patří tradičně k nejvýznamnějším limitujícím faktorům intenzivních pěstitelských technologií. Jeho důsledkem jsou nejen vysoké výnosové ztráty, ale také znehodnocení sladovnické kvality ječmene (zahnědlé špičky, porůstání, zvýšená infekce fuzariózami a obsah mykotoxinů, výskyt plísní), či zvýšené náklady na sklizeň. Přímé výnosové ztráty způsobené poléháním dosahují úrovně až okolo 40 %, ale tyto mohou být znásobeny ztrátami, které vznikají při sklizni. Výše výnosových ztrát způsobených poléháním je závislá především na termínu a intenzitě polehnutí. Vztah mezi celkovou intenzitou polehnutí a výnosem při polehnutí porostu ve voskové zralosti je uveden na obr. II.2.19. Maximální výnosová ztráta způsobená poléháním se v tomto termínu pohybuje okolo 25 %. Při polehnutí na začátku zrání nebo dokonce dříve jsou výnosové ztráty způsobené polehnutím vyšší (redukce výnosu i více než 40 %), naopak při pozdějším polehnutí se snižují a krátce před sklizní dosahují jen okolo 5 %.



Obr. II.2.19: Závislost mezi celkovou intenzitou poléhání (suma relativního podílu plochy se sklonem rostlin nad 45° a do 45°) a výnosem u odrůdy Jersey v roce 2005

Omezení poléhání nabývá v posledních letech na značném významu především z těchto důvodů:

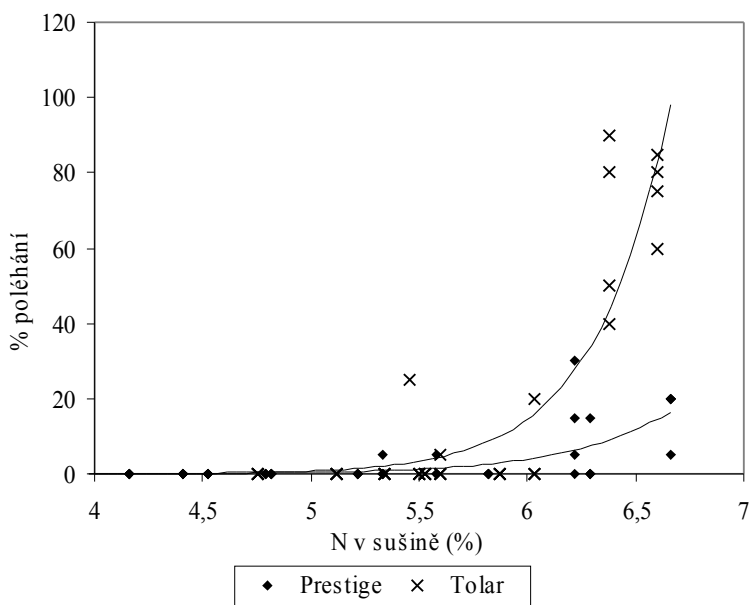
- v sortimentu preferovaných sladovnických odrůd převládají odrůdy s dlouhým stéblem a se zvýšenou náchylností k poléhání,
- intenzivní technologie zaměřené na dosažení špičkových výnosů vyžadují vysokou cílovou hustotu produktivních stébel (900 – 1000 na 1 m²), což zvyšuje riziko poléhání,
- intenzivní technologie pěstování sladovnického ječmene využívají vyšších dávek dusíku, který patří k faktorům podporujícím poléhání,
- poléhání několikanásobně zvyšuje riziko infekce klasů a zrna původci klasových fuzarióz a následné kontaminace zrna mykotoxiny, které se stávají významným kvalitativním parametrem i pro sladovnický ječmen,
- regulace poléhání je u ječmene náročnější a obvykle méně účinná než například u ozimé pšenice.

Vzhledem ke skutečnosti, že k poléhání dochází skutečně jen v některých letech, na některých lokalitách či po některých předplodinách, vytváří spolehlivá rozhodovací pravidla pro použití regulátorů růstu důležitý nástroj pro zlepšení ekonomiky pěstování. Potřeba těchto nástrojů je dána také skutečností, že v případě nepolehnutí porostu mohou regulátory růstu za určitých okolností snižovat výnos nebo i zhoršovat kvalitativní ukazatele.

Princip metody

Poléhání porostu ječmene je ovlivňováno působením mnoha faktorů a rozhodovací pravidla pro použití regulátorů růstu proto nemohou fungovat na jednoduchých závislostech, ale musí brát v potaz všechny možné příčiny poléhání. K hlavním faktorům, které ovlivňují poléhání porostu ječmene, řadíme dusíkatou výživu, hustotu porostu, odrůdovou odolnost k poléhání, předplodinu, půdní podmínky a průběh počasí. Navržený rozhodovací systém vychází z objektivně zjištěných závislostí mezi jednotlivými faktory. Relativní význam jednotlivých faktorů je vyjádřen jejich vahami (koeficienty), které jim byly přiřazeny na základě výsledků a zkušeností z polních pokusů. Úrovně faktorů jsou pak rozděleny do tří kategorií z pohledu rizika poléhání na nízké, střední a vysoké riziko. Přepočtem pomocí vah získáme souhrnnou hodnotu rizika poléhání, podle kterého je plánována intenzita ošetření regulátory růstu. Systém výpočtu je podrobněji rozepsán v odstavci interpretace výsledků. Uvedený rozhodovací systém je také zpracován do softwarové podoby (program SLAD08, viz příložené CD), která rozhodování o použití morforegulátorů značně usnadňuje.

Jako klíčový faktor rozhodující o úrovni poléhání se na základě výsledků rozsáhlých pokusů po čtyřech předplodinách jeví množství minerálního dusíku dostupného rostlinám v průběhu odnožování a sloupkování. Proto je tomuto faktoru přiřazena nejvyšší váha (1,2). Velmi dobrým kriteriem pro rozhodování o potřebě a intenzitě použití morforegulátorů je pak koncentrace dusíku v sušině rostlin ječmene v první polovině odnožování (DC 21–23). Z obr. II.2.20 je zřejmé, že intenzita poléhání exponenciálně roste v závislosti na odrůdě při hodnotách koncentrace dusíku nad 5,5 %. Použití nižších dávek regulátorů růstu by mělo začínat již při koncentracích nad 5 % a to zejména u odrůd náchylných k poléhání.



Obr. II.2.20: Závislost mezi intenzitou poléhání a obsahem dusíku v sušině rostlin na začátku odnožování (DC 21–22) u odrůdy s nízkou úrovní poléhání (Prestige) a vysokou úrovní poléhání (Tolar)

Druhým nejvýznamnějším faktorem ovlivňujícím poléhání je odrůdová odolnost (váha 1,2). Přestože v současném sortimentu odrůd sladovnického ječmene nenalezneme odrůdu s vysokou odolností k poléhání (vyjma odrůdy Diplom, která ale spíše patří na rozmezí mezi vysokou a střední odolností), má odrůdová odolnost proti poléhání podobně zásadní význam jako dusíkatá

výživa. Na dalším místě je nutné zdůraznit vliv předplodiny. Vliv předplodiny sice velmi úzce souvisí s celkovou nabídkou dusíku, více však s dynamikou jeho uvolňování, a proto je nutné předplodinu uvažovat jako samostatný faktor. Největší problém z pohledu poléhání způsobují předplodiny, po kterých je z posklizňových zbytků uvolňováno velké množství dusíku a to z velké části až ve sloupkování. Typickou předplodinou s negativním dopadem na poléhání je řepka, a to především pokud zanechává velké množství posklizňových zbytků, které se v důsledku suchého podzimu nebo opožděné podmítky dostatečně nerozložily. Faktoru předplodiny byla přiřazena váha 1. Stejnou váhu má i vliv počasí. V případě dostatku vláhy se zvyšuje množství vytvořené biomasy, prodlužuje se výška rostlin a pletiva se vyznačují nižší pevností. To vše se odráží na zvýšeném riziku poléhání. Naopak při suchém průběhu počasí je porost řidší a nízký, což znamená, že k poléhání dochází jen výjimečně a v menší intenzitě. Nezanedbatelný vliv na poléhání má hustota porostu. Vztah mezi hustotou porostu a poléháním byl popsán v kapitole věnované diagnostice hustoty porostu (viz obr. II.2.8). Z těchto výsledků je zřejmé, že hustota porostu ovlivňuje poléhání jen v menším rozsahu, a proto byla tomuto faktoru přiřazena váha 0,8. Stejná váha byla přiřazena také vlivu půdních podmínek. Opět se jedná o faktor, který souvisí s uvolňováním minerálního dusíku. Podobně jako v případě předplodiny, ale vliv půdních podmínek na mineralizaci dusíku nemusí být zachycen rozboru rostlin na začátku odnožování. Na úrodných půdách s vysokým obsahem humusu může docházet k hlavnímu uvolňování dusíku až ke konci odnožování či na začátku sloupkování. Tento dusík je pak pro výslednou úroveň poléhání velmi důležitý. Někteří autoři (např. Dennert a Fishbeck, 2001) zmiňují také další faktory, které mohou ovlivňovat výslednou úroveň poléhání, jako je například teplota a intenzita slunečního záření. Tyto faktory ale souvisí spíše s účinností použitých regulátorů růstu, přičemž při vyšších teplotách a vyšší intenzitě slunečního záření se účinnost regulátorů zvyšuje, a je možné použít nižších dávek. Podobně také kombinace regulátorů s některými látkami ovlivňují jejich výslednou účinnost. Účinnost morforegulátorů zvyšují například kombinace s kapalným hnojivem DAM 390, morfolinovými i některými triazolovými fungicidy. V takových případech je nutné zvažovat redukci dávek regulátorů o 15 – 20 %.

Dostupnost, výhody a rizika využití metody

Použití metody je velmi jednoduché a významné je zjednodušení také tím, že rozhodovací pravidla byla převedena do softwarové podoby (program SLAD08 na příloženém CD). Metoda vychází z víceletých empirických výsledků a zkušeností, které samozřejmě nemohou postihnout celou škálu podmínek České republiky ani extrémní průběh počasí. Proto by měly být výsledky rozhodovacího algoritmu před samotným uplatněním korigovány na místní podmínky dle zkušeností agronoma nebo poradce z dané oblasti.

Interpretace výsledků a rozhodovací pravidla

Základem rozhodovacího algoritmu pro použití regulátorů růstu je rozhodovací tabulka (tab. II.2.12), která shrnuje rozdělení jednotlivých faktorů do tří úrovní z pohledu vlivu na poléhání: nízké střední a vysoké riziko poléhání. Každé úrovni je pak přiřazeno odpovídající bodové ohodnocení vlivu na riziko poléhání (nízké = 1 bod, střední = 2 body, vysoké = 3 body). Vzhledem ke skutečnosti, že jednotlivé faktory zahrnuté do tabulky nemají pro úroveň poléhání stejný význam, jsou každému faktoru přiřazeny váhy, stanovené subjektivně podle zkušeností z řady experimentů. K nejvýznamnějším podmínkám ovlivňujícím variabilitu v poléhání patří úroveň dusíkaté výživy a uvolňování minerálního dusíku v půdě, které je v tabulce reprezentováno rozboru rostlin na obsah dusíku v sušině v období první poloviny odnožování (DC 21–23). Jako alternativu ke stanovení obsahu dusíku v sušině rostlin je možné použít diagnostického přístroje N-Pen, který již obsahuje algoritmus pro přepočítání měřených hodnot green NDVI na obsah dusíku v sušině rostlin v první polovině odnožování. Výhodou přístroje je především rychlost měření a minimální náklady při větším počtu stanovení. Stanovení úrovně dusíkaté výživy pomocí přístroje N-Pen má navíc významnou přednost v tom, že naměřená hodnota integruje výživný stav za delší období, který se odráží v obsahu chlorofylu, zatímco obsah dusíku v rostlině je dynamická veličina podléhající rychlým změnám. V průběhu intenzivního růstu dochází ke zřetelnému poklesu obsahu dusíku v sušině rostlin a pro porovnatelnost hodnot z různých růstových fází je nutný přepočítání podle sušiny na jednotku plochy. Hodnota parametru green NDVI (a od něj odvozená hodnota obsahu dusíku) přitom zůstává poměrně stabilní v čase, přičemž je ovlivněna pouze výživným stavem.

Množství a dynamika uvolňovaného minerálního dusíku jsou ovlivňovány také předplodinou a půdními podmínkami. Při vysoké nabídce dusíku dochází k poléhání i u relativně odolných odrůd. Naopak při nízké nabídce dusíku nepoléhají ani odrůdy vysoce náchylné k poléhání. Odrůdy s vyšší odolností obvykle vystačí pouze s jednou aplikací regulátorů růstu, přičemž v závislosti na podmínkách může být dávka redukována nebo aplikace zcela vynechána.

K dalším významným faktorům ovlivňujícím poléhání patří hustota porostu a vláhové podmínky. Vysoké riziko poléhání vzniká obvykle kombinací faktorů, jako je náchylná odrůda, vyšší intenzita dusíkaté výživy, půda s vyšším uvolňováním minerálního dusíku, vyšší hustota výsevu, příznivé podmínky pro odnožování a dostatek srážek v průběhu vegetace.

Tab. II.2.12: Vliv jednotlivých faktorů na riziko poléhání a váhy faktorů pro vyhodnocení celkového rizika poléhání

Faktor	Riziko poléhání			Váha
	Nízké 1 bod	Střední 2 body	Vysoké 3 body	
Dusíkatá výživa (obsah N v rostlinách v polovině odnožování – DC 21-23)	Do 60 kg N.ha ⁻¹ (do 4,5 %)	60-90 kg N.ha ⁻¹ (4,5-5,5 %)	Nad 90 kg N.ha ⁻¹ (nad 5,5%)	1,2
Hustota výsevu	Do 3,5 MKS	3,5 - 4,5 MKS	Nad 4,5 MKS	0,8
Předplodina	Kukuřice na zrna	Ozimá pšenice, cukrovka	Ozimá řepka, mák	1
Odolnost odrůdy k poléhání	Vysoká Diplom, Saloon	Střední Sebastian, Tolar Bojos, Xanadu, Radegast, Prestige, Aksamit, Aktiv, Spilka, Kangoo, Advent, Vista, Streif, Signora, Henley, Henrike	Nízká Jersey, Malz, Calgary, Westminster, Blaník, Marthe	1,2
Půdní podmínky (uvolňování minerálního dusíku)	Lehké půdy s nízkým obsahem humusu	Střední půdy se středním obsahem humusu	Těžší půdy s vysokým obsahem humusu	0,8
Počasí	Suché a velmi teplé	Průměrné teploty a srážky	Chladné a vlhké	1

Výpočet celkového rizika poléhání je pak proveden následovně:

Riziko poléhání = $(F_1 \cdot V_1 + F_2 \cdot V_2 + \dots + F_n \cdot V_n) / n$

Kde F_n – je bodové ohodnocení pro daný faktor

V_n – je váha pro daný faktor

n – celkový počet faktorů

Výsledná hodnota rizika poléhání v rozmezí:

- 1 – 1,5 představuje nízké riziko poléhání
- 1,6 – 2,4 představuje střední riziko poléhání
- 2,5 – 3 představuje vysoké riziko poléhání

Použití morforegulátorů je následně odstupňováno dle předpokládaného rizika poléhání. Z pohledu zkrácení stébla je zcela zásadní termín ošetření regulátory růstu koncem sloupkování až do nadušení listové pochvy (T2). V tomto období se formuje délka posledních internodií a aplikace morforegulátorů ovlivňuje především délku stébla a částečně také jeho pevnost. Přesto nelze zanedbávat ani aplikace prováděné v růstové fázi 1. až 2. kolénka (T1). Tyto aplikace obvykle nemají tak zásadní dopad na zkrácení stébla, ale dochází ke zpevnění bazálních částí, společně s podporou tvorby druhotných kořenů. V podmínkách velmi silného rizika poléhání je proto vhodnější používat systému tzv. dělených aplikací morforegulátorů, při kterých je provedena aplikace morforegulátorů ve dvou termínech: T1 (1. – 2. kolénko), T2 (konec sloupkování). Vedle rozložení efektu na všechny internodia je rozloženo rovněž riziko negativního působení morforegulátorů na výnos, ke kterému dochází především při velmi teplém počasí v době metání. Dělené aplikace obvykle nedosahují při stejné dávce morforegulátorů takového efektu na zkrácení či omezení poléhání jako při jednorázové aplikaci stejné dávky na konci sloupkování, ale rozdíly jsou obvykle velmi malé. Rozdělení do dvou aplikací ovšem umožňuje použití maximální celkové dávky morforegulátorů při omezení rizika negativního dopadu na plodinu. Nižší účinnost časných aplikací je charakteristická především pro přípravky s krátkou dobou působení v rostlině (především etephon). Naopak velmi vhodným přípravkem pro časné aplikace a především pak dělené aplikace je účinná látka trinexapac-ethyl (Moddus 0,3 l.ha⁻¹), u které je udávána délka působení 14 dní. Velmi dobrým řešením pro časné termíny aplikací je rovněž použití přípravku Terpal C v dávce 1 – 1,5 l.ha⁻¹. Pro ošetření na konci sloupkování je naopak nutný velmi rychlý účinek, který je zajišťován především účinnou látkou etephon.

Na základě vyhodnocení podmínek ovlivňujících poléhání dle výše uvedeného algoritmu lze pak navrhnout nejvhodnější strategii použití regulátorů růstu:

- a) **Při nízkém riziku poléhání** se provádí pouze aplikace v termínu T2 s použitím nižších dávek morforegulátorů. Jako příklad vhodných ošetření lze uvést aplikace:
- **T2 Cerone 0,4 – 0,5 l.ha⁻¹** nebo
 - **T2 Moddus 0,3 – 0,35 l.ha⁻¹.**

b) **Při středním riziku poléhání** se provádí aplikace plných dávek morforegulátorů v termínu T2. Jako příklad vhodných ošetření lze uvést aplikace:

- **T2 Cerone 0,6 – 0,7 l.ha⁻¹** nebo
- **T2 Moddus 0,35 – 0,4 l.ha⁻¹.**

Druhou variantou ošetření při středním riziku poléhání představují dvojí aplikace morforegulátorů v nižších dávkách v T1 a T2. Jako příklad vhodných ošetření lze uvést aplikace:

- **T1 Terpal 1,25 l.ha⁻¹ + T2 Cerone 0,5 l.ha⁻¹** nebo
- **T1 Terpal 1,25 l.ha⁻¹ + T2 Moddus 0,3 l.ha⁻¹** nebo
- **T1 Moddus 0,25 l.ha⁻¹ + T2 Cerone 0,5 l.ha⁻¹**

c) **Při vysokém riziku poléhání** se obvykle provádí dvojí aplikace vyšších dávek morforegulátorů v T1 a T2. Jako příklad vhodných ošetření lze uvést aplikace:

- **T1 Terpal 1,5 l.ha⁻¹ + T2 Cerone 0,6 l.ha⁻¹** nebo
- **T1 Terpal 1,5 l.ha⁻¹ + T2 Moddus 0,35 – 0,4 l.ha⁻¹** nebo
- **T1 Moddus 0,3 l.ha⁻¹ + T2 Cerone 0,6 l.ha⁻¹**

Další možností jsou jednorázové aplikace morforegulátorů na konci sloupkování:

- **T2 Cerone 0,75 l.ha⁻¹** nebo
- **T2 Cerone 0,5 l.ha⁻¹ + Moddus 0,2 l.ha⁻¹.**

V případě kombinování morforegulátorů s fungicidy na bázi triazolů či morfolinů (zejména u kombinovaných fungicidů triazol + morfolin) dochází k posílení morforegulačního účinku a je proto vhodné snížit dávku regulátorů o 15 – 20 %.

V případě kombinací s čistě strobilurinovými fungicidy působí fungicid a regulátor růstu částečně protichůdně a pokud je to možné v rámci registrované dávky je vhodné zvýšit dávku regulátoru růstu o 10 %.

II.2.4. Metody pro korekci výživného stavu jarního ječmene v průběhu vegetačního období

Ječmen má krátkou vegetační dobu a slabě vyvinutý kořenový systém, který má velmi nízkou osvojovací schopnost pro živiny. Z toho vyplývá, že porosty ječmene vyžadují zvýšenou pozornost i během vegetačního období.

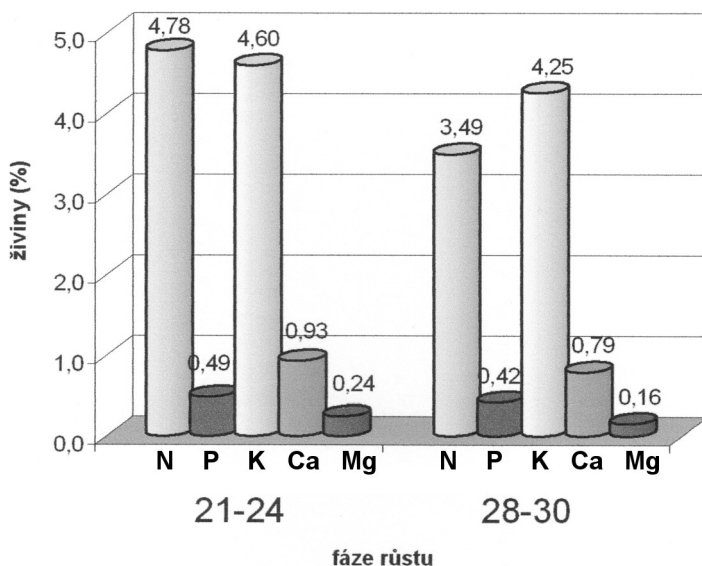
V nejranějších fázích vývoje čerpají rostliny ječmene potřebné živiny pro svůj růst a vývoj ze zásob uložených v obilce. Postupné zapojení kořenového systému je pozorovatelné již ve velmi raných fázích vývoje zvýšením koncentrace živin v sušině rostlin. Nárůst koncentrace živin na počátku vegetace bývá v některých ročních době patrný, naopak v jiných letech k němu nedochází. Je to závislé na průběhu povětrnosti v období vzcházení rostlin, obsahu živin v obilce a stavu půdního prostředí charakterizovaného dostatkem přístupných živin v půdě. Svou roli zde sehrává teplota půdy, vlhkost, intenzita mikrobiální činnosti apod. (Hřivna a kol., 2005).

Pro dosažení kvalitního výnosu je třeba zajistit v prvních 15 dnech intenzivnější příjem fosforu nad dusíkem, což bývá např. po předplodině cukrovce se zaorávkou chrástu problematické. Chrást je bohatý dusíkem a draslíkem, je zde ale nízký obsah fosforu charakterizovaný širokým poměrem C:P. Proto je nutné, zvláště v počátečních stádiích vývoje porostu, zabezpečit dostatek této živiny. Příjem fosforu významně ovlivňuje také teplota půdy; je-li chladné jaro, je příjem P nízkými teplotami limitován. Odběr živin porostem je do značné míry závislý na dynamice tvorby biomasy sušiny. Po vytvoření třetího listu se zvyšuje její tvorba a ječmen vyžaduje více N než P. Ve fázi odnožování je hladina N a K vyrovnaná a odběr živin se vyznačuje vyšší dynamikou než tvorba sušiny. Vysoký obsah draslíku v půdě na úkor fosforu a dusíku může v tomto období inhibovat tvorbu odnoží a působit antagonisticky na příjem hořčíku. Naopak nadbytek dusíku v době odnožování zvyšuje tvorbu neproduktivních odnoží. Celkově zvýšený příjem dusíku přetrvává do prodlužovacího růstu, kdy se výrazně zvyšuje produkce biomasy (Hřivna, Ryant, 2006).

Tab. II.2.13: Optimální koncentrace živin ve fázi DC 21 pro dosažení cílového výnosu

výnos (t/ha)	Koncentrace živin v sušině (%)					
	N	P	K	Ca	Mg	NO ₃ ⁻
4,0 - 4,5	4,2-4,5	0,40-0,45	4,0-4,5	1,2-1,4	0,16-0,18	0,20-0,25
6,0 - 6,5	4,6-4,9	0,60-0,65	3,6-3,9	0,9-1,1	0,19-0,21	0,16-0,19
8,0 - 8,5	5,0-5,9	0,80-0,85	3,2-3,5	0,6-0,8	0,22-0,28	0,10-0,15

Se zvyšující se rychlostí tvorby sušiny (zvýšení rychlosti růstu nastává v průběhu odnožování a sloupkování) začíná klesat i koncentrace živin v rostlinách (obr. II.2.21). Je proto nezbytné zajistit hned na počátku vegetace vysoký obsah živin v sušině rostlin, aby zředění nebylo příliš vysoké a nedocházelo k redukci výnosu (tab. II.2.13). Při nedostatku živin se kořen nevětví a roste do hloubky. V prvních 25 až 30 dnech od vzejití porostu (přibližně do konce odnožování až začátku sloupkování, DC 29–30) odčerpá ječmen 40 – 60 % všech živin z celkového množství a přitom vytvoří cca 20 % sušiny. Bezproblémovost příjmu živin v tomto období je tedy velmi důležitá (Richter et al., 2004).



Obr. II.2.21: Průměrné koncentrace živin v rostlinách jarního ječmene v DC 21–24 a DC 28–30

Do počátku sloupkování rostliny ječmene přijímají z celkového množství živin až 54 % N, 46 % P, 63 % K, 50 % Ca a 33 % Mg. To při výnosu pěti tun zrna z hektaru představuje 65 kg N, 12 kg P, 63 kg K, 15 kg Ca a 3 kg Mg.

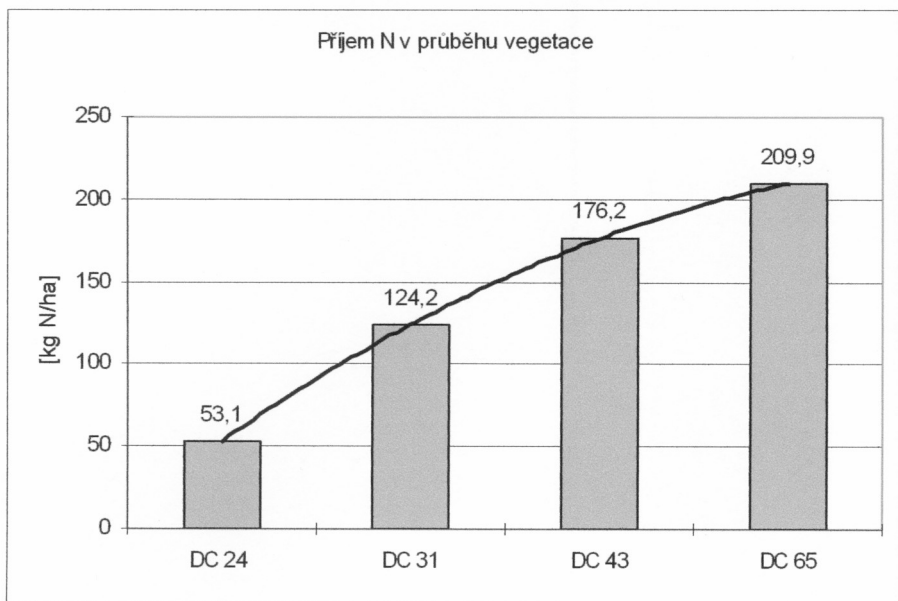
V období tvorby zrna rozlišujeme čtyři fáze. První spadá do období sloupkování. Druhá je od začátku metání do mléčné zralosti, kdy jsou využity rezervy ze stébla. Pak následuje pozdní nalévání zrna, které začíná ve fázi mléčné zralosti a končí ukončením fotosyntézy. Pro tvorbu zrna se využívají opět rezervy ze stébla, které se translokují do zrna. Poslední fázi charakterizuje růst zrna, který se děje na úkor transportu asimilátů ze stébel a probíhá až do konce plné zralosti.

II.2.4.1 Dohnojování podle výsledků rozborů rostlin

Z biologických procesů popsaných v předchozí části vyplývá požadavek zajistit dynamický rozvoj asimilačních orgánů v raných vývojových fázích i ve druhé polovině vegetace (rozvoj stébel, pochev listů a klasů) a v období tvorby zrna usměrnit tok asimilátů do klasů a zajistit tak výnos zrna a jeho kvalitu.

Z těchto důvodů je vhodné provádět během vegetačního období odběry vzorků rostlin pro analýzu jejich výživného stavu a provedení následných korekcí. Vzhledem k tomu, že ječmen má velmi krátkou vegetační dobu, musíme reagovat rychle a tomu odpovídají i termíny prováděných odběrů. Rostliny odebíráme na počátku odnožování (DC 22–23) a v období konce odnožování až začátku sloupkování (DC 28–31). Z obrázku II.2.22 je patrná dynamika odběru dusíku ječmenem v průběhu vegetačního období (jedná se o průměrné čerpání N stanovené na základě pětiletých pokusů s odrůdou Jersey).

Z rozborů rostlin odebraných v DC 22–23 můžeme korigovat hnojení dusíkem včetně případných deficitů ostatních živin. V tomto období lze použít jak tuhá, tak i kapalná hnojiva. Doladění případných disproporcí ve výživném stavu porostů lze pak provést na základě výsledků rozboru rostlin z druhého odběru (počátek sloupkování, DC 28-31). Zde nacházejí uplatnění kapalná koncentrovaná hnojiva a nízkoprocentní roztoky hnojiv. Tuhá hnojiva jsou již s ohledem na jisté zpoždění v příjmu živin méně vhodná **(rozhodovací procesy ke korekci výživného stavu jarního ječmene podle výsledků rozborů rostlin, včetně výsledných doporučení, jsou součástí softwarové aplikace SLAD08 na přiloženém CD).**



Obr. II.2.22: Přijem dusíku porostem jarního ječmene v průběhu vegetačního období (průměrné hodnoty stanovené na základě pětiletých pokusů s odrůdou Jersey).

II.2.4.2 Diagnostika výživného stavu v polovině odnožování na základě stanovení koncentrace nitrátů ve šťávě z bází rostlin

Princip metody

Metoda rychlého stanovení nitrátů v bázích rostlin ječmene je založena na využití komerčního reflektometrického nitrátového testu od firmy MERCK. Jedná se o test Reflectoquant 1.16995 založený na testovacích prouzcích, které se dle obsahu nitrátů ve vzorku zbarvují s různou intenzitou. Detekční rozsah těchto štítků je 3 až 90 mg NO₃·l⁻¹. Následné objektivní stanovení obsahu nitrátů ve vzorku (měření intenzity zabarvení testovacího proužku) se provádí pomocí reflektometru firmy MERCK - RQ Flex s adaptérem na testovací proužky. Pro samotnou analýzu rostlin se používají části rostlin s co nejnižším obsahem pigmentů, které by jinak mohly zkreslovat výsledky testu. Z tohoto důvodu se využívají pouze segmenty nepigmentovaných (bílých) bází rostlin zbavené listových pochev. Z těchto bází je následně provedeno vylišování šťávy pomocí mechanického lisu. Rozsah měření u této metody je v mnohem nižších hodnotách, než jsou koncentrace nitrátů běžně se vyskytující v rostlinných pletivech. Proto je nezbytné ředění vzorku. Pro běžný rozsah obsahu nitrátů v rostlinách je nejvhodnější použít ředění 1:50. Pouze u vzorků s vysokým deficitem nebo naopak nadbytkem v dusíkaté výživě je nutné provést nové ředění s vyšší koncentrací (nízký obsah nitrátů) nebo naopak vzniklý roztok znovu naředit (vysoký obsah nitrátů), protože reflektometr hlásí nižší, nebo naopak vyšší hodnoty, než je měřicí rozsah. Ve většině případů ovšem není ředění nezbytné, protože obsah nitrátů pod 3 mg.l⁻¹ (při ředění 1:50) odpovídá v polovině odnožování (DC 22–23) extrémně nízkým hodnotám výživy dusíkem, a není tedy nezbytné další zpřesňování. Podle našich zkušeností dosahuje obsah nitrátů v ječmeni ve fázi DC 22–23 při ředění 1:50 maximálních hodnot okolo 60 mg.l⁻¹. V tomto případě se již jedná o nadbytek dusíku ve výživě ječmene a současně existuje ještě dostatečná rezerva do maxima měřicího rozsahu (90 mg.l⁻¹). Objem vzorku, který je potřebný pro spolehlivé měření (ponoření testovacího proužku do vzorku) je přibližně 5 ml. Jestliže se před vlastním měřením provádí ředění šťávy rostlin v poměru 1:50, je pro spolehlivé měření dostačující objem šťávy 0,1 ml. Pro získání tohoto objemu šťávy je zapotřebí přibližně 10 až 20 bází rostlin v závislosti na jejich velikosti.

Dostupnost, výhody a rizika využití metody

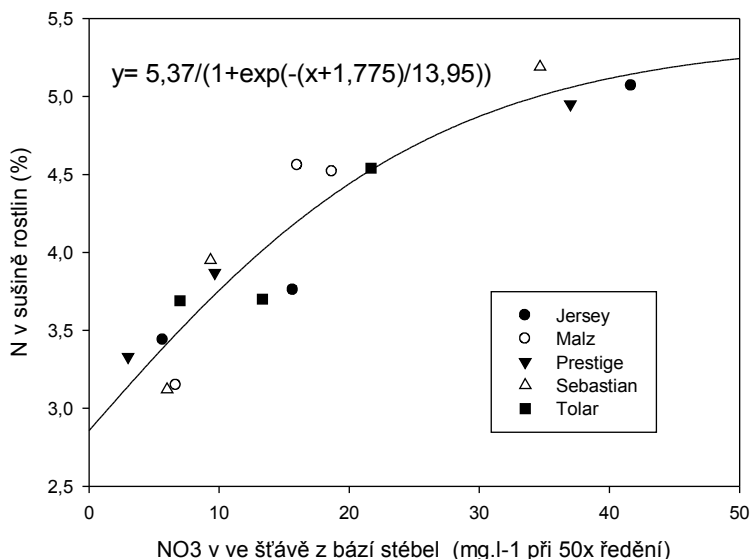
Základní vybavení pro uplatnění metody stanovení nitrátů v bázích rostlin ječmene je běžně dostupné a relativně nenákladné, ať již se jedná o testovací proužky, či reflektometr. Lis na získávání šťávy z rostlin musí být vysoce účinný, aby se množství rostlin potřebných pro jeden vzorek snížilo na

minimum. Nejvhodnější je závitový lis, který si lze nechat vyrobit v zámečnické dílně.

Hlavní předností metody je její rychlost a operativnost. Stanovení lze provádět s nezbytným vybavením i přímo v polních podmínkách. Další předností je velmi nízká cena za analýzu. Určitou nevýhodu lze spatřovat v rychlejší dynamice změn nitrátového dusíku v rostlinách. Metoda poskytuje velmi dobré porovnání relativního stavu v rámci určitých podmínek. Je ale zřejmé, že dochází k poměrně rychlým změnám s růstovou fází ječmene, které je obdobné jako v případě obsahu dusíku v sušině rostlin (zředovací proces). Z tohoto pohledu je vhodné dodržet optimální růstovou fázi pro stanovení obsahu nitrátů a to fázi DC 22–23 (2 až 3 odnože). Zdá se, že metoda může v této růstové fázi dokonce poskytovat přesnější vyhodnocení nadbytku dusíku, protože od určitého zásobení dusíkem se absolutní hodnoty obsahu dusíku v rostlině mění jen méně, ale zvyšuje se podíl nitrátového dusíku. Pro samotnou interpretaci výsledků a vyjádření absolutních hodnot výživného stavu je ale vždy vhodné provést kalibrační analýzy na obsah celkového dusíku v sušině rostlin na několika vzorcích z daných podmínek.

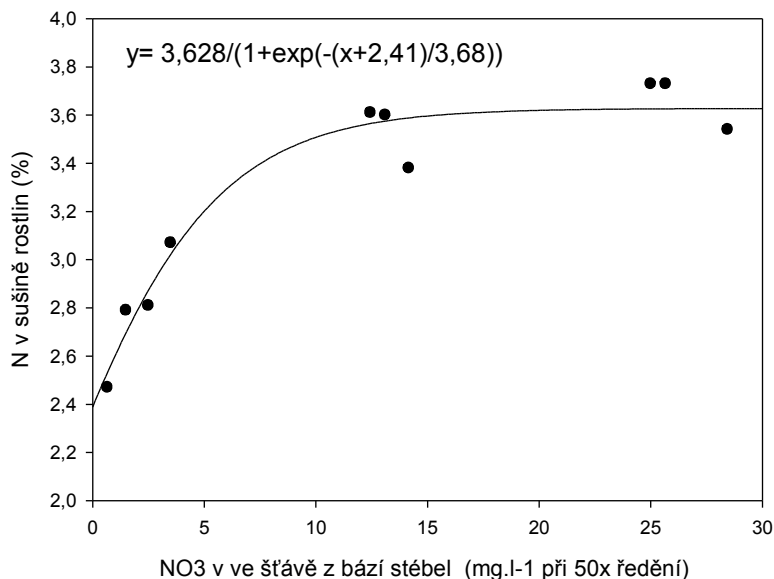
Interpretace výsledků a rozhodovací pravidla

Metoda byla testována v rámci několika pokusů s jarním ječmenem, ve kterých bylo na identických vzorcích prováděno stanovení obsahu nitrátů v bázích rostlin a analytické stanovení dusíku v sušině rostlin. Jednalo se především o pokusy s odstupňovanou úrovní dusíkaté výživy a dále pokusy s pěti odrūdami ozimé pšenice a třemi úrovněmi intenzity pěstitelské technologie. Obsah nitrátového dusíku v bázích rostlin velmi dobře koresponduje s hodnotami celkového dusíku v rostlinách bez ohledu na odrůdu a intenzitu pěstitelské technologie (obr. II.2.23). Uvedené závislosti je možné použít pro přímý odhad obsahu dusíku v sušině rostlin, pro který existují navazující rozhodovací pravidla pro přihnojení v průběhu vegetace i použití regulátorů růstu. Z grafu je zřejmé, že při vyšších hodnotách obsahu dusíku v sušině rostlin se tyto přibližují hodnotám asymptotickým (maximálním), nad které se obsah dusíku v rostlinách dále nezvyšuje (nebo zvyšuje jen velmi pomalu), i když nabídka dusíku dále narůstá. Z tohoto pohledu může být obsah nitrátového dusíku vhodnějším ukazatelem výživy dusíkem, protože tyto hodnoty s úrovní dusíkaté výživy dále rostou. Rozlišení nadměrného zásobení dusíkem od dobrého je zcela klíčové například pro predikci poléhání, či zvýšeného obsahu dusíkatých látek v zrně.

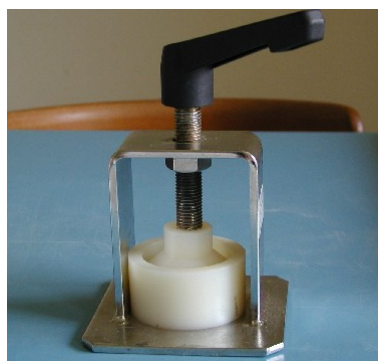
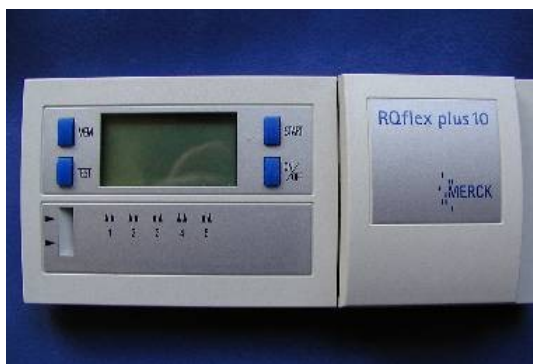


Obr. II.2.23: Závislost mezi obsahem nitrátového dusíku v bázích rostlin (jedná se o hodnoty naměřené při ředění vzorku šťávy rostlin vodou v poměru 1:50) a obsahem dusíku v sušině rostlin ve fázi poloviny odnožování (DC 22–23). Odlišně jsou vyznačeny výsledky pro jednotlivé odrůdy.

Obsah dusíku v rostlinách se v průběhu odnožování postupně snižuje jako důsledek zředovacího procesu. To lze dokumentovat na obr. II.2.24, kdy byly analýzy prováděny s přibližně týdenním zpožděním ve fázi DC 24–25, tedy ke konci odnožování. Současně s poklesem obsahu nitrátů a především obsahu dusíku v sušině rostlin se mění také závislost mezi obsahem celkového dusíku a obsahem nitrátů. Tato závislost se stává plošší, a i když je zřejmé, že obsah nitrátů lépe postihuje především nadbytek dusíku, pro interpretaci výsledků je klíčové aby analýzy byly prováděny v růstové fázi DC 22–23 a nedocházelo ke zpoždění odběrů, které vede ke zkreslování výsledků.



Obr. II.2.24: Závislost mezi obsahem nitrátového dusíku v bázích rostlin (jedná se o hodnoty naměřené při ředění vzorku šťávy rostlin vodou v poměru 1:50) a obsahem dusíku v sušině rostlin pro měření provedená s týdenním odstupem, tedy ve fázi DC 24–25. Z výsledků jsou zřejmé nižší hodnoty obsahu celkového dusíku i nitrátů a především pak změna závislosti.



Obr. II.2.25: Přístroj pro stanovení nitrátů a zařízení pro lisování

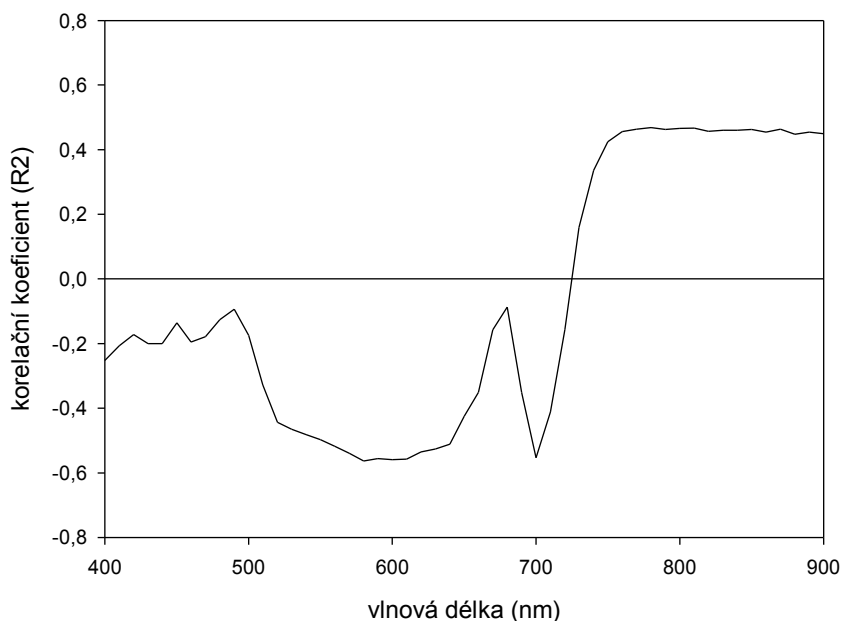


Obr. II.2.26: Schematické znázornění postupu vyhodnocení výživného stavu ječmene v DC 22–23 pomocí rychlého testu nitrátů v bázích rostlin

II.2.4.3 Vyhodnocení výživy ječmene dusíkem pomocí přístroje N-Pen založeného na aktivním měření spektrální odrazivosti listů v zelené (okolo 550 nm) a blízké infračervené oblasti (okolo 750 nm)

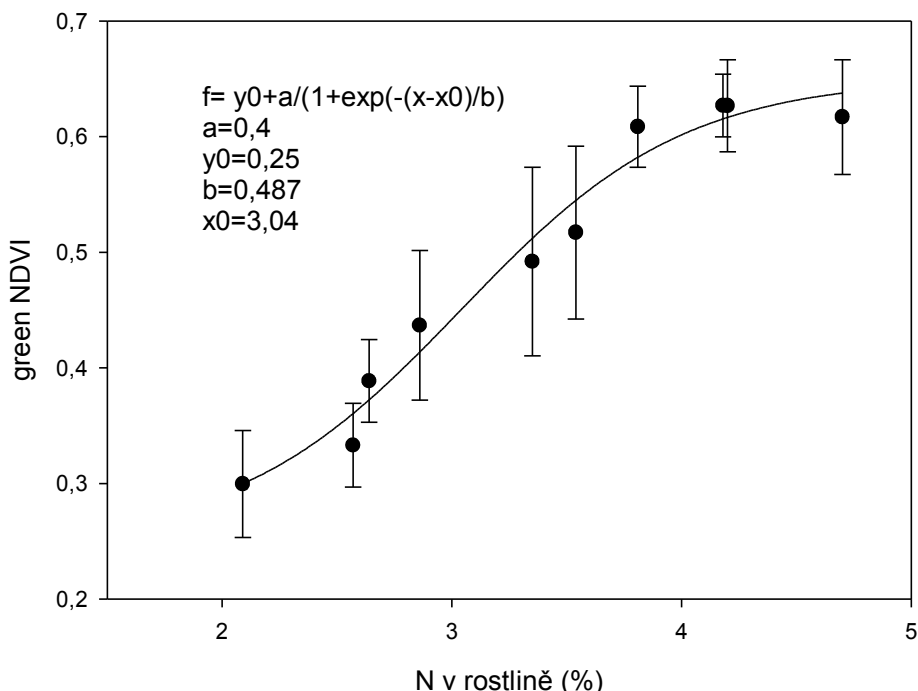
Princip metody

Přístroje založené na principu měření spektrální odrazivosti nebo spektrální propustnosti pro vyhodnocení výživy rostlin dusíkem (např. Ntester) využívají rozdílů v odrazivosti v pásmu s velmi silnou absorpcí chlorofylu (obvykle červené pásmo - okolo 670 nm) a v pásmu s velmi intenzivní odrazivostí (obvykle blízká infračervená oblast - nad 750 nm). Nejčastěji je pak využíváno takzvaného normalizovaného diferenčního vegetačního indexu NDVI, který je dán poměrem rozdílu a součtu odrazivosti v těchto dvou pásmech $[NDVI = (R_A - R_B) / (R_A + R_B)]$. Řada výsledků (např. Merzylak a Gitelson, 1995) ukazuje, že absorpční koeficient chlorofylu je v červeném pásmu (okolo 670 nm) tak vysoký, že k saturaci absorpce dochází již při poměrně nízkých koncentracích chlorofylu. Z tohoto důvodu je široce používaný index odrazivosti NDVI nedostatečně citlivý pro vyhodnocení změn ve středním a vysokém obsahu chlorofylu (Buschmann and Nagel, 1993). Vzhledem k tomu, že stanovení výživy dusíkem je založeno na korelaci k obsahu chlorofylu, ukazuje se, že NDVI je rovněž nedostatečně citlivým parametrem pro vyhodnocení středního a vysokého obsahu dusíku. Přitom právě přesnost stanovení nízkého a středního deficitu je pro praxi rozhodující. Bylo proto nutné najít pásmo odrazivosti, které bude poskytovat vysokou korelaci k obsahu dusíku v co nejširším rozsahu stanovení a především pak v oblastech středního a vysokého obsahu dusíku. Z tohoto důvodu jsme na sérii vzorků ječmene s rozdílnou úrovní výživy dusíkem provedli ve fázi poloviny odnožování měření spektrální odrazivosti pomocí spektrometru s vláknovou optikou a následné stanovení obsahu dusíku v sušině rostlin. Spektrální odrazivost v jednotlivých vlnových délkách byla následně korelována k obsahu dusíku v rostlinách (obr. II.2.27). Nejvyšších hodnot korelačních koeficientů (záporná korelace) bylo dosaženo pro odrazivost v rozmezí 530 – 630 nm (zelené až žluté pásmo) a pak v oblasti tzv. „red edge“ tj. pásmo v oblasti 700 – 720 nm. Vyšší hodnoty korelačních koeficientů (kladná korelace) byly zjištěny také pro pásmo NIR (Near Infra Red, blízká infračervená oblast) 750 – 900 nm.



Obr. II.2.27: Hodnoty korelačních koeficientů k obsahu dusíku v sušině rostlin pro odrazivost v jednotlivých vlnových délkách

Na základě těchto výsledků byla navržena konfigurace nového přístroje N-Pen, zkonstruovaného firmou PSI (Brno). Práce přístroje je založena na aktivním měření odrazivosti v zelené oblasti (okolo 550 nm) a NIR (okolo 750 nm). Jako zdroj záření v požadovaných pásmech jsou použity LED diody a pro snímání odraženého záření je použita fotodioda (PIN). Software přístroje vyhodnocuje parametr green NDVI = $(R_{\text{NIR}} - R_{\text{G}}) / (R_{\text{NIR}} + R_{\text{G}})$. Na základě dřívějších zkušeností s měřením spektrální odrazivosti bylo zjištěno, že nejkonzistentnější výsledky poskytuje měření na 2. až 3. nejmladším listu. Nejmladší list vykazuje různý stupeň vývoje a tudíž vysokou variabilitu výsledků. Podobně na starších listech je zřejmý různý stupeň senescence, který zvyšuje variabilitu výsledků. Kalibrace přístroje byla provedena na sérii vzorků s různou úrovní výživy, přičemž u každého vzorku bylo provedeno měření u 10 rostlin na 2. nejmladším listu. Výsledky kalibračních měření jsou shrnuty v obr. II.2.28. Tato závislost má charakter sigmoidy s horní a spodní mezí. Spodní mez parametru green NDVI dosahuje hodnot 0,25 a horní mez 0,65.



Obr. II.2.28: Vztah mezi obsahem N v sušině rostlin ječmene v polovině odnožování a parametrem spektrální odrazivosti green NDVI naměřeného pomocí přístroje N-Pen.

Dostupnost, výhody a rizika využití metody

Přístroj N-Pen je v současnosti již komerčně dostupný (PSI Brno), a jsou v něm naprogramovány kalibrace pro ječmen a pšenici. Výstupem měření je obsah dusíku v sušině rostlin. Dosud chybí přepočítání na relativní výživný stav, který by poskytoval informace o výživě dusíkem v širším rozsahu růstových fází. Přístroj byl ověřen na souboru nejvýznamnějších odrůd a dle dosavadních zkušeností není nezbytná odrůdová kalibrace. Je nutné si ovšem uvědomit, že se jedná o orientační měření, které může být značně ovlivněno reprezentativností vzorkování a variabilitou pozemku. V případě vysoké variability pozemku je nutné zvýšit rozsah vzorkování.

Interpretace výsledků a rozhodovací pravidla

Vzhledem k tomu, že optimální koncentrace dusíku v sušině rostlin se poměrně rychle mění v závislosti na růstové fázi (dochází ke zředovacímu efektu), je vhodnější namísto absolutních hodnot obsahu dusíku používat relativních hodnot výživy dusíkem. Z důvodu obtížné transformace funkce pro vyjádření obsahu dusíku v rostlinách byl na základě parametru green NDVI vytvořen zjednodušený algoritmus výpočtu relativní výživy N. Přitom byla maximální hodnota odrazivosti postavena rovno 100% a minimální hodnota postavena rovno 0%:

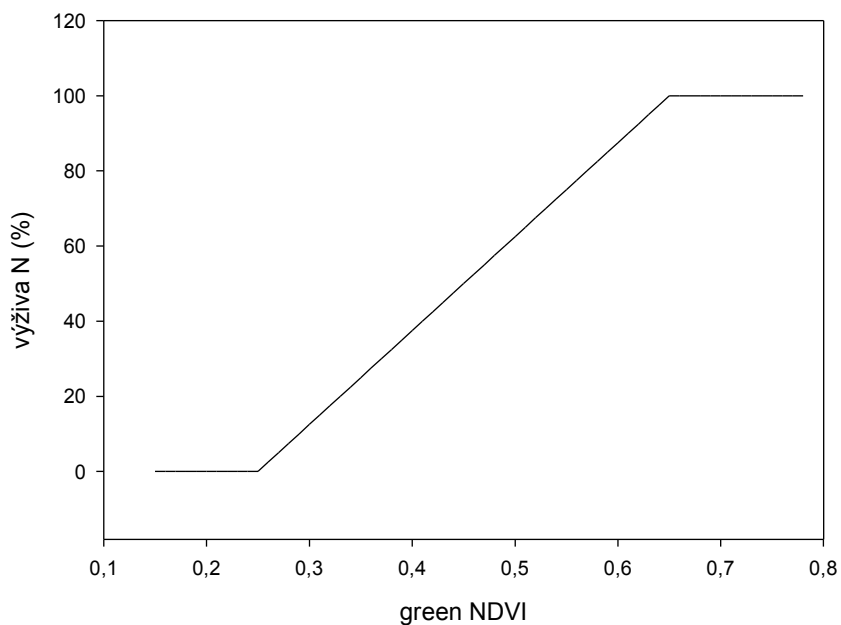
- a) jestliže $\text{green NDVI} > 0,65$ pak výživný stav $N = 100\%$
- b) jestliže $\text{green NDVI} < 0,25$ pak výživný stav $N = 0\%$
- c) jestliže $0,65 > \text{green NDVI} > 0,25$ pak výživný stav $N = (\text{green NDVI} - 0,25) * 250$

Graficky je tento algoritmus znázorněn na obr II.2.29. Jednou z hlavních předností této metody vyhodnocení je skutečnost, že spektrální odrazivost představuje, na rozdíl od koncentrace dusíku v sušině rostlin, dlouhodobě stabilní parametr vyjádření výživného stavu, který není ovlivněn růstovou fází, či hmotností sušiny rostlin a proto je tuto metodu možné použít v zásadě v průběhu celého odnožování bez nutnosti korekce na hmotnost sušiny.

Počet měření odrazivosti pomocí přístroje N-Pen na jeden vzorek (10) se ukázal dostačující. S ohledem na malou měřenou plochu ovšem může vzniknout chyba měření, pokud se například v zorném poli měření nachází skvrna způsobená chorobami nebo poškozením, případně může být list v přístroji nedostatečně upnut. Toto chybné měření je vhodné ještě v průběhu měření vyloučit a nahradit novým měřením. Z tohoto důvodu byl do přístroje naprogramován tzv. Grubbsův test pro vyloučení extrémů. Tento test je založen na výpočtu

$$z_{\text{vyp}} = \text{ABS} [(\text{naměřená hodnota} - \text{průměr souboru}) / \text{směrodatná odchylka}].$$

Hodnota z_{vyp} je následně porovnávána s tabulkovou hodnotou z_{tab} (pro 10 měření a 95% pravděpodobnost $z_{\text{tab}}=2,176$ a 99% pravděpodobnost $z_{\text{tab}}=2,410$). V případě, že je vypočtená hodnota vyšší než hodnota tabulková, jedná se s uvedenou pravděpodobností o extrémní hodnotu a musí být vyloučena. V takovém případě je nutné doplnit další měření na vzorku do celkového počtu 10. Potřebu dodatečných měření při vysoké variabilitě vzorků signalizuje přístroj automaticky.



Obr. II.2.29: Grafické vyjádření algoritmu pro stanovení relativní úrovně výživného stavu ječmene dusíkem.

II.2.4.4 Predikce obsahu N látek v zrně ječmene na základě měření spektrální odrazivosti porostu ke konci sloupkování

Obsah dusíkatých látek v zru ječmene je kvalitativní parametr, který vykazuje nejvyšší variabilitu ve vztahu k místním podmínkám, ročníku a pěstitelské technologii, a současně se jedná o parametr, který je možné nejvíce ovlivnit pěstitelskou technologií. Obsah dusíkatých látek v zru je dán především bilancí mezi množstvím dusíku, který má rostlina k dispozici a výnosem, do kterého se tento dusík v podobě bílkovinných struktur ukládá. Tento vztah ale není tak jednoduchý, jak by se mohlo na první pohled zdát. Do této základní bilance vstupuje faktor času, ve kterém je dusík k dispozici a také protichůdně působící efekt dusíku na výnos. Pokud mají rostliny v průběhu odnožování k dispozici dostatečné (optimální) množství dusíku, dochází ke zvyšování počtu produktivních stébel, a tím také ke zvýšenému zředovacímu efektu. Dusík je v tomto případě využit k tvorbě výnosu a tím ke snižování obsahu dusíkatých látek v zru, protože následně mineralizovaný dusík se zředuje ve vyšším výnose. Naopak pokud rostliny ječmene trpí v průběhu odnožování nedostatkem dusíku, vytváří se základ nižšího počtu produktivních stébel, a následně mineralizovaný dusík je ve zvýšené míře využíván k ukládání v nižším výnosu zrna, který byl limitován předchozím nedostatkem dusíku. Z jednoletých výsledků tak dostáváme poměrně těsné závislosti mezi obsahem dusíku v sušině rostlin v polovině odnožování a obsahem dusíkatých látek v zrně. Tyto závislosti jsou ovšem v jednotlivých ročních odlišné, a zatímco v jednom roce je zřejmá kladná závislost mezi obsahem dusíku v sušině rostlin (poměr N/P) a dusíkatými látkami v zrně, v následujícím roce můžeme pozorovat závislost obrácenou (obr. II.2.30). To souvisí s dynamikou uvolňování minerálního dusíku a případně také s dostupností dusíkatých hnojiv při suchém počasí. V ročníku kdy dochází k rychlé mineralizaci (vlhké a teplé počasí) znamená obvykle zvýšený obsah dusíku v rostlinách ječmene snížení obsahu dusíkatých látek v zru. Naopak v letech kdy je mineralizace posunována suchým počasím, představuje zvýšený obsah minerálního dusíku zvýšený potenciál navazující mineralizace a závislost k obsahu dusíkatých látek v zru je proto opačná. Dynamiku uvolňování minerálního dusíku může do značné míry ovlivňovat také předplodina a to prostřednictvím množství posklizňových zbytků a jejich rozdílné rychlosti rozkladu. Z tohoto pohledu představuje největší problémy pro sladovnický ječmen předplodina kukuřice na zru. První problém je dán již termínem sklizně, který neumožňuje ve většině případů nastartování rozkladu posklizňových zbytků. Současně je těchto zbytků velké množství a vyznačují se pomalým rozkladem. V časném jaru proto dochází k imobilizaci dusíku při rozkladu posklizňových zbytků a teprve později dochází k jeho mineralizaci. Rozdíly mezi předplodinami v dynamice uvolňování minerálního dusíku jsou

dobře patrné na příkladu z roku 2007 (obr. II.2.31), kde je především zřejmý rozdílný průběh uvolňování minerálního dusíku u předplodin s rychlým rozkladem posklizňových zbytků (řepka, včas sklizená cukrovka) a u předplodin s pomalým rozkladem (pšenice s ponecháním slámy na poli, kukuřice na zrna). S ohledem na složité vlivy půdních podmínek, předplodiny, ročníku i zpracování půdy je predikce obsahu dusíkatých látek v zrna dříve než na konci sloupkování poměrně složitá, a pokud existuje, pak má obvykle platnost jen pro úzce vymezené podmínky. Ovšem i predikce obsahu dusíkatých látek prováděná až ke konci sloupkování má své opodstatnění. Tato predikce může mít na jedné straně význam pro vyčlenění pozemků nebo částí pozemků s potenciálně nízkou kvalitou a vytvoření homogenních sklizňových partií o vysoké sladovnické jakosti. Současně je možné na plochách, které se nacházejí na hranici limitu obsahu dusíkatých látek napláňovat opatření směřující ke snižování dusíkatých látek v zrna. K těm můžeme zařadit například intenzivní použití fungicidní ochrany, především pak fungicidů ze skupiny strobilurinů a stimulatorů růstu. Prodloužení délky fungování asimilačního aparátu pak přispívá ke zvýšení poměru mezi škroby a dusíkatými látkami v zrna.

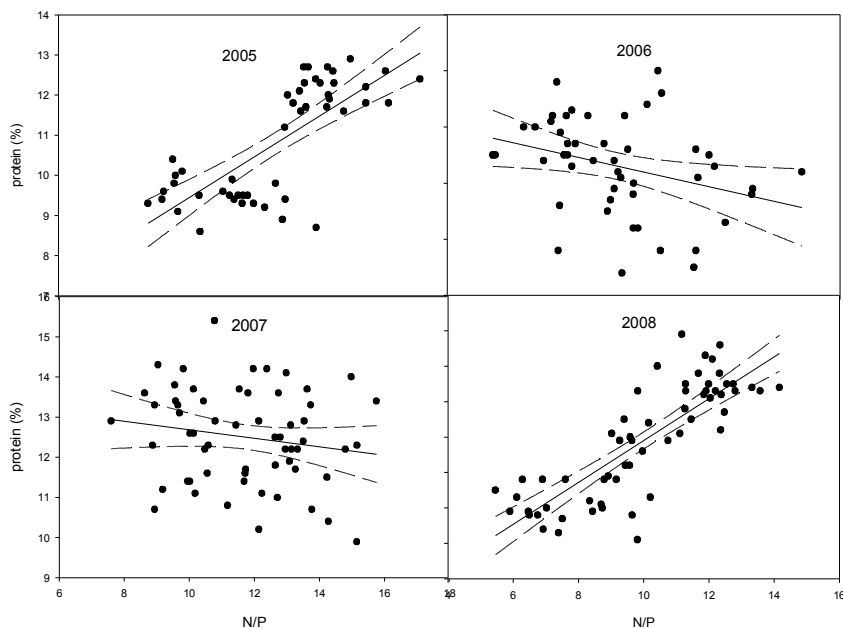
Princip metody

Metoda je založena na měření spektrální odrazivosti celého porostu ze vzdálenosti přibližně 1m. Pro měření bylo použito spektrometru s vláknovou optikou USB2000 (Avantes). Ke snímání bylo použito kolimačního objektivu, který má nastavitelný úhel záběru FOV 0 – 45°. Při měření byl použit FOV 25°, který při uvedené vzdálenosti od porostu zachycuje plochu o průměru asi 45 cm, což znamená snímanou plochu o velikosti přibližně 0,15 m². Objektiv byl namontován na tyči, tak aby bylo eliminováno stínění osoby provádějící měření. Snímání průměrné křivky spektrální odrazivosti bylo zajištěno použitím delšího integračního času spektrometru (5s), který při člunkovitém pohybu senzoru nad parcelou umožňoval měření celé parcely v jednom chodu. Na začátku a na konci měření bylo provedeno měření spekter dopadajícího slunečního záření. Relativní hodnoty odrazivosti byly vypočteny jako poměr dopadajícího a odraženého záření v jednotlivých vlnových délkách. Měření byla prováděna v experimentech s řadou variant hnojení v růstové fázi konce sloupkování (DC 37–41). Parcely byly sklizeny parcelní sklízecí mlátičkou a vzorky zrna analyzovány na obsah N-látek v zrna. Vývoj vhodného indexu byl prováděn na základě hodnot korelačních koeficientů pro závislost mezi odrazivostí a obsahem N-látek v zrna. Vzhledem k tomu, že nejvyšší hodnoty korelačních koeficientů byly zjištěny pro oblast tzv. red-edge okolo 720 nm (obr. II.2.32), byla hlavní pozornost věnována tomuto pásmu. Jedním z hlavních problémů, které bylo nutné při vývoji vhodného indexu vyřešit, byla eliminace vlivu hustoty porostu (biomasy) a oddělení efektu od

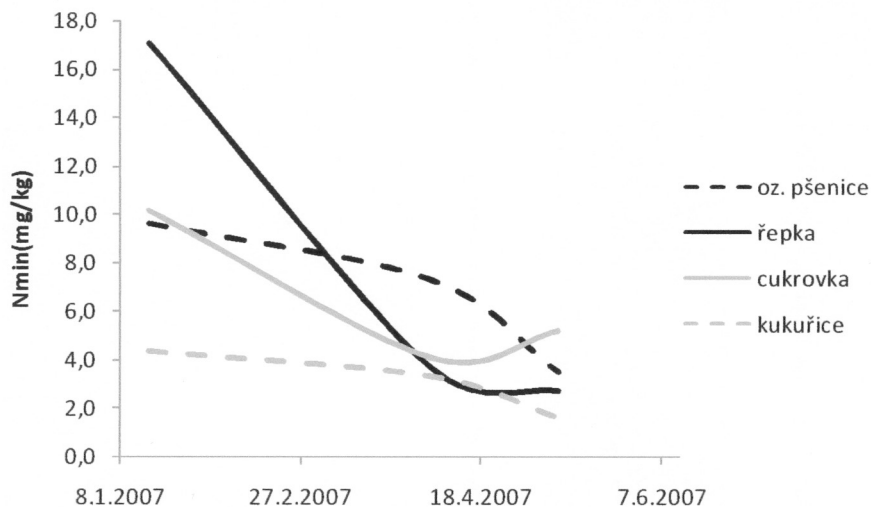
výživného stavu. Vzhledem k tomu, že hustota porostu je nejlépe popisována parametrem NDVI, který vychází z odrazivosti v červeném (okolo 680 nm) a NIR pásmu (okolo 780 nm), bylo nutné normalizovat odrazivost v pásmu red-edge (720 nm) na tyto vlnové délky. Pro tento účel byl vytvořen index NRERI, který je vlastně poměrem rozdílů red-edge (720 nm) a red (680 nm) a NIR (780 nm) a red (680 nm):

$$NRERI = (R_{720} - R_{680}) / (R_{780} - R_{680})$$

Tento index nabývá hodnot od 0 do 1. Při hodnotách přibližujících se 0 jsou hodnoty odrazivosti v pásmu 720 nm blízké odrazivosti v 680 nm, naopak při hodnotách přibližujících se k 1 jsou hodnoty odrazivosti v 720 nm blízké odrazivosti v 780 nm.



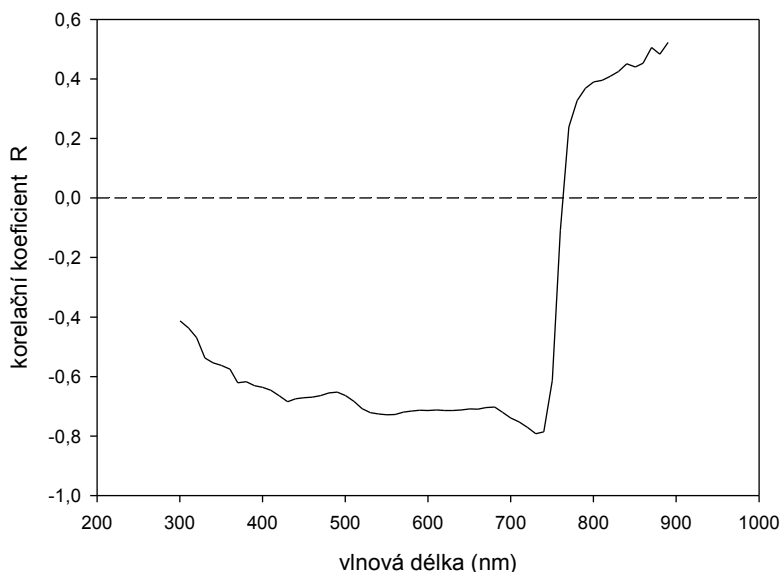
Obr. II.2.30: Závislost mezi poměrem živin N/P který charakterizuje úroveň dusíkaté výživy v první polovině odnožování a výsledným obsahem dusíkatých látek v zrně pro jednotlivé ročníky (rok 2008 – nadprůměrně vlhký po celou vegetaci, rok 2006 velmi suchý až do konce odnožování)



Obr. II.2.31: Dynamika uvolňování minerálního dusíku v časném jaru 2007 pro jednotlivé předplodiny.

Dostupnost, výhody a rizika využití metody

Metoda zatím neexistuje v komerčně dostupné podobě. Přestože ceny jednoduchých spektrometrů v posledních letech značně poklesly, je jejich použití pro tento účel stále nákladné a především zbytečné. Pro daný účel by plně dostačovala sestava tří senzorů snímajících odražené záření ve vlnových délkách okolo 680, 720 a 780 nm a stejný počet senzorů snímajících dopadající záření ve stejných vlnových délkách. Tento princip byl úspěšně vyzkoušen při použití senzorů vybavených filtry propouštějícími radiaci v pásmech 650 – 690 nm, 700 – 750 nm a 750 – 800 nm. Uplatnění metody je ale stále závislé na skutečnosti, zda se podaří nalézt výrobce senzorů a vyhodnocovacího modulu. K hlavním přednostem patří skutečnost, že je možné metodu použít jako on-line přímo na postřikovači (např. při aplikaci fungicidů nebo regulátorů růstu).



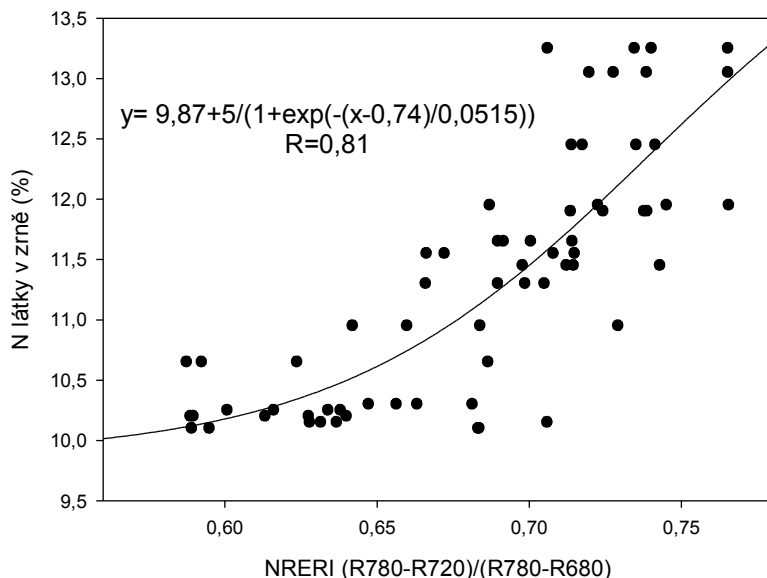
Obr. II.2.32: Hodnoty korelačních koeficientů pro závislost mezi odrazivostí porostu v jednotlivých vlnových délkách a obsahem dusíkatých látek v zrna

Interpretace výsledků a rozhodovací pravidla

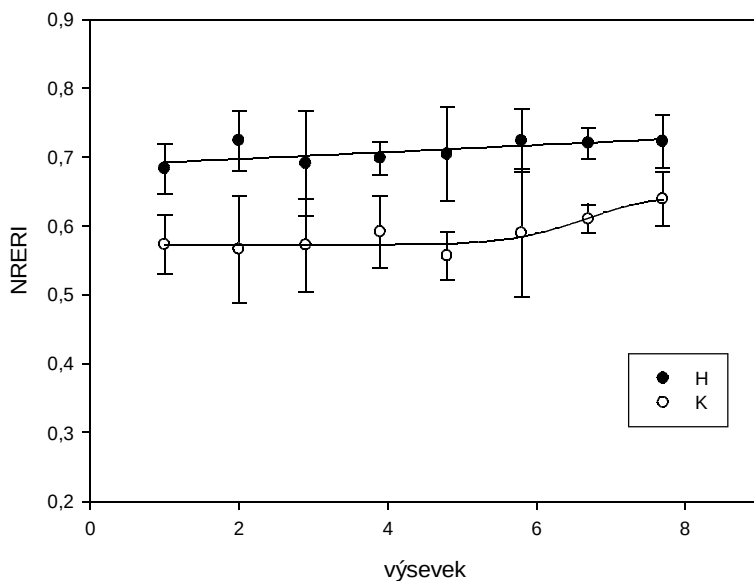
Mezi indexem odrazivosti porostu NRERI ke konci sloupkování a obsahem dusíkatých látek v zrně ječmene byla nalezena těsná závislost ($R = 0,81^{**}$), která má nelineární charakter (obr. II.2.33) a umožňuje provádět relativně spolehlivou predikci dusíkatých látek v zrna v rozsahu 10 – 14 %.

Metoda byla následně ověřována také v experimentu s odstupňovanými hustotami výsevu a dvěma úrovněmi intenzity pěstitelské technologie, které se lišily především dávkou dusíku. Z obr. II.2.34 je patrné že parametr NRERI se s hustotou výsevu mění jen minimálně a neprůkazně, zatímco vliv intenzity (dusíkaté výživy) je mnohem vyšší a především průkazný prakticky napříč všemi hustotami výsevu. To dokazuje skutečnost, že index NRERI je schopen eliminovat vliv hustoty porostu, při současném efektivním vyhodnocení výživného stavu porostu a to i při poměrně extrémních hodnotách hustoty výsevu 1 – 8 MKS.ha⁻¹. U parametrů jako je NDVI můžeme pozorovat, že zvýšená dusíkatá výživa i hustota vykazují stejné změny indexu odrazivosti.

Ve skutečnosti ovšem hustota působí ve vztahu k obsahu dusíkatých látek v zrně opačně. Z tohoto důvodu není dobré hustotu porostu při predikci obsahu dusíkatých látek v zrně zanedbávat, ale je nutné ji stanovit samostatně. Možnosti diagnostiky hustoty porostu jsou uvedeny v samostatné kapitole.



Obr. II.2.33: Závislost mezi indexem spektrální odrazivosti porostu NRERI ke konci sloupkování (DC 37–41) a obsahem N látek v zrně ječmene



Obr. II.2.34: Reakce indexu NRERI na odstupňovanou hustotu výsevu ječmene při dvou úrovních pěstitelské technologie. Index NRERI vykazuje jen minimální změny ve vztahu k hustotě porostu, přičemž současně vykazuje průkazný vliv výživného stavu.

III Srovnání „novosti postupů“

Metodika seznamuje uživatele s možnostmi využití tradičních i nových perspektivních diagnostických metod jako nástrojů podpory rozhodovacích procesů ve významných bodech pěstební technologie jarního sladovnického ječmene. Zahnuje jak metody tradiční a do praxe již zavedené, tak nové perspektivní diagnostické metody a postupy.

Metodika obsahuje popis nových diagnostických metod a postupů, které byly vyvinuty v rámci řešení výzkumných projektů za účasti členů autorského kolektivu. Součástí jsou údaje o dostupnosti a využitelnosti popsaných metod, pomůcky k interpretaci zjištěných výsledků a doporučení, případně rozhodovací pravidla pro příslušný úsek pěstební technologie. Nové v metodice popisované metody se vztahují k:

- Vyhodnocení obsahu přístupného dusíku v půdě:
 - prognóza uvolňování dusíku během vegetace (inkubační metoda),
 - diagnostika potenciálně mineralizovatelného dusíku s využitím extrakce amonného dusíku pomocí horkého KCl.
- Korekci výživného stavu v průběhu vegetačního období:
 - diagnostika výživného stavu v polovině odnožování na základě stanovení koncentrace nitrátů ve šťávě z bází rostlin,
 - vyhodnocení výživy ječmene dusíkem pomocí přístroje N-Pen,
 - predikce obsahu N-látek v zrně ječmene na základě měření spektrální odrazivosti listů.
- Diagnostice hustoty porostu:
 - vyhodnocení hustoty porostu pomocí multispektrálních kamer,
 - rozhodovací pravidla pro regulaci poléhání.

Metodika pokrývá důležité body v rámci celé technologie pěstování jarního ječmene. Tímto pojetím je prvním uceleným popisem diagnostických metod a postupů jako nástrojů pro zkvalitnění rozhodovacích procesů od rozpracování metod agrobiologické kontroly (ABK).

Metodika reflektuje nejnovější poznatky výzkumu na úseku pěstebních technologií a vývoje diagnostických metod. Je aktuální pomůckou pro cílené a efektivní modifikace pěstebních technologií jarního ječmene.

IV Popis uplatnění metodiky

Metodika je prvotně určena pěstitelské praxi. Přináší informace o možnostech využití vybraných tradičních i nových perspektivních diagnostických metod a poskytuje pomůcku pro efektivní modifikace pěstebních technologií jarního sladovnického ječmene.

S ohledem na obsažené informace a způsob zpracování může být využívána i poradenskou službou na úseku rostlinné produkce.

V neposlední řadě může metodika posloužit jako jeden ze zdrojů ke vzdělávání jak v zemědělském školství, tak i k průběžnému vzdělávání zemědělských podnikatelů a veřejnosti.

Metodika bude přístupná na webové stránce www.vukrom.cz. Na stejné webové stránce bude umístěna i softwarová aplikace SLAD08, která metodiku doplňuje.

V tištěné formě vydána nákladem 200 kusů.

V Ekonomické aspekty

Náklady spojené s využíváním již zavedených diagnostických metod se aktuálně pohybují v průměru mezi 60 – 100 Kč.ha⁻¹. V souvislosti se zaváděním a využíváním nových metod lze v řadě případů očekávat změnu relací mezi náklady na pořízení přístrojového vybavení a úhradami za služby specializovaných laboratoří. Nicméně, i když mnohé z nových metod ještě nejsou v současné době komerčně dostupné, můžeme s vysokou mírou pravděpodobnosti předpokládat, že i v tomto případě se budou celkové náklady pohybovat okolo 100 Kč.ha⁻¹. Výhodou spojenou s využíváním nových metod, zejména nepřímých, zůstává větší plošná výkonnost a kratší čas potřebný k získání výsledků.

Ekonomické přínosy praktického uplatňování diagnostických metod je obtížné konkrétně vyčíslit vzhledem k charakteru zemědělské výroby, různorodosti uplatňovaných pěstitelských postupů a podmínek, ve kterých se uskutečňují. Z našich zkušeností z polních pokusů (maloparcelkových i poloprovozních) vyplývá, že přínosy v tržbách se nejčastěji pohybují v rozmezí 500 – 5000 Kč.ha⁻¹ (v závislosti na podmínkách v daném ročníku). Přitom nejde pouze o výši produkce, ale důležitým aspektem je také stabilita výnosů a sladovnické kvality zrna.

VI Seznam použité literatury

- Buschmann, C., Nagel, E. (1993): In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote-sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 4, s. 711-722.
- Dennert, J., Fischbeck, G. (2001): Einsatz und Wirkung von Wachstumsregulatoren. *Getreide Magazin*, 7, 1, s. 12-17.
- Hřivna, L., Borovička, K., Cerkal, R. (2005): Optimalizace výživy jarního ječmene pro dosažení sladovnické kvality zrna. *Agro*, 10, 2, s. 77-81.
- Hřivna, L., Ryant, P. (2006): Výživa jarního ječmene během vegetace a kvalita produkce. *Agro*, 11, 5, s. 45-48.
- Kosař, K. et al. (1997): Metodiky pro zemědělskou praxi - Kvalita sladovnického ječmene a technologie jeho pěstování. Praha, ÚZPI, 45 s.
- Merzlyak, M.N., Gitelson, A. (1995): Why and what for the leaves are yellow in autumn – on the interpretation of optical-spectra of senescing leaves (*Acer platanoides* L.). *Journal of Plant Physiology*, 145, 3, s. 315-320.
- Miša, P. (2003): Jak úspěšně pěstovat jarní ječmen? *Farmář*, 9, 1, s. 16-19.
- Onderka et al. (2001): Metodika pěstování jarních obilnin. Kroměříž, Zemědělský výzkumný ústav Kroměříž, s.r.o., 143 s.
- Prokeš, J., Psota, V., Pelikán, M., Hřivna, L. (1997): Jakostní požadavky na surovinu z hlediska sladařského. In: Aktuální otázky pěstování, šlechtění, hodnocení jakosti a obchodu se sladovnickým ječmenem. Sborník referátů ze semináře konaného v Brně na MZLU dne 26. 2. 1997, Brno, MZLU, s. 61-67.
- Richter, R., Hřivna, L. (2000): Regenerační hnojení ozimé pšenice a ozimé řepky. *Agromagazín*, 1, 3, s. 19-21.
- Richter, R., Hřivna, L., Příkopa, M. (2004): Význam předplodin pro jarní ječmen a jeho hnojení. *Úroda*, 52, 2, s. 14-15.
- Smith, K.A, Li, S.X. (1993): Estimation of potentially mineralizable nitrogen in soil by KCl extraction. 1. Comparison with pot experiments. *Plant and Soil*, 157, 2, s. 167-174.
- Zimolka, J. (1999): Inovační přístupy v technologii pěstování sladovnického ječmene. In: Ječmenářská ročenka 2000, Praha, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, s. 159-163.
- Zimolka, J. et al. (2006): JEČMEN - formy a užitkové směry v České republice. 1. vydání. Praha, Profi Press, s. r. o., 199 s.

VII Seznam publikací, které předcházely metodice

- Hřivna, L., Ryant, P., Prokeš, J. (2007): The effect of nitrogen and sulphur fertilisation of barley on yields and technological parameters of grain and malt. *Agrochémia*, 11(47), 3, s. 7-13.
- Hřivna, L., Richter R., Ryant, P., Příkopa, M. (2009): The effect of the previous crop and differentiated fertilisation on yields and content of N-substances in spring barley grain. *Acta Univ. agric. silvic. Mendel. Brun.*, 52, 58, s. 141-148.
- Klem, K., Babušník, J. (2006): Regulátory růstu v jarním ječmeni. *Obilnářské listy*, 14, 1, s. 1-7.
- Klem, K. (2008): Dosažení nejvhodnější struktury porostu jarního ječmene. *Úroda*, 56, 1, s. 36-39.
- Klem, K. (2008): Metody pro optimalizaci dusíkaté výživy sladovnického ječmene. *Úroda*, 56, 2, s. 48-50.
- Klem, K. (2009): Vliv dusíkaté výživy a hustoty na výnos ječmene a obsah N-látek. *Úroda*, 57, 2, příloha - jarní obilniny, s. 50-54.
- Klem, K., Klemová, Z., Miša, P. (2009): Poléhání jarního ječmene - hlavní faktory a systémy regulace. *Obilnářské listy*, 17, 2, s. 46-53.
- Klem, K. (2006): Prediction of nutrients, yield and disease severity in cereals using chlorophyll fluorescence, spectral reflectance and neural networks. In: Eighth International Conference on Precision Agriculture, Minneapolis, s. 2
- Klem, K. (2008): Spring barley canopy structure parameters determination based on PAR transmission and canopy reflectance sensors, and its application for adjustment of growth regulators and fungicide dose. In: Ninth International Conference on Precision Agriculture, Denver, CD full text.
- Miša, P. (2010): Jarní ječmen - zpracování půdy a ošetření slámy předplodin. *Úroda*, 58, 2010, 3, s. 26-31.
- Miša, P., Klem, K., Hřivna, L., Ryant, P., Pospíšil, A., Dlouhý, T. (2008): SLAD08 – soubor rozhodovacích pravidel pro pěstování jarního ječmene [aplikace pro Windows]. Verze 08. Kroměříž, Agrotest fyto, s.r.o.
Dostupné na <http://www.vukrom.cz/aktuality>



Využití diagnostických metod pro rozhodovací procesy v pěstební technologii jarního ječmene

Vydal:

Agrotest fyto, s.r.o.

Havlíčková 2787/121, 767 01 Kroměříž

ISBN 978-80-904597-0-3