

Význam dusíku pro pšenici

Mezi makrobiogenními prvky má dusík specifický význam. Podle kvantitativního zastoupení v rostlinné biomase stojí na čtvrtém místě mezi biogenními prvky a pouze vyšší rostliny a četné mikroorganismy jej dovedou převádět z jednotlivých anorganických sloučenin do organických látek (ZEHNÁLEK, 1999).

Optimální výživa obilnin dusíkem bezprostředně souvisí s obsahem jeho přístupných forem v půdě. Celkový obsah dusíku se v půdě pohybuje v rozpětí 0,05-0,55 % (BERGMANN, ČUMAKOV, 1977), přičemž ornice půd ČR obsahují 0,1-0,2 %. Téměř veškerý půdní dusík se vyskytuje v organických vazbách a pouze 1-2 % tvoří dusík minerální (RICHTER, HLUŠEK, 1994).

Zdrojem dusíku pro rostliny jsou organická a minerální hnojiva, fixace vzdušného dusíku symbiotickými i volně žijícími bakteriemi, elektrické výboje v atmosféře a také půdní organická hmota (BIELEK, 1984).

Při koloběhu dusíku v půdě sehrávají důležitou roli zejména dva protichůdné procesy: mineralizace organických látek až na amoniak a imobilizace, tj. zpětné zabudovávání dusíku do půdní organické hmoty. Amonný dusík vzniklý při procesu mineralizace, popř. dodaný v hnojivech, je částečně přístupný rostlinám v půdním roztoku, částečně je oxidován (nitrifikován) přes nitrity na nitráty, ale určitý podíl je také fixován krystalickou mřížkou jílových minerálů. Nezanedbatelné množství zaujímají také ztráty dusíku z půdy, které představuje především vyplavování nitrátů a denitrifikace, tzn. únik dusíku ve formě N_2 (BAIER *et al.*, 1988; FECENKO, LOŽEK, 2000).

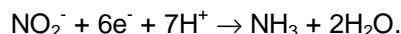
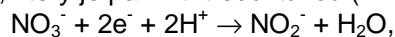
Z popsanych procesů je zřejmé, že obsah minerálního dusíku (N_{min}) v půdě je veličina značně proměnlivá a závisí na celé řadě faktorů (hydrotermické poměry, dávky a formy hnojiv, mikrobiální aktivita, povětrnostní vlivy a další). Mnozí autoři (např. LOŽEK *et al.*, 1991; RICHTER, HLUŠEK, 1994; BIELEK, 1997) popisují také jeho sezónní dynamiku v půdě, která je charakterizována jarním a podzimním maximem a letní depresí. Přes značnou proměnlivost obsahu N_{min} v půdě, je tato hodnota jednou ze základních informací pro optimalizaci dávek dusíku před setím nebo v průběhu vegetace (LAHKÝ, 1985; MICHALÍK *et al.*, 1986; BAIER *et al.*, 1988; IVANIČ *et al.*, 1990; BÍZIK, 1991; NEUBERG *et al.*, 1995; LOŽEK, 1998; WEHRMAN, SCHARPF *cit.* LOŽEK, 1998; MEDVEŽ, 1999). Zvlášť účelné je využití kombinace výsledků rozborů půd a analýz rostlinné hmoty (BÍZIK, 1989; LOŽEK, 1991; IVANIČ *et al. cit.* LOŽEK, 1998).

Mezi makrobiogenními prvky má dusík specifický význam. Podle kvantitativního zastoupení v rostlinné biomase stojí na čtvrtém místě mezi biogenními prvky a pouze vyšší rostliny a četné mikroorganismy jej dovedou převádět z jednotlivých anorganických sloučenin do organických látek (ZEHNÁLEK, 1999).

Rostlinou je dusík přijímán prakticky ve dvou iontových formách, jako nitrátový aniont (NO_3^-) nebo amonný kationt (NH_4^+). MENGEL A KIRKBY (1978) uvádějí, že nitrát je častějším a preferovaným zdrojem dusíku pro růst rostlin a jeho příjem je obecně vyšší, avšak velice závislý na rostlinném druhu a dalších faktorech prostředí. Například rostliny adaptované na kyselé půdy a na nízký redoxní potenciál půd reagují příznivě na amonnou formu dusíku (ISMUNADJI A DIJKSHOORN *cit.* MARSCHNER, 1995) a rostliny kalkofilní, vyžadující vyšší půdní reakci, využívají spíše nitrátový dusík (KIRKBY *cit.* MARSCHNER, 1995). Příjem nitrátového aniontu převažuje podle VAŇKA *et al.* (1998) v biologicky činných půdách, kde dochází k intenzivní nitrifikaci. Nitráty jsou v xylému snadno mobilní a mohou být uchovávány ve vakuolách kořenů nebo nadzemní hmoty, kdežto většina amonných iontů je zabudována do organických sloučenin již v kořenech (MARSCHNER, 1995). Podle KOLEKA A HOLOBRADÉ (1988) je aktivní příjem nitrátu ovlivněn hodnotou pH půdy, kdy v kyselejších podmínkách převažuje příjem nitrátu a při hodnotě 6,8 se příjem NO_3^- a NH_4^+ vyrovnává. Bylo také zjištěno, že amonný iont působí inhibičně na příjem nitrátové formy dusíku. Regulace příjmu nitrátů jsou podle IMSANDE A TOURAINE (*cit.* PROCHÁZKA *et al.*, 1998) realizovány poměrem organických kyselin a aminokyselin transportovaných ve floému z listů do kořenů, což předpokládá přenašeče nitrátů typu antiportu OH^-/NO_3^- nebo HCO_3^-/NO_3^- . Z jiných pozorování (PROCHÁZKA *et al.*, 1998) naopak vyplývá, že příjem nitrátu je záležitostí symportu H^+/NO_3^- , kde přenos jednoho až dvou H^+ je využit pro přenos NO_3^- , nebo Na^+/OH^- , který je umožněn energií elektrochemického gradientu Na^+ . CRAWFORD A GLASS (1998) identifikovali pomocí kinetických studií 3 typy transportních systémů nitrátů, CHATS, IHATS a LATS, které jsou indukované v závislosti na koncentraci nitrátů v půdním roztoku. Kromě nitrátu nebo amonného iontu jsou rostliny schopny přijímat i některé dusíkaté organické sloučeniny, např. močovinu, popř. aminokyseliny. U bobovitých rostlin slouží jako zdroj dusíku i vzdušný N_2 , zásluhou symbiotické fixace tzv. hlízkovými bakteriemi (RICHTER, HLUŠEK, 1994; PROCHÁZKA *et al.*, 1998).

Pro zabudování nitrátu do organických sloučenin a plnění jeho nezbytných funkcí jako rostlinné živiny musí být nitrát redukován na amoniak, a to buď ihned v kořenech nebo až v listech.

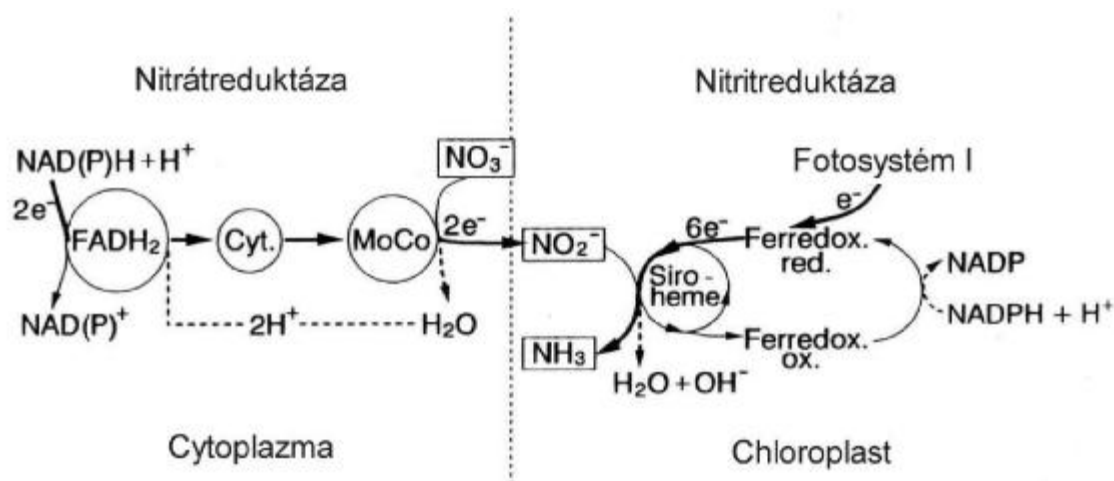
Redukce NO_3^- probíhá ve dvou stupních. Nejprve je enzymem nitrátreduktázou (NR) redukován NO_3^- za vzniku NO_2^- , který je pak nitritreduktázou (NiR) dále redukován na NH_3 :



Celková redukce NO_3^- tedy vyžaduje 8 elektronů, NR je lokalizována v cytozolu, kde je patrně asociována s vnější stěnou obalové membrány plastidů a využívá elektrony především z NADH. NR je indukovaný komplexní enzym obsahující 3 prostetické skupiny (obr. 2.1), flavin adenin dinukleotid (FAD), cytochrom 557 (cyt_c) a molybdenový kofaktor (MoCo) (CORZO *et al. cit.* MARSCHNER, 1995).

Její aktivita je řízena především samotnými nitráty a také světlem. Nitrity jsou pro buňky škodlivé, a proto jsou okamžitě redukovány nitritreduktázou lokalizovanou ve stromatu plastidů (PROCHÁZKA *et al.*, 1998).

Obr. 2.1 **Schéma asimilace nitrátů v buňkách listu** (BEEVERS, HAGEMAN a WARNER, KLEINHOFS *cit.* MARSCHNER, 1995)

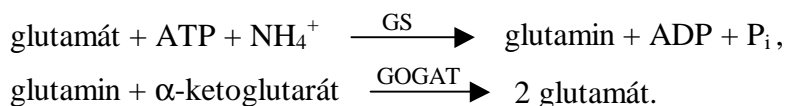


Redukci nitrátu na amoniak ovlivňuje mj. světlo, teplota, ale také minerální výživa, zejména přísun Mo, Mg a nepřímo také Mn jako složky fotosystému II (RICHTER, HLUŠEK, 1994). Činnost nitrátreduktázy v listech selektivně inhibují také herbicidy, jako např. diuron (PEIRSON A ELLIOTT *cit.* MARSCHNER, 1995).

Amoniak vzniklý redukcí nitrátu, přijatý kořeny nebo jako produkt fixace vzdušného dusíku je pro rostlinu toxický i při poměrně nízké koncentraci, a proto je velmi významné jeho zabudování do aminokyselin, amidů a dalších sloučenin (ROBERTS A PANG *cit.* MARSCHNER, 1995). Vlastní asimilace amoniaku probíhá dvěma způsoby. Při vyšších koncentracích NH_3 je funkční glutamátdehydrogenáza, která katalyzuje reakci α -ketoglutarátu (α -oxoglutarátu):



Účinnější se však jevší systém GS/GOGAT (GS = glutaminsyntetáza, GOGAT = glutamátsyntetáza), který realizuje následující sled reakcí (LEA, MIFLIN, 1974):



Glutaminsyntetáza je oblastí styku metabolismu uhlíku a dusíku v chloroplastech a podílí se také na zabudování amoniaku do kyseliny α -ketoglutarové i v peroxizomech a mitochondriích, tedy v glykolátovém metabolismu fotorespirace (RICHTER, HLUŠEK, 1994; PROCHÁZKA *et al.*, 1998).

V glutamátu a glutaminu vázaný aminový dusík může být přenášen na jiné oxokyseliny transaminací. Tento proces, katalyzovaný aminotransferázami, je u rostlin prostředkem pro tvorbu celé řady aminokyselin. Různým řetězením 20 esenciálních aminokyselin podle specifického genetického kódu vznikají makromolekuly proteinů, které tvoří podstatnou součást všech živých buněk a pletiv rostlin (MARSCHNER, 1995; VANĚK *et al.*, 1998). Jsou obsaženy zvláště v mladých orgánech, dělivých pletivech, enzimech, nukleoproteidech a dalších látkách, které se významně podílejí na vlastním růstu

rostliny a celkové tvorbě biomasy. Ke konci vegetace se tvoří větší množství zásobních bílkovin v semenech, u obilovin většinou nad 10 %, u hrachu okolo 22 % (VANĚK *et al.*, 1998). Obsah proteinů v zrně obilovin úzce koreluje s obsahem vitamínu B: riboflavin, thiamin a kyselina nikotinová (DRESSEL A JUNG *cit.* MARSCHNER, 1995), což odráží skutečnost, že jejich velká část reprezentuje proteiny enzymů, ve kterých vitamín B působí jako prostetická skupina.

Deficit dusíku u obilnin je charakterizován sníženým počtem odnoží (obr. 2.2), omezením počtu zrn v klase, žloutnutím starších listů, nižší hmotností tisíce zrn či horší kvalitou zrna (MENGEL, KIRKBY, 1978; BÍZIK *et al.*, 1994; VANĚK *et al.*, 1998). Naopak při nadbytku dusíku jsou porosty obilnin husté, sytě zelené s bohatým olistěním. Stébla jsou však málo pevná, náchylná k poléhání a chorobám, zvláště houbovým (RICHTER, HLUŠEK, 1994; VANĚK *et al.*, 1998).

Náročnost ozimé pšenice na výživu dusíkem je proměnlivá během vegetačního období. Velké nároky na obsah dusíku v živném prostředí vyžaduje pšenice podle NEUBERGA *et al.* (1990) v období od konce odnožování až do fáze mléčné zralosti. S tímto korespondují výsledky TRČKOVÉ (1997), která uvádí, že pšenice je schopna rychle přijímat vysoké množství dusíku v době intenzivního růstu, tj. od počátku sloupkování do nástupu kvetení.

Také EWERT A HONERMEIER (1999) zdůrazňují přísun dusíku během vegetace, zejména pro iniciaci klásků v květenství pšenice. Podle FECENKA (1998a) má pšenice dvě období, ve kterých projevuje zvýšené požadavky na výživu dusíkem: na začátku růstu – období zakládání generativních orgánů a v období tvorby zrna. Nedostatek dusíku v prvním období snižuje výnos, v druhém období podstatně snižuje kvalitu zrna, zejména jeho hmotnost a obsah bílkovin. Znovu se potvrzuje hodnocení DUCHONĚ (1948), že dusík je jazýčkem na vahách rostlinné produkce.

Obr. 2.2 **Řídký a světle zelený porost pšenice ozimé** (VANĚK *et al.*, 1998)

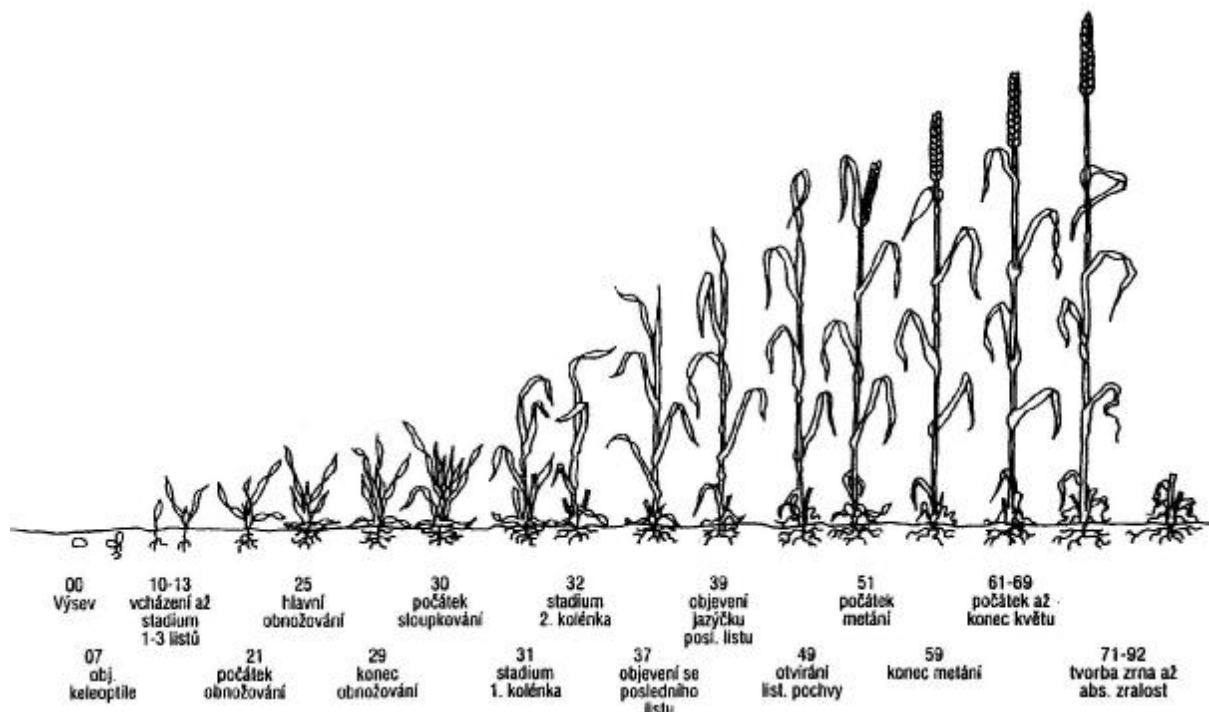


Porosty ozimé pšenice přijmou do začátku sloupkování cca 41 % N, do období metání dalších 18 %, do období kvetení 12 % a do sklizně zbývajících 29 % N. Tyto skutečnosti ukazují na potřebu zabezpečení rostlin optimálním množstvím dusíku v průběhu celého vegetačního období (FECENKO, 1998a).

Základem dusíkaté výživy jsou proto dělené dávky během vegetace. U ozimých obilnin dělíme podle RICHTERA *et al.* (1997b) dusíkaté hnojení na základní předseťovou, regenerační, produkční a kvalitativní dávku dusíku. U jarních obilnin potom pouze na základní, produkční, popř. kvalitativní dávku dusíku.

Účelnost **základního předseťového hnojení** u pšenice ozimé je v České republice stále diskutována. V suchých oblastech, kde nedochází během zimy k vyplavení, na půdách s dobrou sorpční kapacitou, zejména v kukuřičné výrobní oblasti, lze před setím nebo orbou použít podle KŘENA *et al.* (1998b) až 75 % z celkové dávky dusíku. FECENKO (1998b) zdůrazňuje nezbytnost nižších dávek dusíku při podzimním základním hnojení zejména při pozdním setí odrůd s dobrou odnožovací schopností, na půdách s nízkým obsahem minerálního dusíku, po předplodinách náročných na dusík, resp. při setí po obilnině. Podle VAŇKA *et al.* (1998) není, s ohledem na potřebu rostlin v tomto období a možné ztráty dusíku, na většině stanovišť nutné aplikovat základní dávku dusíku. V poslední době se u nás na podzim většinou dusíkem nehnojí podobně jako v zahraničních pěstitelských systémech, např. v Německu (PETR *et al.*, 1997).

Obr. 2.3 **Fenologické fáze pšenice podle ZADOKSE et al. (1974)**



Regenerační hnojení se realizuje brzy na jaře, jakmile to dovolí půdní a povětrnostní podmínky a má za cíl obnovení rostlinné biomasy, zahuštění porostu zvýšeným odnožováním, a tím vytvoření podmínek pro dosažení většího počtu klasů na jednotku plochy (RICHTER *et al.*, 1997b; FECENKO, 1998b; VANĚK *et al.*, 1998). Při určení výše regenerační dávky se bere v úvahu zejména: počet životaschopných rostlin po přezimování, dosažený stupeň růstu a vývoje, odrůda, popř. obsah minerálního dusíku v půdě (KŘEN *et al.*, 1998b; VANĚK *et al.*, 1998). Celková dávka dusíku při regeneračním hnojení se pohybuje od 20 do 50 kg N.ha⁻¹, přičemž nízká dávka (20-25 kg N.ha⁻¹) je ekonomicky výhodná i při dobré zásobě minerálního dusíku v půdě (FECENKO, LOŽEK, 2000).

Produkční hnojení se provádí v období na začátku sloupkování (DC 30-32, viz obr. 2.3), kdy dochází k diferenciaci vegetačního vrcholu, a vytváří předpoklady pro zvýšení počtu kvítků v kláscích, resp. zrn v klase. Dávku dusíku volíme podle stavu porostu, obsahu minerálního dusíku v půdě, anorganických rozborů rostlin, popř. dalších metod (chlorofylmetr, inkubační metoda, nitrátový rychlotest atd.) a pohybuje se v rozsahu 30-60 kg N.ha⁻¹ (CHRBOLKA, 1997; LOŽEK, FECENKO, 1997; PETR *et al.*, 1997; RICHTER *et al.*, 1997b; FECENKO, 1998b; VANĚK *et al.*, 1998; FECENKO, LOŽEK, 2000). Vyšší dávku doporučuje RICHTER *et al.* (1997b) rozdělit a dusík aplikovat za 3 týdny jako tzv. II. produkční hnojení.

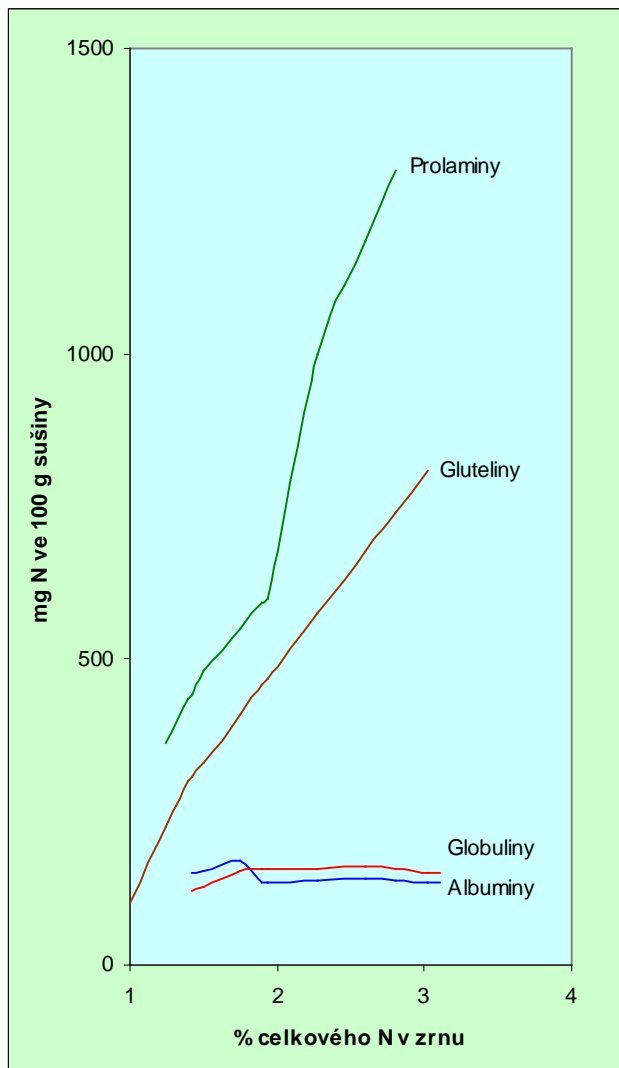
Kvalitativní přihnojení lze provádět již před nebo při metání nebo během květu a jeho cílem je pozitivní ovlivnění hmotnosti tisíce zrn a obsahu dusíkatých látek, resp. bílkovin v zrně. Pozitivní vliv má také na výnos, jehož přírůstek činil po aplikaci 15 kg N.ha⁻¹ 0,98 t.ha⁻¹ (FECENKO, LOŽEK, 2000). Podmínkou aplikace kvalitativního přihnojení je však dostatečná vlhkost půdy a dobrý zdravotní stav porostu, zejména praporcového listu a klasu (RICHTER *et al.*, 1997b; FECENKO, 1998b; VANĚK *et al.*, 1998).

Hnojení jarní pšenice dusíkem spočívá obvykle pouze v základní předseťové dávce a nanejvýš v jednom - produkčním přihnojením během vegetace, které provádíme nejpozději ve fázi ukončeného odnožování (NEUBERG *et al.*, 1990; PETR *et al.*, 1997; VANĚK *et al.*, 1998).

Z ekonomického i ekologického hlediska je považováno za velmi výhodné využití hodnot obsahu minerálního dusíku v půdě a anorganických rozborů rostlin, zejména k optimalizaci dávek dusíku pro regenerační a produkční hnojení oproti paušálnímu rozdělení dávek dusíku během vegetace (LOŽEK, 1998). Podstatou racionálního hnojení pšenice dusíkem je tedy zajištění dostatečné výživy podle nároků v jednotlivých etapách vývoje rostlin, což vede jak k dosažení požadovaného výnosu zrna, tak i jeho jakosti při respektování ekonomických i ekologických hledisek (HŘIVNA *et al.*, 1998). Význam dělených dávek dusíku během vegetace s akcentem na pozdní (kvalitativní) přihnojení potvrzuje celá řada autorů (PRUGAR, HRAŠKA, 1986; BAIER *et al.*, 1988; GÁLOVÁ *et al.*, 1999; MOUCHOVÁ *et al.*, 1999; PELIKÁN *et al.*, 1999).

Cílenou dusíkatou výživou, zejména v pozdějších vegetačních fázích, lze do značné míry ovlivnit chemické složení zrna, a tím také jeho kvalitu. Pšeničné zrno je tvořeno asi ze 70 % cukry, 12 % bílkovinami, 2 % hrubého tuku a 2 % popelovin (tab. 2.3). Z potravinářského hlediska je velmi významným znakem kvality zrna obsah bílkovin. V zrně se vyskytují v různých frakcích a jejich biologická hodnota je rozdílná. V endospermu jsou zastoupeny především prolaminy a gluteliny (graf 2.4), které představují až 75 % celkového obsahu bílkovin zrna a zodpovídají za dobré rheologické vlastnosti těsta a schopnost mouky vázat vodu. V aleuronové vrstvě, resp. klíčící rostlině, jsou zastoupeny albuminy a globuliny, které činí 22 % celkových bílkovin. K tomu je třeba připočítat ještě 6 až 8 % bílkovin na obaly obilky. Vzhledem k tomu, že celosvětová potřeba bílkovin pro výživu lidí je z 50 % kryta obilninami, je zvýšení obsahu bílkovin o 2-4 % kvalitativním přihnojením velmi významné (PRUGAR, HRAŠKA, 1986; KOLÁŘ, 1997; FECENKO, 1999).

Graf 2.4 **Vliv koncentrace dusíku v zrně pšenice na tvorbu bílkovin** (BUCHNER, STURM, 1980)



Tab. 2.3 **Složení pšeničného zrna** (zpracováno podle FECENKA, 1999)

Hlavní komponenty (%)		Vitamíny (mg.kg ⁻¹)		Minerální látky (mg.kg ⁻¹)			
cukry	70	karoten	2,3	P	4000	S	1800
bílkoviny	12	vitamín E	32	K	5000	Zn	100
tuky	2	B-komplex	73	Mg	1200	Na	85
popeloviny	2			Ca	800	Fe	35