



VĚDECKÝ VÝBOR FYTOSANITÁRNÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Klasifikace:	Draft	<input type="checkbox"/>	<i>Pro vnitřní potřebu VVF</i>
	Oponovaný draft	<input type="checkbox"/>	<i>Pro vnitřní potřebu VVF</i>
	Finální dokument	<input type="checkbox"/>	<i>Pro oficiální použití</i>
	Deklasifikovaný dokument	<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Pro veřejné použití</i>

Název dokumentu:

Reakce našich plodin na vnější vlivy během posledních 80 let

Poznámka:

VVF-07-03
Zpracovatel: Prof. Ing. Oldřich Chloupek, DrSc. a kol. (MZLU)

Reakce našich plodin na vnější vlivy během posledních 80 let

OLDŘICH CHLOUPEK & PAVLÍNA HRSTKOVÁ

Mendelova zemědělská a lesnická universita v Brně

Úvod

V předložené práci se zabýváme výnosy nejdůležitějších plodin na našem území v posledních 80 letech dvacátého století. Z počátku tohoto období je k dispozici jen část statistických údajů, chybí údaje z období války (1939-1945), kdežto posledních 50 let je již poměrně dobře zdokumentováno.

V průměru za posledních pět let dvacátého století (1996-2000) činila výměra zemědělské půdy v České republice 4 281 tisíc hektarů, z toho 3 094 tis. ha (72%) činila orná půda a 643 tis. ha (15%) louky. Na orné půdě se pěstovalo nejvíce pšenice (28%) a píce (25%). Údaje o pícninách jsou však publikovány pouze za posledních 50 let a zahrnují odlišné plodiny s převahou jetelovin (jetel luční a vojtěška), jejichž výměra činila většinou kolem 20%. Na 19% orné půdy se pěstoval ječmen, na 9% řepka, na 3% cukrovka, na 2% brambory aj. Plochy řepky na orné půdě však překročily 1% až v roce 1959 a 2% až v roce 1982.

Cílem práce je snaha o identifikaci vlivů, které lze statisticky dostatečně doložit. Jistě by bylo možné hodnocené parametry hodnotit jinými, vhodnějšími parametry, ale k tomu jsme neměli podklady, využili jsme jen oficiálních údajů ČSÚ.

Materiál a metody

K analýzám jsme využili oficiální vládní údaje, publikované ve statistických ročenkách, i souhrnu za léta 1918-1997 Českým statistickým úřadem (1998). Odtud jsme čerpali údaje o výnosech, hnojení, počasí aj. V roce 1985 publikoval Federální statistický úřad Historickou statistickou ročenku ČSSR s údaji za období 1945-1983 a s vybranými údaji z let 1918-1937. K dispozici jsme však neměli údaje za válečné roky 1938-1945. Od roku 1990 byly k dispozici i každoroční analýzy Ministerstva zemědělství, tzv. Situační a výhledové zprávy k jednotlivým plodinám.

Dynamiku výnosů i počasí jsme hodnotili pomocí klouzavých průměrů za pětileté období. Takto lze do určité míry omezit vliv počasí v jednotlivých ročnících, protože např. klouzavý průměr výnosu pro rok 1930 se stanovil jako průměrná hodnota za roky 1928-1932, pro rok 1931 jako průměrná hodnota za roky 1929-1933 atd. Avšak v letech předcházejících a následujících léta 1938-1945 byly stanoveny klouzavé průměry za kratší období. Vliv počasí je totiž náhodný, a nezáleží proto na tom, které roky po sobě budou následovat. Pro demonstraci tohoto postupu jsou v grafu 1 uvedeny skutečné hodnoty průměrných ročních teplot a ročního úhrnu srážek v Praze a v Brně, klouzavý pětiletý průměr těchto hodnot a každoroční rozdíl klouzavých pětiletých průměrů uvedených teplot a srážek v po sobě následujících pěti ročnících. Protože se tento rozdíl příliš neliší od nuly, domníváme se, že klouzavé pětileté průměry do značné míry odstranily vliv ročníku (graf 1). Proto jsme tímto způsobem hodnotili i trendy v dynamice výnosů.

Z hlediska společnosti a zemědělství došlo za války k násilnému přerušení vývoje, a proto poválečný rozvoj navázal na vývoj předválečný, tj. považujeme sekvenci 1946 po 1937 za pokračování vývoje. Lze to dokumentovat např. hektarovým výnosem pšenice, který činil v roce 1938 2,2 t a v roce 1945 1,4 t, u brambor 14,5 t a 10,6 t apod.

U pšenice převládají ve většině z hodnocených let ozimé odrůdy, u ječmene jarní odrůdy a ve výnosech řepky byl do roku 1990 zahrnut i výnos řepice.

Hodnocení **adaptability plodin** k výnosnosti jednotlivých ročníků. **Výnosnost** sledovaných let jsme vyjádřili jako průměr výnosnosti 15 sledovaných plodin v jednotlivých letech. Výnosnost roku pro určitou plodinu jsme vyjádřili indexem $i = x_i/x$ průměr, kde x_i je výnos určité plodiny v určitém roce a x *průměr* je průměrný výnos této plodiny za sledované období. Adaptabilita plodin byla hodnocena regresní analýzou, kde byla výnosnost jednotlivých let (pro všech 16 sledovaných plodin) použita jako nezávisle proměnná a index výnosnosti určité plodiny v jednotlivých letech jako závisle proměnná.

Hospodářsky nejvýznamnější zemědělské oblasti pro pěstování polních plodin se nacházejí většinou ve středu Čech a ve středu Moravy, kde leží také největší města; v Čechách Praha (193 m n.m.), na Moravě Brno (227 m). Proto jsme se pokusili odhadnout **průměrné počasí** pro produkci polních plodin v jednotlivých ročnících podle počasí v těchto městech. Údaje o délce slunečního svitu z těchto meteorologických stanic však nebyly oficiálně publikovány, proto jsme použili údaje z meteorologických stanic v Českých Budějovicích (384 m n. m.) a v Olomouci (220 m). Všechny čtyři stanice jsou od sebe navzájem vzdáleny jenom 60 až 240 km. Většina polních ploch je však ve větší nadmořské výšce než leží Praha, Brno a Olomouc. Pro hodnocení vztahu průměrných ročních teplot (či teplot za určité období), roční sumy srážek a roční délky slunečního svitu jsme zhodnotili posledních 44 let (1956-2000, mimo roku 1979, za který nebyly údaje k dispozici). **Vliv počasí na výnosy**, tj. sumy ročních srážek, průměrných ročních teplot a hodnoty Langova faktoru (roční suma srážek/průměrnou roční teplotou) jsme hodnotili lineární korelací.

Vliv hnojení minerálními hnojivy **na výnosy** jsme sledovali až od hospodářského roku 1946/47, kdy se minerální hnojiva se začala používat ve významné míře (21,6 kg č. ž. NPK, z toho 3,8 kg N). Bylo použito regresní analýzy, těsnost vztahu byla vyjádřena korelačním koeficientem a účinnost jednoho kilogramu čistých živin v minerálních hnojivech na výnos sledovaných plodin regresním koeficientem.

Podíl minerálních hnojiv na zvyšování výnosů byl vyjádřen jako podíl přírůstku v důsledku průmyslového hnojení z celkového ročního přírůstku. Přírůstek v důsledku průmyslového hnojení byl zjištěn jako násobek každoročního zvyšování spotřeby čistých živin na jeden hektar a účinnosti těchto živin na přírůstek výnosu jednotlivých plodin. Rovněž tato hodnocení se zabývala obdobím významného používání minerálních hnojiv po roce 1946/47. Podíl minerálních hnojiv na zvyšování výnosů hlavních plodin ve sledovaném období však můžeme posoudit také srovnáním ročních přírůstků výnosů jednotlivých plodin před jejich používáním a v době jejich používání. Toto srovnání však již vnáší další nesrovnatelné faktory, např. různou úroveň inputů práce, materiálu i kapitálu.

Vliv počasí na využití živin z minerálních hnojiv byl sledován podle vztahu mezi přírůstkem výnosu na 1 kg dodaných živin u různých plodin a různým počasím. K tomuto účelu jsme využili roky, u nichž byly k dispozici údaje o počasí (1937-2000, tj. 58 let). Uvedených 58 let jsme rozdělili na třetinu: na roky s nízkými, středními a vysokými teplotami a nízkými, středními a vysokými srážkami. Uvnitř těchto skupin pak byl hodnocen vztah mezi srážkami (resp. teplotou) a výnosy pomocí regresní analýzy.

Bilance dusíku byla odhadnuta jako rozdíl množství dodaného dusíku v minerálních hnojivech a množství dusíku, odebraného sklizní osmi hlavních plodin, které v uvedených osmi termínech (1947, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990, 1995 a 2000) představovaly 59,9 až 69,7% z orné půdy (v průměru 64,7%). Bilanci dalších plodin, tj. luskovin a píceňin na orné půdě jsme považovali za neutrální; u leguminóz (luskovin a jetelovin) je jistě pozitivní, ale u dalších píceňin na orné půdě (např. kukuřice) je negativní. Také využití dusíku následnou plodinou je podle našeho odhadu absorbováno požadavky na dusík asi 10% píceňin na orné půdě, které nevykazují symbiotickou fixaci. Výměra píceňin na orné půdě a luskovin činila v uvedených sedmi termínech 24,2 až 35,3% (v průměru 29,4%). Vcelku tedy bilance zahrnuje odhad z 94,1% (64,7 + 29,4%) orné půdy. Také jsme nekvantifikovali bilanci dusíku na loukách a pastvinách (kde asi nebyla aplikace minerálních hnojiv vysoká) a v trvalých kulturách, jejichž výměra a tedy ani jejich impakt není velký. Také jsme do bilance nezahrnuli dusík z mineralizace organické hmoty v půdě a z organických hnojiv.

Odhad dusíku ve sklizených produktech vycházel z publikovaných údajů. U zrna pšenice jsme kalkulovali se zvyšováním obsahu dusíkatých látek z 11,0 na 13,2% během hodnoceného období, tj. 1,93 až 2,32% dusíku v znu; u žita jsme počítali se zvýšením obsahu dusíkatých látek z 10 na 11%, u ječmene jsme kalkulovali s ještě menším zvýšením, protože asi jedna třetina sklizně představuje sladový ječmen, u kterého je vyšší obsah dusíkatých látek nežádoucí.

Množství dusíku ve sklizených produktech tedy bylo úměrné jeho obsahu v sušině a během sledovaného období se zvyšovalo v důsledku vyššího dusíkatého hnojení. Dále bylo množství dusíku ve sklizených produktech úměrné výnosu jednotlivých plodin a jejich podílu na struktuře osevních ploch. Sklizeň dusíku z průměrného hektaru orné půdy tedy byla úměrná a rovnala se násobku:

- koncentrace dusíku v hlavních (zrno, bulvy cukrovky, hlízy brambor) i vedlejších produktech (sláma, chrást řepy, nať brambor aj.),
- výnosu hlavních i vedlejších produktů,
- podílu jednotlivých plodin na struktuře osevních ploch.

Výsledky

Dynamika výnosů

U pěti v současné době nejrozšířenějších plodin, tj. u pšenice, ječmene, řepky, brambor a cukrovky, došlo od vzniku Československé republiky do konce 20. století k výraznému zvýšení výnosů. Srovnáme-li první pětiletý průměr (1920-1924) s posledním (1996-2000), došlo u pšenice (tab. I) ke zvýšení z 1,46 na 3,46 t.ha⁻¹, (tj. o 137%), u ječmene z 1,49 na 2,94 t.ha⁻¹ (o 97%), u řepky z 1,19 na 2,52 t.ha⁻¹ (o 112 %), u brambor z 10,1 na 20,5 t.ha⁻¹ (o 103 %) a u cukrovky z 24,6 na 43,2 t.ha⁻¹ (o 76 %).

Výnosy se během sledovaného období zvyšovaly statisticky významně s časem. Pomocí regresních koeficientů bylo zjištěno, že se za celou sledovanou časovou řadu každoročně statisticky vysoce významně zvýšily (snížily), jak je uvedeno v následující tabulce.

I. Průměrné výnosy za celou sledovanou časovou řadu*, roční přírůstky výnosů, podíl přírůstku k celkovému průměrnému výnosu (rychlost růstu výnosů) a adaptabilita

Plodina	Průměrný výnos za sledované období (t.ha ⁻¹)	Roční přírůstek výnosu (kg.ha ⁻¹)	Podíl přírůstku k průměrnému výnosu (%)	Adaptabilita
Pšenice	3,016	46,2	1,53	1,39
Žito	2,487	32,4	1,30	1,18
Ječmen	2,852	37,1	1,30	1,24
Oves	2,417	28,2	1,17	1,14
Kukuřice zrnová	3,099	49,9	1,61	1,35
Luskoviny celkem	1,692	15,8	0,93	0,96
Z toho luskoviny jedlé	1,609	21,6	1,34	1,35
Řepka	1,711	22,3	1,30	1,30
Mák	0,701	- 1,8	-0,26	0,14
Cukrovka	31,05	199,9	0,64	0,61
Brambory	15,56	117,8	0,76	0,73
Rosené stonky lnu	2,066	44,4	2,15	1,76
Seno z pícnin na orné půdě (za 53 let)	5,597	66,7	1,19	0,81
Seno z luk	3,70	7,8	0,21	0,46
Chmel (za 57 let)	0,888	6,9	0,78	0,68
Hrozný (za 58 let)	4,768	56,7	1,19	0,90

* U hroznů a chmele za posledních 58 let, u sena z orné půdy za posledních 53 let.

Roční přírůstky výnosů a adaptabilita jsou vyjádřeny regresními koeficienty při různém základu srovnání

Nejrychlejší roční nárůst výnosů byl tedy zjištěn u stonků lnu (2,15% za rok), zrnové kukuřice a pšenice (1,61 a 1,53%), jedlých luskovin, ječmene, žita, řepky, sena z pícnin na orné půdě, hroznů, ovsa (1,34 až 1,17), menší u chmele a okopanin (u chmele o 0,78%, u brambor o 0,76, u cukrovky o 0,64% ročně) a nejmenší u sena z luk (0,22%). Všechny tyto údaje byly statisticky vysoce průkazné. U máku byl zjištěn nevýznamný pokles výnosů.

II. Výnosy hlavních plodin (t.ha-1), spotřeba minerálních hnojiv (kg.ha-1) a stav hovězího dobytka (tisíců) v pětiletých průměrech

	Pšenice	Ječmen	Řepka	Cukrovka	Brambory	Seno z pícein na o.p.	Seno z luk	Spotřeba průmysl. hnojiv	Spotřeba dusíku z průmysl. hnojiv	Stav hovězího dobytka
1920-1924	1,46	1,49	1,19	24,6	10,1		3,27			3 043
1925-1928	1,92	2,06	1,28	27,3	13,0		4,11			3 451
1930-1934	1,95	2,03	1,23	27,3	14,7		3,81			3 263
1935-1937	1,89	1,88	1,39	28,3	14,0		3,94	17,5	4,4	3 205
1946-1950	1,79	1,69	0,70	23,5	11,8		2,49	24,7	5,9	2 853
1951-1955	2,04	1,99	1,02	25,0	13,5		3,05	41,0	10,1	3 027
1956-1960	2,29	2,27	1,39	27,0	12,5	3,27	3,50	67,2	17,5	2 898
1961-1965	2,63	2,50	1,31	28,0	12,6	4,18	3,10	104,3	28,6	3 090
1966-1970	2,91	3,01	1,64	36,3	16,9	4,51	3,49	163,0	52,9	2 993
1971-1975	3,56	3,49	2,09	33,8	16,9	4,44	3,78	217,7	72,0	3 082
1976-1980	3,92	3,71	2,13	34,0	18,4	5,31	4,06	252,3	94,7	3 335
1981-1985	4,69	4,12	2,48	35,4	20,1	5,81	4,79	260,9	102,3	3 530
1986-1990	4,98	4,63	2,85	36,0	19,8	6,10	4,98	208,7	91,7	3 480
1991-1995	4,61	4,05	2,43	36,2	18,5	6,42	3,75	89,9	61,0	2 603
1996-2000	3,46	2,94	2,52	43,2	20,5	6,00	3,33	88,4	64,8	1 740

pozn.: Tučně jsou uvedeny nejvyšší hodnoty v každém sloupci.

Z tab. II je patrné zvyšování výnosů, ale v plynule se zvyšujících výnosech lze zjistit tři období snižování výnosů, jedno období stagnace výnosů a jedno období na středoevropské poměry pomalého zvyšování výnosů.

Období snižování výnosů

Válečné období (1939 až 1945) způsobilo nejvyšší pokles výnosů za poměrně krátkou dobu. Výnos pšenice se snížil (ve srovnání výnosů v letech 1938 a 1945) o 38%, ječmene o 42%, řepky o 62%, cukrovky o 22%, brambor o 27% a sena z luk o 32%.

Období extenzifikace v letech 1991-2000 lze charakterizovat snižováním vstupů, zejména minerálních hnojiv, ale i chlévského hnoje, jak je patrné z předchozí tabulky z počtu hovězího dobytka. Toto období bylo předpokladem zvýšení konkurenceschopnosti zemědělství. Výnos pšenice se snížil z 4,98 t.ha⁻¹ (1986-1990) na 4,43 (1996-2000), tj. o 11%, u ječmene o 20%. U řepky nedošlo k výraznému snížení výnosů (jen o 12%), protože export řepkového semene byl ekonomicky výhodný, a vyplatilo se proto pěstovat řepku intenzivně. Jiná situace nastala u cukrovky a brambor, kdy došlo u cukrovky k dalšímu zvyšování výnosů (+20%), u brambor ke stagnaci výnosu (+4%). U obou plodin totiž došlo k výrazné redukci ploch, u cukrovky ze 126 tisíc hektarů sklizňové plochy (1986-1990) na 81 tis. ha (1996-2000), u brambor ze 118 tisíc hektarů na 74 tis. ha, což umožnilo využít k intenzivnějšímu pěstování jen nejhodnější plochy. U výnosů sena z luk došlo k podobnému vývoji výnosů jako u obilnin (-33%); je totiž obvyklé, že se nejdříve začíná šetřit na hnojení pícnin. Toto období je ale také charakterizováno pěstováním odrůd s vyšší a diferencovanou potravinářskou kvalitou pšenice i brambor. Snížila se však konkurenceschopnost českých odrůd ječmene, hlavně z důvodu nižší rezistence k houbovým chorobám ve srovnání se zahraničními odrůdami. Nejvyšší sladové odrůdy poskytovaly nižší výnosy a vyžadovaly vyšší ochranu proti chorobám (ÚKZÚZ 1993). Plochy potravinářských, méně výnosných odrůd byly daleko vyšší, než bylo možné k tomuto účelu využít (např. MZe 1998).

Třetím obdobím, kdy došlo ke snižování výnosů, byla poválečná léta, kdy došlo ve srovnání let 1935-1937 a 1946-1950 ke snížení výnosů pšenice o 5% (z 1,89 na 1,79 t), ječmene o 11%, řepky o 50%, cukrovky o 17%, brambor o 16%, sena o 37% i přesto, že se hnojení minerálními hnojivy nesnižovalo, ale bylo celkově nízké (cca 20 kg čistých živin na hektar). Stav skotu se v tomto srovnání snížil o 11% a prasat o 1%. V této době docházelo ke značnému snižování zemědělské produkce v pohraničí. Plocha znovu osídlované půdy činila asi jednu třetinu celé výměry ČR (FSO 1985). Navíc byl rok 1947 výjimečně suchý a neúrodný.

Na této půdě hospodařily především státní statky. V roce 1984 hospodařily asi na 25% výměry, většinou v horších přírodních podmínkách a dosahovaly za 31 let (1953-1983) jen asi 74% produkce z jednoho hektaru oproti družstvům (100%). Horší však bylo, že u nich nebylo zjištěno zlepšování hospodaření v této době; zatímco u družstev byla zjištěna průkazná korelace zvyšování hrubé zemědělské produkce v tomto období, charakterizovaná korelačním koeficientem $r = 0,907^{**}$ a regresním koeficientem 92 Kč na hektar za rok, u státních statků nebyla uvedená korelace významná ($r = 0,291$, $b_{xy} = 15$ Kč/rok), jak bylo zjištěno z podkladů FSÚ (1985).

Ke stagnaci výnosů došlo i během hospodářské krize po roce 1929. Během této hluboké hospodářské krize klesly ceny zemědělských výrobků v průměru více, než ceny průmyslových výrobků, což vedlo k omezování nákupu strojů, minerálních hnojiv apod. (Tempír et al. 1966). Obdobně tomu bylo i v období extenzifikace v letech 1990-2000. Ve srovnání let 1925-1929 s lety 1930-1934 stagnovaly výnosy pšenice (1,92; resp. 1,95 t.ha⁻¹), ječmene (2,06; resp. 2,03), řepky (1,28; resp. 1,23), cukrovky (27,3; resp. 27,3) i sena (4,11; resp. 3,81 t.ha⁻¹). Mírně se zvýšil výnos brambor, které jsou pro svou samozásobitelskou funkci a nenáročnou přípravu ke konzumu nejjistější ochranou venkovského obyvatelstva (kterého byla v té době většina) proti hladu. Došlo i ke snížení stavu skotu.

Násilná kolektivizace v letech 1950-1955, resp. až 1960 se neprojevila stagnací, ale možná menším růstem výnosů, než by byl u soukromých zemědělců. Je to patrné z pomalého zvyšování výnosů v letech 1950-1970. Je však možné, že se kolektivizací vytvořily podmínky pro rychlý růst výnosů v letech 1971-1990.

Vedle odrůd a jiných faktorů se na výnosech podílí významně i hnojení minerálními hnojivy, jehož vliv lze kvantifikovat. Dávky hnojiv se během sledovaného období výrazně zvyšovaly a dosáhly nejvyšší úrovně v letech 1981-1985 (261 kg č.ž. ha⁻¹, z toho 102 kg dusíku). V této době byl i nejvyšší stav hovězího dobytka, a tak i nejvyšší produkce hnoje. Během sledovaného období se zvyšoval podíl dusíkatých hnojiv na celkové spotřebě minerálních hnojiv; zatímco v letech 1935-1950 činil jen 24%, dosáhl v letech 1991-2000 už 71%. Dusík totiž zvyšuje výnos více, než ostatní živiny.

Období zvyšování výnosů

Víceleté trendy ve změně výnosů je možné posoudit podle každoročních změn, tj. zda se oproti předcházejícímu roku výnos zvýšil či snížil. Pokud po několik let po sobě docházelo ke zvyšování výnosů, nelze tyto změny vysvětlit vlivem ročníku a lze hledat původ těchto změn.

U pšenice a ječmene bylo prvním takovým obdobím 1920-1923, v roce 1924 došlo k poklesu, ale zvyšování výnosů pokračovalo až do roku 1930. Možná se na tom podílel vznik větších hospodářství. Pak se projevila hospodářská krize.

Dalším úspěšným obdobím u všech tří plodin (pšenice, ječmen, řepka) byla léta po roce 1948 až do 1951, v důsledku poválečné konsolidace hospodářství. Pak se nepříznivě projevila násilná kolektivizace.

Ale již od roku 1956 do 1961 je znovu patrný růst výnosů všech tří uvedených plodin, což lze vysvětlit zvyšujícím se hnojením a zlepšující se agrotechnikou. Za toto období se zvýšila spotřeba minerálních hnojiv asi o 20 kg č. ž. na hektar, z toho dusíku asi o 8 kg. Účinek každého kilogramu živin bývá při nízkých dávkách vyšší, než při vyšších dávkách.

K dalšímu konzistentnímu zvyšování výnosů došlo v letech 1965-1973, kdy se spotřeba živin v minerálních hnojivech zvýšila asi o 80 kg na hektar, z toho dusíku o 35 kg. Projevil se vliv výrazně zlepšených odrůd, zejména ruských a ukrajinských odrůd pšenice a odrůd tzv. *Diamantové řady* ječmene (Lekeš 1997). Odrůda *Diamant* (mutant z Valtického) byla registrována v roce 1965. Ve větší míře se začaly používat traktory, sklizňové mlátičky a pesticidy.

V dalším období konzistentního zvyšování výnosů zrnin v letech 1978-1986 se patrně projevil vliv aplikace fungicidů a nových odrůd, zejména domácích intenzivních odrůd ozimé pšenice, a začaly se také rozšiřovat ozimé odrůdy ječmene (Lekeš 1997). Podle výsledků státních registračních pokusů se v této době zvyšoval výnos ječmene v důsledku pěstování nových odrůd asi o 40 kg za rok (Schwarzbach, Pařízek 1992). Patrný je nástup účinných fungicidů (zvláště u obilnin) a rezistentních odrůd. Již nedocházelo k výraznému zvyšování spotřeby živin.

U cukrovky bylo zjištěno konzistentní zvyšování výnosů koncem třicátých let až téměř do konce války, zřejmě vlivem Dobrovických odrůd, které v té době patřily k nejlepším v Evropě. Výrazný víceletý pokles výnosů byl zjištěn v době kolektivizace zemědělství. V následujícím období nelze identifikovat konzistentní období zvyšování či snižování výnosů. Začátkem devadesátých let bylo patrné období snižování výnosů v důsledku extenzifikace. Pak, v důsledku zmenšení výměry, používáním výkonných, jednoklíčkových odrůd zahraniční provenience, účinných pesticidů a hnojení, je zřejmý víceletý trend ke zvyšování výnosů.

Nejhůře se interpretuje dynamika výnosů brambor. Tato plodina je citlivá na používání techniky (rostliny a především sklizené hlízy), a proto se mechanizace pěstování obvykle neprojeví na výnosu, ale jen na ekonomice pěstování. Přesto je patrné pětileté období konzistentního zvyšování výnosů začátkem třicátých let, možná související se vznikem větších hospodářství, která využívala nové odrůdy a vhodnější agrotechniku. Od začátku války až do roku 1950 bylo výrazné období trvalého snižování výnosů, pravděpodobně způsobené válečnými poměry. Koncem šedesátých a začátkem sedmdesátých let došlo ke konzistentnímu zvyšování výnosů, patrně způsobené především zlepšenou agrotechnikou a minerálními hnojivy. Od roku 1962 se po pět let výnosy snižovaly, v následném období asi stejně dlouhém, zvyšovaly. Patrně došlo k odstranění limitujících faktorů té doby, tj. byly vybudovány vhodné sklady a začala se používat zlepšená mechanizace. V posledních třiceti letech dvacátého století není patrné žádné období, kdy by se po několik po sobě následujících let zvyšovaly, či snižovaly výnosy brambor.

Adaptabilita jednotlivých plodin k úrodnosti ročníků

Úrodnost sledovaných let jsme vyjádřili jako průměr úrodnosti 15 sledovaných plodin v jednotlivých letech, bez ohledu na výměru uvedených plodin. V následující tabulce jsou uvedeny ročníky podle úrodnosti.

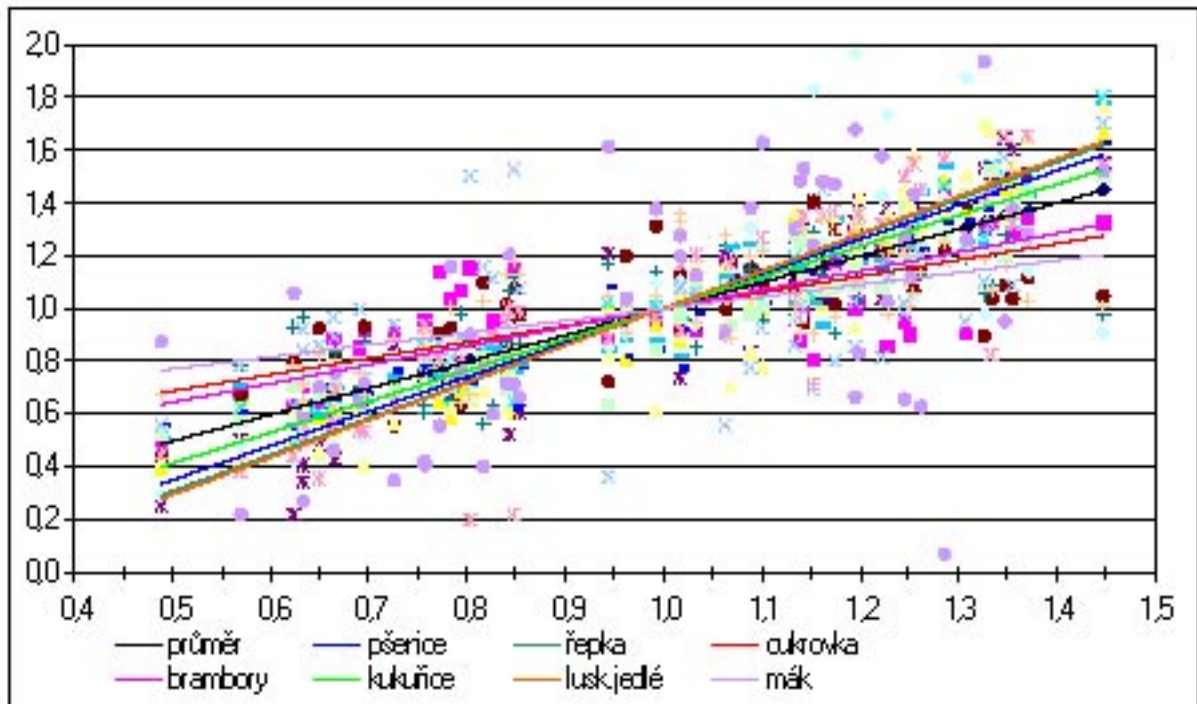
III. Výnosovost 57 ročníků u 15 sledovaných plodin

Index úrodnosti ročníku	Ročník (bez prvních dvou číslic, tj. např. 72 značí ročník 1972)	Počet ročníků
0,4 – 0,49	47,	1
0,5 – 0,50	52,	1
0,6 – 0,69	46, 48, 49, 50, 51, 53, 54, 57, 76,	9
0,7 – 0,79	55, 56, 58, 59, 65,	5
0,8 – 0,89	37, 38, 60, 61, 63, 64, 66,	7
0,9 – 0,99	67, 68, 76,	3
1,0 – 1,09	69, 70, 71, 74, 79, 81,	6
1,1 – 1,19	72, 73, 75, 77, 80, 92, 94, 00,	8
1,2 – 1,29	78, 82, 85, 86, 87, 93, 95, 96, 97, 98,	10
1,3 – 1,39	83, 84, 88, 89, 91, 99,	6
1,4 – 1,49	90,	1

Adaptabilitu jsme hodnotili pomocí regresní analýzy. Výsledky regresní analýzy jsou uvedeny v následujícím grafu (IV), kde jsou znázorněny plodiny, výrazně se lišící v hodnotách adaptability (regresního koeficientu).

Z výsledku je patrné, že neadaptabilnějšími plodinami v posledních 53 letech dvacátého století, tj. plodinami, které reagovaly na úrodný rok výrazným zvýšením výnosu a na neúrodný výrazným snížením výnosu, byly jedlé luskoviny, len, řepka a pšenice (regresní koeficient dosáhl 1,47, 1,40, 1,38 a 1,35), následované ječmenem, kukuřicí, žitem a ovsem (1,20 až 1,13). Všechny tyto plodiny byla nadprůměrně adaptabilní, tj. jejich regresní koeficient dosáhl hodnoty vyšší než 1. Průměrnou adaptabilitu vykázal výnos hroznů a luskovin celkem (1,03 a 0,99), kdežto podprůměrnou adaptabilitu a tedy i menší závislost výnosu na úrodnosti ročníku jsme zjistili u výnosu pícnin na orné půdě, brambor a chmele (0,81 až 0,62). Ostatní plodiny měly velmi nízkou adaptabilitu (cukrovka, seno z luk a mák, s hodnotami 0,58 až 0,41).

Tyto hodnoty vypovídají do jisté míry také o adaptabilitě těchto plodin na dané pěstitelské podmínky a podmínky prostředí. **Hodnoty adaptability byly statisticky významně korelovány ($r = 0,959^{**}$) s hodnotami ročního nárůstu výnosů (viz tabulka 1).** To znamená, že čím vyšší byla adaptabilita jednotlivých plodin, tím vyšší byl růst jejich výnosů v posledních 80 letech minulého století.



IV. Srovnání zastoupení obilnin na orné půdě s jejich ohlasem na aplikaci minerálních hnojiv a s jejich výnosy

Obilnina	Podíl (%) na orné půdě		Výnos (t. ha ⁻¹)		Ohlas na hnojení (kg zrna na 1 kg č. ž.)
	Před minerálním hnojením*	V době průmyslového hnojení**	Před minerálním hnojením*	V době průmyslového hnojení**	
Pšenice	11,9	23,0	1,93	3,97	10,1
Ječmen	9,9	17,1	1,94	3,65	8,9
Žito	16,2	5,1	1,74	3,14	7,0
Oves	14,1	5,2	1,75	3,00	6,7

* 1920-1960, **1961-2000

Z tabulky je zřejmé, že vlastně podíl jednotlivých obilnin na orné půdě (pšenice 23,0%; ječmen 17,1%; žito 5,1%; oves 5,2%) i jejich výnosy (3,97; 3,65; 3,14 a 3,00 t) byly v době používání minerálních hnojiv v posledních 40 letech úměrné ohlasu těchto plodin na hnojení (10,1; 8,9; 7,0 a 6,7 kg zrna na 1 kg č.ž. z hektaru). O tom svědčí i korelační koeficienty ($r = 0,996^{**}$ a $0,999^{**}$). **Nejen tedy výnosy, ale i plocha pěstování jednotlivých druhů obilnin byly téměř zcela determinovány jejich ohlasem na minerální hnojení** (koeficient determinace dosáhl v obou případech více než 99%). To zřejmě platí i o ostatních plodinách.

Změny klimatu

Průměrné roční teploty činily v letech 1937 až 2000 asi 9,2°C (v Praze 9,5; v Brně 8,9°C), suma ročních srážek 482,5 mm (v Praze 455,4 a v Brně 509,5 mm), Langův dešťový faktor (suma ročních srážek/průměrná roční teplota) 53,2 (v Praze 48,4; v Brně 58,0). Údaje o délce slunečního svitu však byly k dispozici pouze z meteorologických stanic v Českých Budějovicích a v Olomouci.

Všechny čtyři stanice jsou od sebe navzájem vzdáleny 60 až 240 km. Proto nepřekvapuje, že roční údaje o počasí jsou vzájemně korelovány, např. mezi Prahou a Brnem (úhrn ročních srážek za léta 1956-2000 je charakterizován korelačním koeficientem $r = 0,428^{**}$, průměrné roční teploty $r = 0,949^{**}$). Obdobně souvisela roční teplota a roční délka slunečního svitu mezi navzájem nejbližšími Českými Budějovicemi a Olomoucí ($r = 0,833^{**}$ a $0,799^{**}$).

Zajímalo nás, jak se měnily roční parametry srážek, teploty a slunečního svitu v druhé polovině dvacátého století, kdy jsme měli k dispozici potřebné podklady. Výsledky regresní analýzy jsou uvedeny v následující tabulce.

V. Změny ročních údajů o počasí s časem za různě dlouhé období v letech 1951-2000

Období	Teplota		Srážky		Sluneční svit	
	Korelace	Regrese	Korelace	Regrese	Korelace	Regrese
1951-2000	0,392**	0,021	-0,143	-0,80	0,293	2,81
1961-2000	0,472**	0,032	-0,178	-1,30	0,390*	4,30
1971-2000	0,384*	0,034	-0,063	-0,51	0,599**	9,50
1981-2000	0,353	0,049	-0,113	-1,30	0,407	7,26
1991-2000	0,295	0,087	0,202	3,65	0,762*	24,72

Z podkladů z Českých Budějovic a Olomouce.

Průměrná roční teplota v Českých Budějovicích a Olomouci činila 9,15°C. Z tabulky je vidět, že se v pozdějších letech zvyšovala průměrná teplota, přičemž rychlost jejího zvyšování rostla ke konci sledovaného období. Zatímco se za celých padesát let (1951-2000) zvyšovala ve statistickém průměru ročně o 0,021°C ročně, pak za posledních 40 let každoročně o 0,032°C, za posledních 30 let o 0,034°C, za posledních 20 let o 0,049°C a za posledních 10 let již o 0,087°C každoročně.

Sluneční svit činil v průměru obou stanic 1620 hodin ročně a měnil se obdobně jako teplota. Korelace v padesátiletém průměru a v dvacetiletém průměru byly na hranici statistické průkaznosti (P 0,054; resp. 0,075). Také zde bylo možno pozorovat trend k prodlužování délky slunečního svitu ke konci sledovaného období (za 50 let o 2,8 hodiny ročně; za 40 let o 4,3 hodiny; za 30 let o 9,5; za 20 let o 7,3 a za posledních 10 let každoročně o 24,7 hodiny ročně).

Srážky se během sledovaného období statisticky neměnily, tendence byla ke snižování srážek, ale v posledních 10 letech naopak ke zvyšování srážek každoročně o 3,6 mm.

Při hodnocení dynamiky změn uvedených tří meteorologických charakteristik je třeba vzít v úvahu jejich příčinnou souvislost, charakterizovanou korelačními koeficienty za 44, resp. 45 let v průměru meteorologických stanic v Českých Budějovicích a v Olomouci:

- * Délka slunečního svitu za rok – množství srážek za rok, $r = -0,534^{**}$,
- * Délka slunečního svitu za rok – průměrná roční teplota, $r = 0,513^{**}$,
- * Množství srážek za rok – průměrná roční teplota, $r = -0,319^*$.

Tak se statisticky potvrdila známá zkušenost, že ve slunečných letech méně pršelo a byla vyšší teplota. V deštivých letech byla nižší teplota.

Vliv počasí na výnosy

Vliv sumy ročních srážek, průměrných ročních teplot a Langova faktoru na výnosy jsme hodnotili korelací a následná tabulka uvádí jen ty plodiny, u kterých byl některý z uvedených faktorů ve významné korelaci s výnosem.

VI. Významné hodnoty korelačních koeficientů mezi ročními ukazateli počasí a výnosem v letech 1937-2000

Plodina	Suma ročních srážek	Průměrná roční teplota	Langův faktor za celý rok
Pšenice	- 0,23	-	- 0,22
Ječmen	- 0,22	-	-
Žito	- 0,31	0,23	- 0,32
Luskoviny celkem	- 0,23	-	- 0,22
Z toho luskoviny jedlé	- 0,25	-	- 0,23

Z podkladů z Prahy a Brna

Z tabulky je zřejmé, že v letech s vysokými úhrny srážek byly nižší výnosy pšenice, ječmene, žita i luskovin. V teplejších letech byly zjištěny vyšší výnosy žita. Při vyšším Langově dešťovém faktoru (ve vlhkých a studených letech) se snižovaly výnosy pšenice, žita i luskovin. Vliv ročního počasí na výnosy však nebyl výrazný a koeficient determinace výnosů ročními hodnotami dosáhl maximálně 10%.

Z meteorologických prvků se asi nejvíce uplatní ty, které nastanou ve vegetační době. Proto jsme zhodnotili i vztah mezi výnosy jednotlivých plodin a počasím za 44 let z Českých Budějovic a Olomouce, kde byla také hodnocena délka slunečního svitu.

Vyšší celoroční **teploty** prospívaly výnosům pšenice, ječmene, řepky, cukrovky, žita, luskovin a kukuřice ($r = 0,326^*$; $0,276^*$; $0,427^{**}$; $0,319^*$; $0,432^{**}$; $0,287^*$ a $0,278^*$). V letech s vyššími teplotami ve vegetačním období (IV – IX) byly zjištěny vyšší výnosy žita, kukuřice na zrno i luskovin ($r = 0,304^*$; $0,259^*$ a $0,270^*$), v letech s vyššími teplotami na jaře (IV – VI) byly vyšší výnosy cukrovky, brambor a zrnové kukuřice ($r = 0,261^*$; $0,284^*$ a $0,255^*$) avšak nižší výnosy sena z luk ($r = -0,269^*$), patrně pro zhoršené podmínky pro sklizeň sena.

V letech s vysokými celoročními **srážkami** byly nižší výnosy žita a jedlých luskovin ($r = -0,299^*$ a $-0,256^*$). Vyšší srážky ve vegetačním období (IV – IX) se projevily vyššími výnosy cukrovky ($r = 0,290^*$), kdežto vyšší srážky na jaře (IV – VI) snižovaly výnosy brambor a žita ($r = -0,377^{**}$ a $-0,260^*$).

Délka slunečního svitu za celý rok nesouvisela s výnosem žádné sledované plodiny, ale delší sluneční svit ve vegetačním období (IV – IX) snižoval výnos máku ($r = -0,254^*$), možná z důvodu vyššího výskytu škůdců. Delší doba slunečního svitu na jaře (IV – VI) snižovala výnos sena z luk, máku a lnu ($r = -0,303^*$; $-0,366^{**}$ a $-0,259^*$) možná kvůli horším podmínkám pro vzházení drobných semen máku a lnu, a zvyšovala výnos zrna kukuřice ($r = 0,282^*$).

Langův dešťový faktor (LDF) jsme hodnotili i za období jarní (za měsíce IV – VI) a za vegetační období (IV – IX). Bývá nižší při suchém a teplém počasí. Při suchém a teplém jaru (IV – VI) byly prokázány vyšší výnosy pšenice, řepky, brambor, žita, kukuřice, jedlých luskovin a hroznů (korelační koeficienty mezi LDF a výnosem dosáhl $r = -0,286^*$; $-0,287^*$; $-0,556^{**}$; $-0,350^{**}$; $-0,307^*$; $-0,272^*$ a $-0,427^{**}$). Naopak za tohoto počasí byly nižší výnosy máku ($r = 0,266^*$). Za suchého a teplého byla delší doba slunečního svitu (korelace mezi LDF a délkou slunečního svitu byla charakterizovaná korelačním koeficientem $r = -0,566^{**}$).

V suché a teplé vegetační době (IV – IX) byly zjištěny vyšší výnosy pšenice, ječmene, řepky, brambor, žita, ova, luskovin všech i jedlých i hroznů ($r = -0,418^{**}$; $-0,350^{**}$; $-0,359^{**}$; $-0,471^{**}$; $-0,497^{**}$; $-0,318^*$; $-0,433^{**}$; $-0,476^{**}$ a $-0,576^{**}$). Také za všech šest uvedených měsíců (IV – IX) byl LDF tím vyšší, čím kratší byla doba slunečního svitu ($r = -0,526^{**}$).

Výše uvedené **klimatické změny, tj. zvyšování průměrné roční teploty a prodlužování délky slunečního svitu, tedy byly výhodné pro pěstování většiny našich plodin (pšenice, ječmene, řepky, cukrovky, žita, zrnové kukuřice a luskovin), protože poskytovaly vyšší výnos v letech s vyšší teplotou, která byla doprovázena delším slunečním svitem.** Na ostatní sledované plodiny neměly významný vliv.

Vliv hnojení minerálními hnojivy na výnosy

Průmyslová hnojiva se začala ve významné míře používat až od hospodářského roku 1946/47, kdy se na 1 ha zemědělské půdy spotřebovalo asi 22 kg čistých živin (č. ž.), z toho 4 kg dusíku, 5 kg fosforu a 13 draslíku. Maxima spotřeby bylo dosaženo v roce 1985/86, tj. 273 kg (105 N, 86 P a 82 kg K). V roce 1999/2000 dosáhla stejná čísla hodnot 88 (67, 13 a 6) kg č. ž./ha. Je tedy zřejmé, že se v období extenzifikace hnojení minerálními hnojivy po roce 1986 šetřilo hlavně na fosforečném a draselném hnojení, patrně proto, že mívají menší vliv na výnosy než dusík a že jich dosud bylo v půdě tolik, že nelimitovaly účinnost dusíkatého hnojení. Téměř u všech plodin (s výjimkou máku) souvisel výnos v časové řadě se spotřebou živin v minerálních hnojivech, což bylo prokázáno korelačními koeficienty. Stupeň účinku byl hodnocen pomocí regresních koeficientů. U všech plodin (s výjimkou máku) se aplikace projevila vysoce významným zvýšením výnosu, jak je patrné z následující tabulky.

VII. Přírůstek výnosu plodin (kg) na 1 kg čistých živin za 75 let*

Plodina	Přírůstek výnosu na 1 kg čistých živin			
	Všech	N (+PK)	P (+NK)	K (+NP)
Pšenice	10,1	29,9	33,0	21,4
Žito	7,0	20,8	22,8	14,8
Ječmen	8,9	25,1	29,3	19,7
Oves	6,7	19,2	22,1	14,3
Kukuřice zrnová	9,3	28,5	28,3	19,5
Luskoviny celkem	3,1	10,0	9,8	5,7
Z toho luskoviny jedlé	4,6	14,4	14,9	8,8
Řepka	5,2	15,3	16,7	10,8
Cukrovka	37,8	118,7	114,4	75,7
Brambory	26,1	76,3	83,2	56,6
Stonky lnu	10,9	28,3	36,8	26,9
Seno z orné půdy	2,1	6,1	6,3	3,7
Seno z luk	4,0	10,5	14,7	9,2
Chmel	2,0	5,2	6,4	4,9
Hrozny	2,6	6,9	7,3	6,1

*U hroznů a chmele za posledních 58 let, u sena z orné půdy za posledních 53 let.

Všechny regresní koeficienty jsou statisticky významné (u máku nebyly zjištěny statisticky významné souvislosti s výnosem u žádné živiny, a proto nejsou tyto údaje uvedeny).

Podíl minerálních hnojiv na zvyšování výnosů

Každoročně se od roku 1918 do roku 2000 zvyšovala spotřeba čistých živin v minerálních hnojivech průměrně o 2,909 kg ročně, což bylo odhadnuto pomocí regresního koeficientu (korelační koeficient mezi ročníkem 1918, 1919 atd. a spotřebou těchto hnojiv činil 0,746, $n = 72$). Vynásobíme-li tedy výnos připadající na 1 kg č. ž. v minerálních hnojivech tímto údajem, pak **roční přírůstek výnosu použitím minerálních hnojiv z celkového ročního přírůstku činil 9,1% (seno z orné půdy) až 84,1% (chmel). U zrnin (obilniny, luskoviny a řepka) činil tento podíl 54,3 (u kukuřice) až 69,8% (u ječmene); v průměru těchto osmi zrnin 63,3%**. Obdobně tomu bylo u okopanin, ale jen 13,4% u výnosu hroznů, jak je patrné z následující tabulky.

VIII. Podíl minerálních hnojiv na celkovém ročním přírůstku výnosů hlavních plodin za celou sledovanou časovou řadu

Plodina	Roční přírůstek výnosu		
	Přírůstek celkem (kg.ha ⁻¹)	Z toho minerálním hnojením (kg.ha ⁻¹)	Podíl přírůstku z hnojení na celkovém přírůstku (%)
Pšenice	46,2	29,4	63,6
Žito	32,4	20,4	63,0
Ječmen	37,1	25,9	69,8
Oves	28,2	19,5	69,1
Kukuřice	49,9	27,1	54,3
Luskoviny celkem	15,8	9,0	57,0
z toho jedlé	21,6	13,4	62,0
Řepka	22,3	15,1	67,7
Stonky lnu	44,4	31,7	71,4
Cukrovka	199,9	110,0	55,0
Brambor	117,8	75,9	64,4
Seno z o. p.	66,7	6,1	9,1
Chmel	6,9	5,8	84,1
Hrozny	56,7	7,6	13,4

Podíl minerálních hnojiv na zvyšování výnosů hlavních plodin ve sledovaném období však můžeme také posoudit podle srovnání přírůstků výnosů před jejich používáním a v době jejich používání. Roční přírůstek výnosů v období před hnojením minerálními hnojivy byl u většiny plodin menší, než v době jejich používání, o 13-91%. U brambor však se v době používání minerálních hnojiv přírůstek výrazně snížil, což bylo asi způsobeno jinými faktory, zejména omezením ruční práce a tím zvýšením ztrát při pěstování, skladování a hlavně při sklizni brambor.

IX. Srovnání ročního přírůstku hlavních plodin v letech 1918 (1920)-1938 s ročním přírůstkem v letech 1946-2000

Plodina	Roční přírůstek výnosu		
	Před používáním minerálních hnojiv (kg.ha ⁻¹)	V době používání minerálních hnojiv (kg.ha ⁻¹)	Procentické zvýšení přírůstku ve srovnání s dobou před minerálními hnojivy (%)
Pšenice	40,2	66,7	65,9
Ječmen	40,2	52,8	31,3
Řepka	20,5	39,1	90,7
Cukrovka	303	343	13,2
Brambor	363	190	-47,7

V prvním období se průmyslová hnojiva nepoužívala, v druhém používala.

Přírůstky výnosů při různých dávkách hnojení

Výnosy se nezvyšovaly lineárně s aplikovanou dávkou minerálních hnojiv a stejné dávce hnojiv neodpovídal stejný výnos. V následující tabulce je uvedena úroveň výnosů a přírůstek na 1 kg č. ž.

X. Vztah mezi intenzitou průmyslového hnojení a výnosem

Plodina	Výnos při různé intenzitě hnojení (t.ha ⁻¹) a regresní koeficient (kg.ha ⁻¹)										Celkem***	
	I		II		III		IV		V		výnos	regr. koef.
	výnos	regr. koef.	výnos	regr. koef.	výnos	regr. koef.	výnos	regr. koef.	výnos	regr. koef.		
Pšenice	1,99	7	3,71	54	3,19	-18	3,84	45	4,38	8	3,47	8,9**
Ječmen	1,94	10*	3,27	34	3,19	-5	3,82	46	3,99	6	3,23	6,2**
Řepka	1,01	14*	2,01	24	1,76	-17	2,19	18	2,44	1	1,90	5,4**
Cukrovka	24,8	190	35,5	334	33,9	78	34,0	-10	35,23	-32	32,7	33,8**
Brambor	12,7	64	16,7	297*	15,9	89	16,9	40	19,4	26	16,5	26,7**

*P 0,05; **P 0,01, ***celkem za léta 1947-2000

Intenzita hnojení:

- ➔ I: 20-69,9 kg č. ž. na hektar ve 12 letech 1947-1958,
- ➔ II: 70-119,9 kg č. ž. v 15 letech 1959-1964 a 1992-2000,
- ➔ III: 120-169,9 kg č. ž. v 6 letech 1965-1969 a 1991,
- ➔ IV: 170-219,9 kg č. ž. v 6 letech 1970-1974 a 1990,
- ➔ V: 220-273 kg č. ž. v 15 letech 1975-1989.

Z tabulky je zřejmé, že nejvyššího přírůstku výnosu na 1 kg čistých živin z minerálních hnojiv bylo u pšenice, řepky, cukrovky a bramboru dosaženo při dávkách 70-120 kg (54; 24; 334 a 297 kg. ha⁻¹) v letech 1959-1964 a 1992-2000, u ječmene při dávkách 170-220 kg (46 kg. ha⁻¹) v letech 1970-1974 a 1990. Pozoruhodné je snižování výnosů všech tří plodin při zvyšování dávek ze 120 na 170 kg v letech 1965-1969 a 1991, což mohlo být způsobeno nejen těmito dávkami živin, ale i specifickými faktory pro tyto roky. Výnosy cukrovky se však nezvyšovaly ani v rozmezí dávek 170-220 a 220-273 kg č. ž. na hektar. Jak je patrné z posledního sloupce tabulky, všechny plodiny výrazně reagovaly na zvyšování dávek

zvyšováním výnosu. Pozoruhodná je reakce výnosů na hnojení v rozmezí druhé intenzity hnojení, tj. v rozmezí 70-120 kg živin na hektar, při srovnání tendence zvyšování dávek živin z minerálních hnojiv v letech 1965-1969 a při jejich snižování v letech 1992-2000. Srovnání je v následující tabulce.

XI. Výnosy hlavních plodin při srovnatelné dávce živin z minerálních hnojiv při zvyšující se a snižující se tendenci jejich aplikace

Plodina	Hnojení (kg č. ž..ha ⁻¹), výnos (t.ha ⁻¹) a regresní koeficient (kg.ha ⁻¹)					
	Zvyšující se tendence hnojení, v průměru 80,2 kg č. ž.		Snižující se tendence hnojení, v průměru 89,2 kg č. ž.		Celkem za období, v průměru 85,6 kg č. ž.*	
	Výnos	Regr. koef.	Výnos	Regr. koef.	Výnos	Regr. koef.
Pšenice	2,61	-8	4,45	10	3,71	54
Ječmen	2,54	-4	3,76	-2	3,27	34
Řepka	1,36	-21*	2,45	10	2,01	24
Cukrovka	28,2	30	40,4	-242	35,5	334
Brambor	12,3	280**	19,6	-350*	16,7	297*

* srv. předchozí tab.

Z tabulky je zřejmé, že při srovnatelných dávkách živin v letech 1959-1964 a 1992-2000 (80,2 a 85,6 kg č. ž. na hektar) byly v druhém období výnosy pšenice vyšší o 70% (2,61 a 4,45 t z hektaru), ječmene o 48%, řepky o 80%, cukrovky o 43% a brambor o 59%. Tato rozdílná účinnost živin může být vysvětlena různým podílem dusíku na celkové spotřebě živin (v prvním období 27%, v druhém 70%), živinami (P, K) ze staré půdní síly a novými odrůdami, lépe využívajícími nízké dávky živin. Je to patrné např. z práce Petra a Škeřika (1999), kteří zjistili, že pro pěstování pšenice s omezenými vstupy se hodí nové, výnosné a adaptabilní odrůdy, rezistentní k chorobám, které nejen při vysokých vstupech, ale i při nízkých poskytují nejlepší výnosy. Potvrzují to i výsledky Sinebo et al. (2002) v jejichž pokusech byla selekce ječmene na vysoké i nízké dávky dusíku z 90 - 98% stejně účinná, ať se dělala za vysokých, nebo nízkých vstupů dusíku.

Vliv počasí na využití živin z minerálních hnojiv

Aby mohla rostlina využít dodané živiny, musí být v dobrém fyziologickém stavu, hlavně mít k dispozici dostatek vody, ve které se minerální hnojiva rozpouštějí. Fyziologický stav (kondice) je proto výrazně ovlivněn počasím. Z tohoto důvodu jsme sledovali vztah mezi přírůstkem výnosu na 1 kg dodaných živin u různých plodin a počasím v ročnicích s odlišnými hodnotami teplot a srážek. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty korelace a regrese.

XII. Korelační a regresní koeficienty mezi dávkou dodaných živin v minerálních hnojivech a výnosem polních plodin při různé sumě ročních srážek

Plodina	Korelační koeficient při srážkách			Regresní koeficient (kg.ha ⁻¹ na 1 kg č.ž.) při srážkách		
	Nízkých	Středních	Vysokých	Nízkých	Středních	Vysokých
Pšenice		0,715	0,696		9,6	8,9
Ječmen		0,802	0,789		9,0	8,2
Řepka	0,482	0,723	0,727	4,3	6,4	5,5
Cukrovka		0,555	0,525		45,2	37,1
Brambory	0,619	0,667	0,543	26,8	34,3	22,9
Žito		0,676	0,737		6,3	6,0
Oves		0,721	0,749		6,8	6,7
Zrnová kukuřice		0,607	0,497		9,3	7,7
Luskoviny celkem		0,641	0,548		3,6	2,6
z toho luskoviny jedlé		0,658	0,543		5,2	3,6
Mák						
Stonky lnu	0,750	0,840	0,761	8,7	9,4	7,1

Uvedeny jsou jenom statisticky významné hodnoty.

Z tabulky lze usoudit, že za sucha souvisel výnos plodin s aplikovanými živinami v minerálních hnojivech jenom u řepky, brambor a lnu. Při středních, tj. průměrných srážkách byla těsnost vztahu mezi dávkou aplikovaných hnojiv a výnosem těsnější než za sucha. U většiny plodin byla v mokřích letech méně těsná než při průměrných srážkách, ale rovněž významná. Důležité je však zjištění z posledních dvou sloupců tabulky; **za průměrných srážek byla účinnost živin vyšší, než za nadprůměrných a mnohem vyšší než za sucha.** Jak již bylo uvedeno v předchozích odstavcích, na průmyslové hnojení nereagoval mák, respektive byly významnější jiné vlivy, které účinek tohoto hnojení překryly.

Obdobně jsme zhodnotili i vliv průměrné roční teploty na výnosovou účinnost živin z minerálních hnojiv, aplikovaných na hektar půdy (tab. XIII).

XIII. Korelační a regresní koeficienty mezi dávkou dodaných živin v minerálních hnojivech a výnosem polních plodin při různé průměrné roční teplotě

Plodina	Korelační koeficient při roční teplotě			Regresní koeficient (kg.ha ⁻¹ na 1 kg č. ž.) při roční teplotě		
	Nízké	Střední	Vysoké	Nízké	Střední	Vysoké
Pšenice	0,778	0,622	0,582	10,2	8,1	8,9
Ječmen	0,853	0,633	0,616	8,8	7,4	8,3
Řepka	0,729	0,654	0,681	5,3	5,3	6,6
Cukrovka	0,576	0,503		39,1	48,3	
Brambory	0,636	0,585	0,580	29,9	27,4	25,3
Žito	0,826	0,580	0,578	6,6	5,6	6,3
Oves	0,814	0,489	0,616	7,6	4,6	6,2
Zrnová kukuřice	0,714			8,3		
Luskoviny celkem	0,667		0,480	3,2		2,9
Z toho jedlé luskoviny	0,735	0,484		5,2	3,9	
Mák						
Len	0,855	0,744	0,751	7,8	7,8	8,9

N = 16, uvedeny jenom statisticky významné hodnoty.

Účinnost živin byla ovlivněna nejen srážkami, ale i teplotou. Nejtěsnější vztah byl většinou zjištěn při nízké teplotě, nejméně těsný při vysoké teplotě. **U všech sledovaných zrnin byl přírůstek výnosu na 1 kg č. ž. nejnižší při průměrné teplotě, nejvyšší u většiny plodin při nízké průměrné roční teplotě.**

Odhad využití dodaného minerálního dusíku výnosem

Z odhadu využití dodaného dusíku výnosem v osmi termínech, uvedených v následující tabulce je zřejmé, že **bilance dusíku byla v letech 1947 až 1960 negativní** a chybějící dusík byl patrně získán z mineralizace půdní organické hmoty a ze statkových hnojiv. **V letech 1970 až 1990 byla tato bilance pozitivní a vzhledem k dusíku pocházejícímu z mineralizace a ze statkových hnojiv se lze domnívat, že část dusíku unikala do spodních vod, které kontaminovala nitráty.** V roce 1995 a 2000 byla sledovaná bilance opět mírně negativní. **Dodaný minerální dusík nebyl podle našeho odhadu využit výnosem v letech 1970 až 1990, kdy se z jeho dodaného množství na průměrný hektar nevyužilo 18,5 až 36,8 kg dusíku ročně.**

XIV. Odhad využití dodaného minerálního dusíku výnosem

Rok	Množství dusíku (kg/ha/rok)		
	Dodaného v minerálních hnojivech	Spotřebovaného výnosem	Rozdíl
1947	3,8	25,0	-21,2
1950	6,6	34,4	-27,8
1960	19,4	38,2	-18,8
1970	61,2	42,7	+18,5
1980	101,0	64,2	+36,8
1990	98,5	76,3	+22,2
1995	66,8	69,4	-2,6
2000	67,4	72,4	-5,0

Faktorová analýza výnosů, hnojení a počasí

Z faktorové analýzy je patrný významný vliv úrovně dusíkatého hnojení na výnosy, zejména sena, lnu, pícnin na orné půdě, brambor i ostatních plodin. Nejmenší vliv na výnosy z hodnocených živin měla dávka draselných hnojiv. Vliv počasí (za rok, za vegetační období i jarní měsíce) byl výrazně menší než vliv hnojení. S teplotou nejvíce souvisel výnos máku, kukuřice, cukrovky, luskovin i ostatních plodin.

Ročníková variabilita ve výnosech, v dávkách živin v minerálních hnojivech a v počasí, byla nejvíce absorbována ročníkovou variabilitou ročních srážek a ročních teplot (komunalita 1,00), výnosem lnu, máku, luskovin, kukuřice, ovesa, žita, brambor, cukrovky a řepky (komunalita 1,00 až 0,97) a nejméně délkou slunečního svitu za rok (0,53), výnosem pícnin na orné půdě (0,70), množstvím aplikovaných minerálních hnojiv (0,78) atd.

Diskuse

Faktory, ovlivňující výnosy

Faktory, ovlivňující výnosy na území bývalého Československa, z něhož představuje Česká republika více než dvě třetiny, hodnotil Vrkoč (1992). Výsledky jsou uvedeny v následující tabulce.

XV. Podíl některých faktorů na výnosy plodin v Československu v různých obdobích, (Vrkoč 1992)

Faktor	1948	1973	1990	1990
Půdní úrodnost	40	10	10	-
Počasí	20	15	10	-
Pěstitelská technologie	20	10	20	25
Odrůdy	5	20	25	30
Hnojení	10	30	20	25
Ochrana rostlin	5	15	15	20
Celkem (%)	100	100	100	100

Ročníky a zejména lokality měly významný vliv na výnosy pšenice, avšak tento vliv byl nižší u krajových a starších odrůd, než u moderních odrůd. Moderní odrůdy reagovaly citlivěji na podmínky prostředí, jak prokázala regresní analýza. Regresní koeficient totiž činil u krajových a již překonaných odrůd 0,87, avšak u moderních 1,63 (Dotlačil et al. 2000). V naší práci jsme použili tuto osvědčenou metodu k hodnocení adaptability plodin. Nejvíce k našim pěstitelským podmínkám a k podmínkám prostředí byly adaptovány ve sledovaném období jedlé luskoviny, len, řepka a pšenice, které měly nejvyšší hodnotu regresního koeficientu. Naopak nejméně byla adaptována cukrovka, seno z luk a mák s nejnižšími hodnotami regresních koeficientů.

Jiné pokusy však demonstrují na výnosu ječmene, že je vliv ročníku pro testování odrůd významnější, než vliv lokalit (Costa, Boller 2001). Na výnos ozimé pšenice měla největší vliv lokalita, dusíkaté hnojení a ročník: postačující dávka dusíku byla 120 kg.ha⁻¹ (Vrkoč et al. 1990). Výnos zrna na farmách souvisel s podílem vytrvalých pícnin, zejména tehdy, pokud byly aplikovány nižší dávky živin (pod 100 kg NPK na hektar orné půdy). Na 1% pícnin na orné půdě připadalo zvýšení výnosů zrna o 23 kg.ha⁻¹. Na 1 kg NPK na hektar orné půdy připadalo zvýšení výnosu zrna o 50 kg (Šroller et al. 2002). Ve srovnání s vlivem lokality, ročníku, aplikací dusíku, růstového regulátoru a fungicidů, byl vliv odrůdy poměrně malý (Šíp et al. 2000).

Podíl jednotlivých faktorů na dosaženém výnosu se mění s pokusným uspořádáním. Pokud se sledoval vliv doby setí, dávky dusíku, předplodin a závlahy na třech lokalitách ve dvou letech na výnos pšenice (Cooper et al. 2001), pak je pochopitelné, že se na interakci genotypu s prostředím podílela do značné míry interakce genotypu s technologií pěstování.

Výnos kukuřice se v USA zvýšil z 1 t v třicátých letech na 7 t.ha⁻¹ v devadesátých letech vlivem odrůd i vlivem způsobu pěstování. Největší vliv však měla interakce genotypu se způsobem pěstování. Z genetických vlivů se nejvíce projevila zvýšená tolerance ke stresům, což je i příčinou výše uvedené

interakce a mohlo by v budoucnu zvýšit i stabilitu produkce (Tollenaar, Lee, 2002). Za 60 let se tedy výnos zvýšil o 6 tun, tj. ročně asi o 100 kg.ha⁻¹, podle našeho zjištění v méně příznivých podmínkách o 50 kg.

Na výnos cukrovky měla největší vliv lokalita, organické hnojení, hnojení dusíkem a ročník (Vrkoč, Suškevič 1990).

Adaptabilita plodin

Regresní metoda hodnocení stability výnosů byla vhodná pro interpretaci interakce prostředí s technologií pěstování, tj. se studiem střídání plodin. Rozdíly byly vysvětlovány významnými rozdíly mezi přerušovací osevních sledů mezi obilninami (Berzsenyi et al. 2000).

Dlouhodobé změny počasí

Ve střední Evropě by mělo dojít v důsledku globálních klimatických změn ke snížení množství zimních srážek, vzestupu zimních teplot a ke zvýšení koncentrace atmosférického CO₂. V důsledku těchto změn by mělo dojít ke zvýšení tolerance k přezimování ozimých obilnin (Veisz et al. 1996). Od roku 1989 bylo v Evropě zaznamenáno zvýšení jarní teploty (II-IV) za deset let o 0,8°C (Chmielewski, Rotzer, 2002). Teploty ve dvacátém století v Praze hodnotil Kyselý (2002). Zjistil, že nejteplejší léta byla v období 1943-1952 a 1992-1995, což odpovídá našemu zjištění, že nejteplejší období bylo v posledním desetiletí dvacátého století. Globální oteplování se vysvětluje účinkem skleníkového efektu, způsobeného mimo jiné i zvyšováním koncentrace CO₂ v atmosféře (např. O'Neill a Oppenheimer 2002).

Vlivem klimatických změn by mohlo dojít k rozšíření vhodných plodin na sever a k redukci růstového období u plodin s determinantním růstem (např. obilnin), ale k prodloužení vegetace indeterminantních plodin (např. okopanin). Zvýšení koncentrace atmosférického CO₂ by vedlo nejen ke zvýšení produktivity plodin v Evropě, ale i ke zvýšení efektivnosti využití zdrojů (Olesen, Bindi, 2002). Mohlo by dojít ke zvýšení výnosů ozimé pšenice o 30-55%, bude-li k dispozici dostatek vody (Eitzinger et al. 2001). Urychlí se vývoj plodin a tím zkrátí vegetační období pro pšenici, ale prodlouží pro brambory. Proto by se výnosy brambor měly zvýšit asi o třetinu, ale výnosy pšenice asi o desetinu snížit (Peiris et al. 1996). Výsledkem těchto změn jsou však patrně i růstové abnormality obilí sladového ječmene, kterým by se mohlo předejít šlechtěním ranějších odrůd (Baumer et al. 1998).

Vliv ročníku a počasí

Z prostředí měl na výnosy cukrovky v Evropě největší vliv nedostatek vody (Pidgeon et al. 2001). Tento nedostatek vody se bude pravděpodobně v Evropě (Olesen, Bindi 2002) i v USA (Tubiello et al. 2002) zvyšovat, povede ke snižování výnosů plodiny a výnosy budou více proměnlivé. Na výnos pšenice měl největší vliv ročník, předplodina, lokalita a dusíkaté hnojení (vliv odrůd nebyl sledován). Vliv předplodiny nebylo možno nahradit vyššími dávkami dusíku. Nejvyšší přínos 1 kg N byl zjištěn na chudších půdách v horších podmínkách (Vach, Vrkoč 1995). Ročník se na výnosu ječmene podílel 89% v pokusech Cerkala a kol. (2001).

Nedostatek vody 30 dní před a 10 dní po kvetení se projevil 65% proměnlivosti ve výnosu pšenice. Pokud se uvedené období rozšířilo i na dřívější dobu, zvýšil se příslušný r_2 na 0,71. Srážky a teplota během plnění zrn se podílela z 55-69% na výnosu (Calvino, Sadras, 2002).

Vliv odrůdy

Ve státních odrůdových pokusech byl v ČR zjištěn v letech 1956-1985 (Šíp et al. 1987) roční trend vzestupu ve výnosech zrna ozimé pšenice o 134 kg.ha⁻¹ (2,6%), v praxi 106 kg (3,2%). Nízký přínos nových linií (6 kg.ha⁻¹, tj. 0,2% ročně, tj. jen 7% z celkového přírůstku) byl zjištěn v období 1956-1965, vyšší v letech 1964-1974 (81 kg, tj. 1,7% ročně, tj. 47% z celkového přírůstku) a nejvyšší v letech 1975-1985 (99 kg.ha⁻¹, tj. 1,5 kg ročně, tj. 52% z celkového přírůstku). Z uvedených 52% celkového přírůstku představoval 23% podíl genotypu a 29% podíl zlepšené reakce genotypu na faktory prostředí. Zbývajících 48% připadlo na ostatní faktory prostředí, z toho 36% na vyšší dávky dusíku u moderní odrůdy.

Vliv odrůdy obilnin na výnos odhaduje Šimon (1963) na 10-25 i více procent. Meziroční nárůst výnosů u našich odrůd činil $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, u šestiřadáho ječmene $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Schwarzbach, Pařízek, 1992). Pokrok ve šlechtění pšenice byl v Izraeli v 70. letech velmi rychlý, ale jen střední v posledních deseti letech (Atsmon, Schwarzbach, 2002). U jarního ječmene Nordického typu činil genetický zisk šlechtěním za rok u dvouřadých odrůd $13 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Byly hodnoceny odrůdy registrované během let 1942-1988 (Ortiz et al. 2002). V našich podmínkách poskytují ozimé odrůdy ječmene často vyšší výnos než jarní odrůdy. Výnos ječmene u nás významně souvisel s rezistencí k chorobám a k poléhání (korelační koeficient s rezistencí k padlí činil 0,68, s rezistencí ke rzi 0,72 a s rezistencí k poléhání 0,61), jak zjistil Špunar a kol. (2002). V polovině devadesátých let bylo nejzávažnější chorobou ječmene padlí, ale již v roce 1995 mělo 13 ze zkoušených 49 odrůd a novošlechtění gen obecné rezistence proti této chorobě mlo, zatímco v roce předchozím jen jedna ze 44 (ÚKZÚZ 1994, 1995).

Bareš et al. (1995) uvádí, že ke zvyšování výnosů pšenice od roku 1966 bylo způsobeno nástupem bezosinatých odrůd i vyšší intenzitou hnojení. V této době se zvyšovala stabilita výnosů šlechtitelským zvyšováním tolerance k biotickým i abiotickým vlivům prostředí (k chorobám, k poléhání); zároveň se zvyšovala kvalita zrna. Roční trend zvyšování výnosů v letech 1920-1970 činil u intenzivních odrůd 0,30-0,18%, u středně intenzivních 0,62-0,38%, u jarních odrůd 0,38-0,25%. Od 1975 se registrovaly výrazně výnosnější odrůdy a proto se zvyšoval podíl odrůdy na celkovém přírůstku výnosu. Podíl odrůdy na ročním přírůstku výnosu činil u převažujících ozimých odrůd v letech 1953-71 0,79%, v letech 1972-81 1,40% a celkem v letech 1953-81 1,00%, tj. 30,4; 41,2 a 38,5% z celkového ročního přírůstku. V letech 1982-92 se zvyšovala výkonnost nových ozimých odrůd ročně jen o 0,8-0,9%, což možná souvisí s poměrně vysokým podílem zrna na celkové biomase (48%). Podíl odrůdy na přírůstku výnosu se od roku 1962 do roku 1992 zvyšoval z 25-30% na 50%.

Vliv odrůd na zvyšování výnosů pšenice byl podle odrůdových pokusů v letech 1956-65 jen 0,16% ročně, v letech 1975-85 už 1,54% ročně, z čehož 23% připadalo na vliv odrůdy, 29% na interakci odrůdy s prostředím a 48% na vlivy prostředí. Srovnáním výnosů starých odrůd s novými, tj. za 59 let ve srovnání 20. a 80. let bylo zjištěno zvýšení výnosů o 59%, tj. ročně o 1% (Bareš et al. 1995). Podle našeho zjištění za delší časové období 75 let se výnosy pšenice zvýšily o 42 kg, tj. o 1,5% ročně.

Od roku 1988 se u nás začaly pěstovat 00-odrůdy řepky a převládly od roku 1992/1993 (Vašák et al. 1993), od roku 1995 se začaly zkoušet hybridní odrůdy (ÚKZÚZ 1995).

Do začátku devadesátých let se u nás pěstovaly převážně odrůdy od našich šlechtitelů, s výjimkou období, kdy u pšenice převažovaly ruské a ukrajinské odrůdy. Rozvoj svobodné společnosti přinesl později i konkurenci zahraničních odrůd. Proto koncem 20. století převládaly na našich polích asi 80% domácí odrůdy pšenice a ječmene, u bramboru jen asi 30% a odrůdy řepky a cukrovky byly prakticky jenom zahraniční (Chloupek 2000).

Vliv hnojení

Vliv aplikace minerálních hnojiv na jeden hektar ve vztahu k výnosům plodin jsme hodnotili i přesto, že nebyly aplikovány přímo k hodnocené plodině. Ve struktuře plodin převažovaly pícniny na orné půdě a pšenice. Přesto však množství aplikovaných živin souviselo těsněji s výnosem ječmene než pšenice ($r = 0,726^{**}$ a $0,660^{**}$). Tato souvislost byla stejně těsná u pšenice jako u řepky, která zaujímala mnohem menší podíl ve struktuře pěstovaných plodin a pěstovala se ve větší míře až v poledním desetiletí ($r = 0,660^{**}$ a $0,665^{**}$). Nejtěsnější vztah mezi množstvím aplikovaných živin na jeden hektar a výnosem byl zjištěn u výnosu stonků lnu ($0,770^{**}$), kterého se pěstovalo v jednotlivých letech 0,1-1,4% z výměry. Zdá se tedy, že účinek živin z aplikovaných hnojiv se projevoval nejen ve vztahu k plodině, ke kterým byly aplikovány, ale i k následným plodinám. To je obecně známé u fosforečných a draselných hnojiv, ale zřejmě to platí do jisté míry i pro dusíkatá hnojiva, jejichž aplikace se projevuje na výnosech nejvýrazněji. Může to souviset i s mineralizací organické hmoty v půdě.

Nejvyšší zisk polních plodin byl dosažen při takovém hnojení, kdy došlo k vyváženému stavu živin v půdě (120 kg dusíku po bramborách pro ozimou pšenici a ozimý ječmen, 200 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ dusíku pro brambory), jak zjistil Vrkoč et al. (2002). Moderní odrůdy pšenice lépe využívají dusík (např. Šíp et al. (2000).

Lekeš (1997) vysvětluje vzestup výnosů obilnin po roce 1920 širším používáním minerálních hnojiv, využíváním vědy a techniky (masovějším šlechtěním) a potřebou soběstačnosti, hlavně potravinářské pšenice. Ke zvyšování výnosů však docházelo i v posledním hodnoceném desetiletí, v tržním makroekonomickém prostředí, kdy nebyla soběstačnost rozhodující a kdy byly i ceny některých plodin v zahraničí nižší.

Jiné vlivy

U ozimé pšenice v Německu zjistil Fischbeck (1999) po eliminaci vlivu počasí pomocí klouzavých průměrů, že v průběhu sledovaného období došlo ke klesání variačních koeficientů. To vysvětlil zvyšováním jistoty výnosů vlivem zlepšujících pěstitelských opatření. Obdobné výsledky jsme zjistili i my nejen u pšenice, ale i u žita, brambor, chmele a sena z luk.

Pomocí klouzavých průměrů za desetiletí (1950/1959 až 1988/1997) zjistil Fischbeck (1999), že v Německu vynikla tři období pro zvyšování výnosů:

- ➔ I. v padesátých letech, v důsledku stoupajícího použití dusíkatých hnojiv,
- ➔ II. období navázalo na první období v šedesátých letech, v důsledku používání prostředků ke zkra-cování stébla,
- ➔ III. v osmdesátých letech, kdy došlo k nejvýraznějšímu zvyšování výnosů používáním fungicidů, ale také došlo ke konci zvyšování výnosů.

U pšenice byla největším přínosem zvýšená rezistence k padlí, ale také ke rzi a k septoriózám. U ozimého ječmene rezistence ke žluté mozaice, u krmných odrůd k padlí. U jarního ječmene bylo pozoruhodné obdobné zvyšování rezistence u krmných odrůd a výnosů u sladových odrůd, i když se snižoval obsah extraktu. Přes pozoruhodný pokrok v rezistentním šlechtění obilnin však přesto bylo přínosnější používání fungicidů. Volba odrůdy byla rozhodující pro kvalitu sklizeného produktu. Další, čtvrtá fáze zvyšování výnosů by mohla v budoucnosti vycházet z hybridních odrůd. V podmínkách České republiky jsme stejnou metodikou žádná obdobná výrazná období nezjistili. Možná to bylo způsobeno tím, že začátek používání uvedených inputů byl ČR pozvolnější, protože existovali nejen výrazně progresivní pěstitelé, nýbrž i jiní.

Hockman (1992) analyzoval vliv technického pokroku na změnu produkce, zvýšení obratu a snížení nákladů v letech 1976-1984 mj. i v Československu. Technický pokrok v této době vedl ke zvýšení rostlinné produkce o 4,2% (obdobně jako např. ve Francii), ke zvýšení obratu o 0,84% a ke snížení nákladů o 0,87%, tj. méně než ve Francii, Holandsku, Německu aj. Dá se tedy zjednodušeně abstrahovat, že pěstování rostlin bylo v ČR poměrně úspěšné, avšak méně tržně orientované (viz požadavek soběstačnosti) a poměrně nákladné.

Souhrn

V posledních letech dvacátého století (1996-2000) byly nejrozšířenějšími plodinami v České republice pšenice, ječmene, řepka, cukrovka a brambory, které zabíraly 85,0% z orné půdy (první tři nejrozšířenější 73,0%). Louky zabíraly 15% ze zemědělské půdy. Za posledních osmdesát let dvacátého století se výrazně zvýšil výnos pšenice, řepky, brambor, ječmene i cukrovky; po celou dobu však stagnoval výnos sena (viz tab. XVI). Při vyšších výnosech byla menší závislost na ročníku (na počasí), avšak jen u výnosu pšenice, brambor a sena dosáhla statistické významnosti.

Výnosy se během sledovaného období zvyšovaly statisticky významně s časem. Pomocí regresních koeficientů bylo zjištěno, že se v průměru let 1920-2000 výnosy pšenice každoročně zvýšily o 46 kg, ječmene o 37 kg, řepky o 22 kg, cukrovky o 200 kg, brambor o 118 kg a sena z luk o 8 kg.

Hodnoty adaptability byly statisticky významně korelovány ($r = 0,959^{**}$) s hodnotami ročního nárůstu výnosů (viz tabulku 1). To znamená, že čím vyšší byla adaptabilita jednotlivých plodin k úrodnosti jednotlivých let, tím vyšší byl růst jejich výnosů v posledních 80 letech minulého století.

Pomocí variačních koeficientů jsme zjistili, že se u většiny plodin snižovala relativní meziročníková variabilita v průběhu sledovaného období. Snižovala se tedy závislost výnosu na ročníku. Tato souvislost však dosáhla statistické významnosti jen u výnosu pšenice (korelační koeficient v 1. až 15. pětiletém období

a variačním koeficientem činil -0,693**), žita ($r = -0,686^{**}$), brambor (-0,635*), chmele (-0,659*) a sena z luk (-0,590*). Pomocí regresního koeficientu bylo zjištěno, že se každoročně snižovala meziročníková variabilita u uvedených čtyř plodin o 0,68; 0,73; 1,19; 1,50 a 0,96% ročně.

XVI. Souhrnný přehled pěstování nejdůležitějších plodin v České republice za posledních 80 let dvacátého století

Ukazatel	Pšenice	Ječmen	Řepka	Cukrovka	Brambory	Seno z luk
Průměrný výnos za sledované období (t.ha ⁻¹)	3,02	2,85	1,71	31,0	15,6	3,70
Výnos 1920-1924 (t.ha ⁻¹)	1,46	1,49	1,19	24,6	10,1	3,27
Výnos 1996-2000 (t.ha ⁻¹)	3,46	2,94	2,52	43,2	20,5	3,33
Zvýšení výnosů za celé sledované období 1920-2000 o (%)	137	97	112	76	103	2
Změna výnosů během extenzifikace ve srovnání 1986-1990 s 1996-2000 (%)	-11	-20	-12	+20	+4	-33
Snížení výnosů po válce ve srovnání 1935-1945* s 1946-1950 (%)	-5	-11	-50	-17	-16	-37
Meziročníková variabilita výnosů (%)	10,9	11,1	14,5	14,3	16,5	
Adaptabilita jednotlivých plodin k úrodnosti sledovaných let, jako regresní koeficient úrodnosti (za posledních 54 let)	1,35	1,20	1,38	0,58	0,71	0,58
Roční přírůstek výnosů za celé sledované období (kg.ha ⁻¹)	46,2	37,1	22,3	199,9	117,8	7,8
Podíl ročního přírůstku k průměrnému výnosu (%)	1,53	1,30	1,30	0,64	0,76	0,21
Roční přírůstek výnosů (kg.ha ⁻¹) na 1 kg č. ž. z minerálního hnojení použitého na 1 ha zem. půdy	10,1	8,9	5,2	37,8	26,1	4,0
Roční přírůstek výnosů (kg.ha ⁻¹) na 1 kg minerálního dusíku (+ PK) použitého na 1 ha zem. půdy.	29,9	25,1	15,3	118,7	76,3	10,5
Roční přírůstek výnosů (kg.ha ⁻¹) na 1 kg minerálního fosforu (+NK) použitého na 1 ha zem. půdy.	33,0	29,3	16,7	114,4	83,2	14,7
Roční přírůstek výnosů (kg.ha ⁻¹) na 1 kg minerálního draslíku (+ NP) použitého na 1 ha zem. půdy	21,4	19,7	10,8	75,7	56,6	9,2

* Průměr let 1935, 1936, 1937, 1938 a 1945.

Nejen výnosy, ale i plocha pěstování jednotlivých druhů obilnin byly téměř zcela determinovány (z více než 99%) jejich reakcí na průmyslové hnojení. V době významnějšího používání minerálních hnojiv (1961-2000) převládly druhy, které reagovaly na aplikovaná průmyslová hnojiva vyšším přírůstkem výnosu (na 1 kg č. ž. v minerálních hnojivech reagovala pšenice zvýšením výnosu o 9,7 kg, ječmen o 8,4 kg), kdežto plodiny s menším ohlasem ustupovaly (žito reagovalo zvýšením výnosu o 6,6 kg a oves o 6,3 kg). Zvyšování výnosů polních plodin v tomto období mohlo být z 26-42% způsobeno použitím minerálních hnojiv. Na 1 kg čistých živin v minerálních hnojivech použitých na zemědělskou půdu připadalo roční zvýšení výnosu řepky o 5,4 cukrovky o 33,8 a brambor o 26,6 kg.ha⁻¹.

Vliv sumy ročních srážek a průměrných ročních teplot na výnosy byl hodnocen v letech 1937-2000. Byl nízký a výnosy ovlivnil maximálně z 10%. Ve mokrých letech byly zaznamenány nižší výnosy pšenice, ječmene, žita a luskovin. V teplých letech byl zjištěn vyšší výnos žita.

Zjistili jsme významné zvyšování teplot s přibývajícím léty ($r = 0,457^{**}$), kdy se každoročně průměrná roční teplota v Českých Budějovicích a Olomouci 9,15°C zvyšovala v průměru o 0,027°C ročně, prodlužovala se i délka slunečního svitu na hranici statistické významnosti ($r = 0,293$; $P = 0,054$).

Množství srážek se ve sledovaném období snižovalo jen nevýznamně. Tyto **klimatické změny**, tj. zvyšování průměrné roční teploty a prodloužení délky slunečního svitu, souvisely nepochybně s vyššími výnosy pšenice, ječmene, řepky, cukrovky, žita, zrnové kukuřice a luskovin, což bylo prokázáno korelací. Na ostatní plodiny neměly významný vliv.

Odhadli jsme, že zvyšování výnosů polních plodin v druhé polovině dvacátého století mohlo být u sledovaných plodin z 26-42% způsobeno použitím minerálních hnojiv. To svědčí o významném vlivu průmyslového hnojení na výnosy a plochy obilnin v posledních 40 letech 20. století. Nejvyššího přírůstku výnosu na 1 kg č. ž. z minerálních hnojiv bylo u pšenice, řepky, cukrovky a bramboru dosaženo při dávkách 70-120 kg v letech 1959-1964 a 1992-2000, u ječmene při dávkách 170-220 kg v letech 1970-1974 a 1990. Pozoruhodná byla reakce výnosů na hnojení v rozmezí 70-120 kg při srovnání tendence zvyšování dávek živin z minerálních hnojiv v letech 1965-1969 a při jejich snižování v letech 1992-2000. V tomto druhém období byly výnosy pšenice vyšší o 70%, ječmene o 48%, řepky o 80%, cukrovky o 43% a brambor o 59%. Tato rozdílná účinnost živin může být vysvětlena různým podílem dusíku na celkové spotřebě živin (v prvním období 27%, v druhém 70%), živinami (P, K) ze staré půdní síly a novými odrůdami, lépe využívajícími nízké dávky živin.

Za průměrných ročních **srážek** byla účinnost živin větší, než za nadprůměrných a mnohem vyšší než za sucha, např. u pšenice ve stejném pořadí 9,6; 8,9 a 7,0 kg.ha⁻¹ zrna na 1 kg č. ž., u řepky 6,4; 5,5 a 4,3 kg a u cukrovky 45,2; 37,1 a 31,1 kg. Nejtěsnější vztah byl většinou zjištěn při nízké průměrné roční teplotě, nejméně těsný při vysoké teplotě. U všech sledovaných zrnin byl přírůstek výnosu na 1 kg č. ž. nejnižší při průměrné teplotě, nejvyšší u většiny plodin při nízké roční **teplotě** (u pšenice při průměrné teplotě 8,1 kg, při vysoké teplotě 8,9, při nízké 10,2 kg, u ječmene ve stejném pořadí 7,4; 8,3 a 8,8 kg.ha⁻¹ zrna na 1 kg č. ž. Vztah výnosů s délkou **slunečního svitu** nebyl statisticky významný.

Z **odhadu** využití dodaného dusíku průmyslovými hnojivami výnosem v osmi termínech je zřejmé, že **bilance dusíku** byla v letech 1947 až 1960 negativní, ale v letech 1970 až 1990 pozitivní a lze se domnívat, že část dusíku unikala. V roce 1995 a 2000 byla sledovaná bilance opět mírně negativní. Dodaný minerální dusík nebyl podle našeho odhadu využit výnosem v letech 1970 až 1990, kdy se z jeho dodaného množství na průměrný hektar nevyužilo asi 18,5 až 36,8 kg dusíku ročně.

Závěr

Zatímco pracovalo v zemědělství v roce 1930 asi 2 316 000 pracovníků, v roce 2000 jenom 215 000. Protože soběstačnost v základních potravinách zůstala zachována na srovnatelné úrovni, lze odhadnout, že se produktivita práce za uvedených 70 let zvýšila asi 11krát. Takového úspěchu dosáhla u nás jen málokterá odvětví. Dnešní problémy zemědělství jsou většinou způsobeny jeho výkonností a proto je zřejmé, že se zemědělství stalo obětí vlastního úspěchu.

Literatura

- Atsmon S. Y., Schwarzbach E. 2002: Wheat in Israel. Nepublikováno.
- Bareš I., Dotlačil L., Stehno Z., Faberová I., Vlasák M. 1995: (Original and registered cultivars of wheat in Czechoslovakia in the years 1918-1992). Research Institute of Plant Production, Prague, 305 p.
- Berzsenyi Z., Gyorffy B., Lap D. 2000: Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. *European Journal of Agronomy* 13: 225-244.
- Baumer M., Grossmann O., Miedaner H., Graf H., Sacher B. 1998: Kernel abnormalities in malting barley – determining, terminology and assessment. *Monatsschrift für Brauwissenschaft* 51: 176-188.
- Calvino P., Sadras V. 2002: On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. *Field Crops Research* 74: 1-11.
- Cerkal R., Zimolka J., Hřivna L. 2001: Using plough down of sugar beet tops to affect the production parameters of spring barley in a maize-growing region. *Rostlinná Výroba* 47: 319-325.
- Cooper M., Woodruff D. R., Phillips I. G., Basford K. E., Gilmour A. R. 2001: Genotype-by-management interactions for grain yield and grain protein concentration of wheat. *Field Crops Research* 69: 47-67.
- Costa J. M., Boller G. A. 2001: Stability analysis of grain yield in barley (*Hordeum vulgare*) in the mid-Atlantic region. *Annals of Applied Biology* 139: 137-143.
- Dotlačil L., Hermuth J., Tisová V., Brindza J., Debre F. 2000: Yield potential and stability in selected winter wheat landraces and obsolete cultivars of European origin. *Rostlinná Výroba* 46: 153-158.
- Eitzinger J., Žalud Z., Alexandrov V., van Diepen C. A., Trnka M., Dubrovsky M., Semerádová D., Oberforster M. 2001: A local simulation study on the impact of climate change on winter wheat production in north-eastern Austria. *Bodenkultur* 52: 279-292.
- Fischbeck G. 1999: Bedeutung der Resistenzzüchtung in der integrierten Pflanzenproduktion. *Vorträge für Pflanzenzüchtung* 46: 7-29.
- Hockman H. 1992: Dimensionen und Bestimmungsgründen des Wachstums von Produktion und Produktivität in der Landwirtschaft in ausgewählten Ländern. *Wissenschaftsverlag Vauk, Kiel*, 324 s.
- Chloupek O. 2000: Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. *Academia, Praha*, 312 s.
- Chloupek O., Hrstková P. 2003: Stabilita výnosů. *Farmář* 5: 24-25.
- Chloupek O., Hrstková P., Schweigert P.: Yield and its stability, crops diversity, adaptability and response to climate changes, weather and fertilization over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. *Field Crops Research* (v tisku).
- Chmielewski F. M., Rotzer T. 2002: Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes. *Climate Research* 19: 257-264.
- Kyselý J. 2002: Temporal fluctuations in heat waves at Prague-Klementinum, The Czech Republic, from 1901-97, and their relationship to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology* 22: 33-50.
- Lekeš J. 1997: Šlechtění obilovin na území Československa. *Brázda*, 279 s.
- Olesen J. E., Bindi M. 2002: Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy* 16: 239-262.
- O'Neill B. C., Oppenheimer M. 2002: Climate change – Dangerous climate impacts and the Kyoto protocol. *Science* 296 (5575): 1971-1972.
- Ortiz R., Nurminiemi M., Madsen S., Rognli O. A., Bjornstad A. 2002: Genetic gains in Nordic barley breeding over sixty years. *Euphytica* 126: 283-289.

- Peiris DR, Crawford JW, Grashoff C, Jefferies RA, Porter JR, Marshall B, 1996: A simulation study of crop growth and development under climate change. *Agricultural and Forest Meteorology* 79:271-287
- Petr J, Škeřík J. 1999: Yield response of winter wheat varieties to low inputs. *Rost. Výroba* 45:525-532.
- Pidgeon JD, Werker AR, Jaggard KW, Richter GM, Lister DH, Jones PD, 2001: Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961-1995. *Agricultural and Forest Meteorology* 109: 27-37.
- Schwarzbach E., Pařízek P. 1992: *Názory na současný a perspektivní vývoj odrůdové skladby ječmenů. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský Brno, nepublikováno.*
- Sinebo W., Gretzmacher R., Edelbauer A. 2002: Environment of selection for grain yield in low fertilizer input barley. *Field Crops Research* 74: 151-162.
- Šimon J. 1963: Obilniny. In: *Rostlinná výroba 1: 44-205, Státní zemědělské nakladatelství, Praha.*
- Šíp V., Valkoun J., Malý J., Táborská J., Škorpík M. 1987: Analýza výnosu zrna ozimé pšenice v ČSSR za třicetileté období. *Rostlinná Výroba* 33: 449-458.
- Šíp V., Škorpík M., Chrpová J., Sottníková V., Bártová S. 2000: Effect of cultivar and cultural practices on grain yield and bread-making quality of winter wheat. *Rostlinná Výroba* 46: 159-167.
- Šroller J., Pulkrábek J., Novák D., Faměra O. 2002: The effect of perennial forage crop on grain yields in submontane regions. *Rostlinná Výroba* 48: 154-158.
- Špunar J., Vaculová K., Špunarová M., Nesvadba Z. 2002: Comparison of important parameters of spring and winter barley cultivated in sugar beet production area of Czech Republic. *Rostlinná Výroba* 48: 237-242.
- Tempír et al. 1966: Dějiny zemědělství. In: *Naučný slovník zemědělský 1: 843-864.*
- Tollenaar M., Lee E. A. 2002: Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research* 75: 161-169.
- Tubiello F. N., Rosenzweig C., Goldberg R. A., Jagtap S., Jones J. W. 2002: Effects of climate change on US crop production: simulation results using two different GCM scenarios. Part I: Wheat, potato, maize, and citrus. *Climate Research* 20: 259-270.
- Vach M., Vrkoč F. 1995: Analysis of the effect of different forecrops, increased N-fertilization, weather in the years and sites on winter-wheat yields. *Rostlinná Výroba* 41: 263-267.
- Vašák J., Fábry A., Zupalová H. 1993: Some ecological problems in winter rape cultivation. *Rostlinná Výroba* 39: 385-393.
- Veisz O., Harnos N., Szunics L., Tischner T. 1996: Overwintering of winter cereals in Hungary in the case of global warming. *Euphytica* 92: 249-253.
- Vrkoč F. 1992: Contribution of some factors to the development of crop production in the CSFR. *Scientia Agriculturae Bohemoslovaca* 24 (2): 125-131.
- Vrkoč F., Suškevič M. 1990: Contributions of some controllable and uncontrollable factors to the yield of sugar-beet. *Rostlinná Výroba* 36: 1019-1024.
- Vrkoč F., Suškevič M., Skála J. 1990: Contributions of controllable and uncontrollable factors to the yields of winter-wheat and winter-barley. *Rostlinná Výroba* 36: 909-917.
- Vrkoč F., Vach M., Veleta V., Košner J. 2002: Influence of different organic mineral fertilization on the yield structure and on changes of soil properties. *Rostlinná Výroba* 48: 212-216.
- Czech Statistical Office (CSO) 1998: Past and present of agriculture through statistics. 48 p. *Statistické ročenky.*
- ÚKZÚZ: Výsledky státních odrůdových zkoušek (obilniny 1993, ječmen 1994, 1995, ozimá řepka 1995).

Obsah:

Úvod	1
Materiál a metody	1
Výsledky	3
Dynamika výnosů	3
Období snižování výnosů	4
Období zvyšování výnosů	5
Adaptabilita jednotlivých plodin k úrodnosti ročníků	6
Změny klimatu	7
Vliv počasí na výnosy	8
Vliv hnojení minerálními hnojivy na výnosy	9
Podíl minerálních hnojiv na zvyšování výnosů	10
Přírůstky výnosů při různých dávkách hnojení	11
Vliv počasí na využití živin z minerálních hnojiv	12
Odhad využití dodaného minerálního dusíku výnosem	13
Faktorová analýza výnosů, hnojení a počasí	14
Diskuse	14
Faktory, ovlivňující výnosy	14
Adaptabilita plodin	15
Dlouhodobé změny počasí	15
Vliv ročníku a počasí	15
Vliv odrůdy	15
Vliv hnojení	16
Jiné vlivy	17
Souhrn	17
Závěr	19
Literatura	20