

Výnosy ječmene setého v klimatických podmínkách České republiky

Yields of Spring Barley in the Climatic Conditions of the Czech Republic

Bronislava MUŽÍKOVÁ^{1,2}, Tomáš STŘEDA^{1,2}, Pavlína KRMELOVÁ¹, Olga DVOŘÁČKOVÁ³

¹Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno / *Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno*

²Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Křofтова 43, 616 67 Brno / *Czech hydrometeorological Institute, Brno branch, Křofтова 43, 616 67 Brno*

³Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Hroznová 2, 656 06 Brno / *Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Hroznová 2, 656 06 Brno*

e-mail: bronslava.muzikova@mendelu.cz

Recenzovaný článek / *Reviewed paper*

Mužíková, B. – Středa, T. – Krmelová, P. – Dvořáčková, O.: Výnosy ječmene setého v klimatických podmínkách České republiky.

Kvasny Prum. 59, 2013, č. 12, s. 352–357

Výnosy ječmene jarního a kolísání zásoby vody v půdě v období kritickém z hlediska tvorby výnosu ječmene v ČR bylo vyhodnoceno za období 1975–2010. Na většině lokalit byl zjištěn statisticky průkazný vztah mezi výnosem zrna a zásobou půdní vody v různých fázích vegetace, na některých lokalitách vysoce průkazný vztah. Statisticky průkazný vztah byl zjištěn také při hodnocení průměrných hodnot zásoby půdní vody a průměrného výnosu v roce napříč stanicemi. Při hodnocení celosezónní průměrné zásoby půdní vody a výnosu byl zjištěn statisticky průkazný (až vysoce průkazný) vliv ročníků 1976, 1981, 1985, 1986, 1995, 1996, 2000, 2004, 2007, 2009 a 2010. V posledním desetiletí přibyl počet vegetačních sezón s průkazným vlivem vláhových poměrů na výnos ječmene v různých výrobních oblastech.

Mužíková, B. – Středa, T. – Krmelová, P. – Dvořáčková, O.: Yields of spring barley in the climatic conditions of the Czech Republic.

Kvasny Prum. 59, 2013, No. 12, p. 352–357

Yields of spring barley and fluctuations in soil water in the critical period in terms of barley yield in the Czech Republic were evaluated for the period 1975–2010. On most sites there was statistically significant relationships between grain yield and soil water in different stages of vegetation; in some locations highly significant relationship. Statistically significant relationship was also found when evaluating average values of soil water and the average income in across stations. When evaluating the season-average soil water and yield a statistically significant (up to highly significant) effect of year 1976, 1981, 1985, 1986, 1995, 1996, 2000, 2004, 2007, 2009 and 2010 was found. In last decade the number of growing seasons with a demonstrable influence of moisture conditions on barley yield increased in different production areas.

Mužíková, B. – Středa, T. – Krmelová, P. – Dvořáčková, O.: Die Erträge der Sommergerste unter klimatischen Bedingungen in der Tschechischen Republik. Kvasny Prum. 59, 2013, Nr. 12, S. 352–357

Es wurden die Erträge der Sommergerstenernte und die Schwankung des Wasserinhalts im Boden in der für die Schöpfung der Gerstenernteerträge kritischen Periode im Zeitraum 1975–2010 ausgewertet. Weiterhin in den meisten Lokalitäten wurde es eine statistisch signifikante Beziehung zwischen dem Kornertrag und der Bodenwassermenge in den verschiedenen Vegetationsphasen, in einigen Lokalitäten sogar einer großen Bedeutung ermittelt. Eine statistisch signifikante Beziehung wurde auch bei der Auswertung der durchschnittlichen Bodenwassermenge und des durchschnittlichen Ernteertrag im Jahre quer durch die Stationen festgestellt. In den Jahren 1976, 1981, 1985, 1986, 1995, 1996, 2000, 2004, 2007, 2009 und 2010 wurde bei der Auswertung der während der ganzen Saisonen durchschnittlichen Wassermenge und des Kornertrages eine statistisch signifikante Beziehung (in einigen Fällen hoch signifikante Beziehung) festgestellt. In den letzten Jahren in verschiedenen Anbaugebieten ist die Zahl der Vegetationsperioden mit der signifikanten Wirkung von Bodenfeuchte auf den Gerstenertrag hochgestiegen.

Klíčová slova: AVISO, vlhkost půdy, ječmen

Keywords: AVISO, soil moisture, barley

1 ÚVOD

Mnoho agroklimatologických studií se zaměřuje na vyjádření vztahu mezi růstem či výnosy plodin vzhledem k proměnlivosti klimatu. V souvislosti se stresujícími účinky na výnos a kvalitu produkce má pro pěstitele největší význam případný výskyt tzv. agronomického sucha. To je obecně definováno jako stav, kdy je množství vláhy v půdě nižší, než je potřeba rostlin (Blinka, 2005) a také je často chápáno jako pokles půdní vlhkosti pod bod trvalého vadnutí (tj. cca -1,5 MPa), kdy se zastaví příjem vody a rostliny již nerostou. Stres však nastává již při velmi malých ztrátách vody, kdy turgor klesne jen o 0,1–0,2 MPa. To má za následek zavírání průduchů listů a snížení rychlosti fotosyntézy (Kincel a Krpeš, 2000). Dopady závisí na délce trvání stresu a dalších faktorech.

Změny klimatu v Evropě od roku 1990 byly nepříznivé pro výnosy obilovin kvůli tepelnému stresu při plnění zrna a suchu během růstu stonku (Brisson et al., 2010). Výskyt sucha při setí a během vegetačních fází růstu obilnin má vliv na vzcházení porostu a následnou redukci odnoží. Sucho během generativních fází má vliv na redukci počtu založených klásků a zrn. Kritickým obdobím je kvetení, kdy má nedostatek vody horší dopad než v jiných fázích vývoje. Dalším kritickým obdobím je fáze počátku tvorby zrna, kdy se rozhoduje o počtu buněk v endospermu. Ve fázi nalévání zrna vodní stres

1 INTRODUCTION

Many agroclimatological studies focus on the expression of the relationship between growth and crop yields due to climate variability. In connection with the stressful effects on yield and quality is eventual presence of so-called agronomic drought the most important for growers. This is generally defined as a condition when the amount of moisture in the soil is less than the plant needs (Blinka, 2005) and is often seen as a decrease in soil moisture under permanent wilting point (about -1.5 MPa), when the intake of water stops and plants no longer grow. Stress, however, arises at very small loss of water when the turgor decreases only about 0.1–0.2 MPa. This has the effect of closing the stomata and reducing the rate of photosynthesis (Kincel and Krpeš, 2000). Impact on yield depends on the duration of stress and other factors.

Climate changes in Europe since 1990 have been unfavorable for cereals yields because of heat stress during grain filling and drought during stem elongation (Brisson et al., 2010). Drought during planting and vegetative growth stages of cereals affects crop germination and subsequent reduction of offshoots. Drought during the generative phase decreases the number of based spikelets and grains. The critical period is flowering, when the water shortage impact is worse than in other stages of development. The next critical stage is the early grain

narušuje proces syntézy a ukládání škrobu a zásobních bílkovin (Haberle et al., 2008). Dle Spitz et al. (2007) se množství využitelné vody k tomu, aby nedošlo ke snížení výnosů, pohybuje podle druhu plodiny a vývojového stádia mezi 45 a 75 % využitelné vodní kapacity (VVK). Jamieson et al. (1995) považují za limitní hodnotu pro ječmen (aniž by došlo k redukci transpirace) vlhkost půdy v kořenové zóně na úrovni 65 % VVK. Doorenbos a Pruitt (1984) uvádějí pro obilniny jako výnosové a kvalitativně nestresující hodnotu 55 % VVK pro všechny růstové fáze, kromě počátku kvetení (45 %) a zrání. Kohut et al. (2010) na základě dlouhodobých hodnot zásoby využitelné půdní vody vyjádřených jako % využitelné vodní kapacity (rozdíl mezi polní vodní kapacitou a bodem vadnutí) zhodnotili vláhové podmínky v ČR za období 1961–2000. Z výsledků analýzy vyplynulo, že během vyhodnoceného období docházelo ke zhoršování vláhové situace a desetiletí 1991–2000 se z hlediska vláhových podmínek obecně jeví jako nejméně příznivé. Pro nejnižší polohy do cca 300 m n. m. jsou charakteristické dlouhodobé hodnoty pod 45 % VVK, pro střední polohy do 600 m n. m. hodnoty do 60 % VVK.

Dopad jednotlivých epizod sucha, které se projeví snížením výnosů zemědělských plodin, ovlivňuje kromě samotné délky a intenzity meteorologického sucha i období výskytu. Každá epizoda je proto unikátní nejen svým průběhem, ale i následky (Brázdil a Kirchner, 2007). Studie Hlavinky et al. (2009), která srovnávala citlivost plodin vůči vodnímu stresu ve vegetačním období (1961–2000), ukázala, že sucho výrazně snižuje výnos jarního ječmene oproti výnosu ozimé pšenice. Klimešová (2012) na základě nádobových pokusů analyzovala vliv různých stresových podmínek na produkci nadzemní i podzemní biomasy ječmene. Větší hmotnost sušiny nadzemní biomasy byla zjištěna u jedinců pěstovaných v dostatečných vláhových podmínkách a v mírném stresu ve srovnání s rostlinami v přirozených vláhových nebo silně stresových podmínkách. Přirozený průběh počasí a tedy vystavení vláhovému kolísání bylo pro rostliny patrně více stresující než udržování dlouhodobého stabilního mírného vláhového stresu.

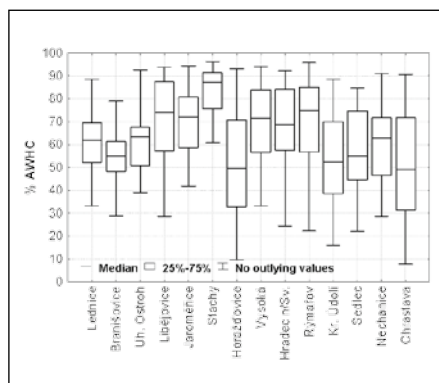
2 MATERIÁL A METODY

Pro zjištění vlivu vláhových podmínek na produkci ječmene jarního byla použita data o výnosech zrna z 14 pokusných stanic Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ), a to za období 1975–2010. Vyhodnocení bylo z důvodu absence výnosových dat v devadesátých letech rozděleno na dvě časově srovnatelná období 1975–1990 a 1995–2010.

Stanice byly lokalizovány ve všech zemědělských výrobních oblastech definovaných Němcem (2001) – kukuřičné (KVO), řepařské (RVO), obilnářské (OVO), bramborářské (BVO) a pícninářské (PVO), v nadmořské výšce od 171 do 647 m n. m., s průměrnou roční teplotou od 6,3 do 9,6 °C a ročními srážkovými úhry od 435 do 738 mm. Agrotechnika byla srovnatelná (předplodina, hnojení) a odrůdová skladba v daném roce v rámci pokusů ÚKZÚZ identická. Hodnoceny byly pouze výnosy v letech, kdy byly do osevního postupu zařazeny vhodné předplodiny (nejčastěji okopaniny) z 1. pěstelského systému ÚKZÚZ (tj. méně intenzivní systém s omezenou aplikací fungicidů).

Zásoby využitelné půdní vody v zájmových oblastech byly vypočteny agrometeorologickým modelem AVISO (Kohut et al., 2010). Výchozím vztahem modelu AVISO je výpočet potenciální evapotranspirace (ET) porostu ječmene jarního, což je ztrátový člen v rovnici vodní bilance, metodou podle Penman–Monteithovy úplné kombinované rovnice s korekcí na teplotu vypařujícího povrchu a s vyjádřením vlhkosti vzduchu pomocí tlaku vodní páry na území České republiky v horizontu let 1975–2010. Model AVISO je založen na bázi modelu MORECS (Hough et al., 1997), od něhož se liší řadou programových úprav, které byly provedeny na základě experimentálních měření. Vstupy jsou denní údaje základních meteorologických prvků (teplota a vlhkost vzduchu, trvání slunečního svitu, rychlost větru a srážky).

Jedním z výstupů modelu je aktuální deficit půdní vody, který charakterizuje množství vody v půdě, chybějící do hydrolimitu polní vodní kapacity. Odvozenou charakteristikou je zásoba dostupné půdní vody v procentech využitelné vodní kapacity (% VVK). Použity byly



Obr. 1 Průměrné hodnoty % VVK na pokusných stanicích ÚKZÚZ za období 1975–2010 / Fig. 1 Average AWHC values at UKZUZ experiment stations in period 1975–2010

formation phase when the number of cells in the endosperm is determined. During the stage of seed filling the water stress disrupts the process of synthesis and storage of starch and storage proteins (Haberle et al., 2008). According to Spitz et al. (2007), the amount of usable water to avoid yield losses, varies according to crop species and development stage between 45 and 75% AWHC (available water holding capacity). Jamieson et al. (1995) considered 65% of AWHC the limit soil moisture value for barley (without reducing transpiration) in the root zone. Doorenbos and Pruitt (1984) reported that value 55% of AWHC as income and qualitatively stress-free for all growth phases for cereals, except early flowering (45%) and maturing. Kohut et al. (2010) evaluated the moisture conditions in the Czech Republic for the period 1961–2000 based on long-term values of usable soil water

ter expressed as % of AWHC (difference between field water capacity and wilting point). The results of the analysis showed that during the assessed period, there was a worsening of the situation and the decade 1991–2000 in terms of moisture conditions generally appeared to be the least favorable. The lowest altitude up to 300 m above sea level is characterized by long-term value below 45% of AWHC, the middle altitude to 600 m above sea level by value to 60% of AWHC.

The impact of drought episodes, which depress crop yields, is affected by actual length and the intensity of meteorological drought and periods of occurrence. Each episode is unique not only because of its course, but also because of the consequences (Brázdil and Kirchner, 2007). The study of Hlavinka et al. (2009), that compared the sensitivity of plants to water stress during the growing season (1961–2000), showed that drought affected spring crops more than winter crops. Klimešová (2012) analyzed the effect of different stress conditions on the production of above and below ground biomass of barley on the basis of pot experiments. Increased dry weight of shoot biomass was observed by individuals grown in sufficient moisture and slight stressful conditions in comparison with the plants in natural moisture or stressful conditions. The natural course of weather and therefore exposition to moisture fluctuations was probably more stressful for plants than maintaining a long-term stable slight water stress.

2 MATERIAL AND METHODS

To determine the effect of moisture conditions on the production of spring barley the grain yield data from 14 experimental stations of the Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture (UKZUZ) for the period 1975–2010 were used. In case of absence of income data in any year this period was interrupted in some locations. Therefore the evaluation is divided into two comparable time periods 1975–1990 and 1995–2010.

Stations were chosen in all agricultural production areas defined by Nemec (2001) – maize (KVO), sugar beet (RVO), cereal (OVO), potato (BVO) and forage (PVO), at altitude 171–647 meters above sea level, with average annual temperature from 6.3 to 9.6 °C and annual precipitation totals from 435 to 738 mm. Agrotechnics were comparable (forecrop, fertilization) and varieties were identical in attempt of UKZUZ in given year. Incomes were evaluated only in the years when suitable forecrops (mostly root crops) of the first UKZUZ growing system (i.e. less intensive system with reduced fungicide applications) were included in the cropping pattern.

Usable soil water reserves in areas of interest were calculated by agrometeorologic model AVISO (Kohut et al., 2010). The default relationship of the model is to calculate potential evapotranspiration (ET) of spring barley stands (which is a loss element in the water balance equation) using the method of total combined Penman–Monteith equation corrected for evaporating surface temperature and with expression of humidity using a water vapor pressure in the Czech Republic for the period 1975–2010. Model AVISO is based on MORECS model (Hough et al., 1997), which differs from a number of program changes that were made on the basis of experimental measurements. Inputs are daily data of basic meteorological parameters (air temperature, air humidity, sunshine duration, wind speed and precipitation).

One of the model outputs is the current soil water deficit that characterizes the amount of soil water missing in field water capacity hy-

denní hodnoty zásoby půdní vláhy v % VVK. Vstupní data pro výpočet průměrných hodnot pro jednotlivá období byly technické řady 768 gridových bodů síť 10 × 10 km zpracované na Českém hydrometeorologickém ústavu pro období 1961–2011. Pro zpracování roku 2012 byly použity denní hodnoty zásoby půdní vláhy ze 135 stanic používaných pro provoz modelu AVISO.

Pro jednotlivé gridové body popřípadě stanice byly spočítány průměrné hodnoty za období 111.–180. den v roce, tj. během hlavní vegetace ječmene. Na základě těchto hodnot byly v prostředí GIS provedeny plošné interpolace na území ČR (využito bylo interpolační metody Kriging s upřesněním na nadmořskou výšku). Vzniklé rastrové mapové podklady s prostorovým rozlišením 500 × 500 m byly pomocí zvoleného intervalu 10 % VVK rozkategorizovány a byly vytvořeny tematické mapy zásoby půdní vláhy za daná období.

Výnosy zrna byly konfrontovány s dekádními průměry VVK od 111. do 180. dne v roce a s průměrnou sezónní VVK pro danou stanici. Těsnost vztahu byla vyjádřena prostřednictvím korelačního koeficientu.

Pokusné stanice ÚKZÚZ jsou uvedeny v tab. 1.

3 VÝSLEDKY A DISKUSE

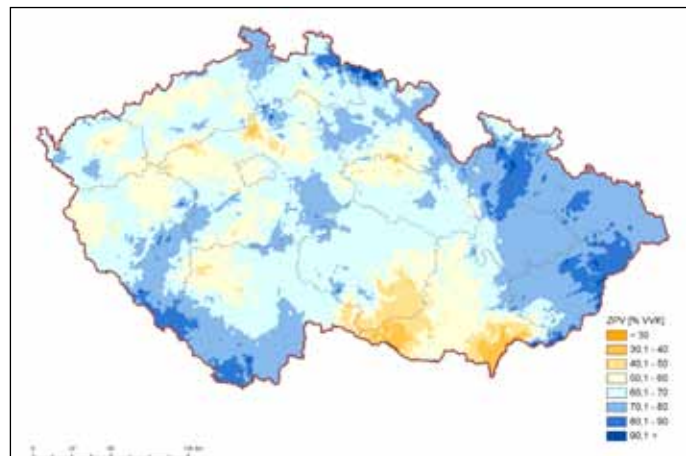
Z výstupů modelu AVISO bylo v dlouhodobém horizontu zjištěno výrazné kolísání zásoby vody v půdě ve vegetačním období ječmene jarního (obr. 1). Průměrná sezónní hodnota % VVK za období 1975–2010 se na vybraných 14 stanicích pohybuje od 52,0 do 83,5 %.

Nejvyšší průměrná dlouhodobá hodnota zásoby půdní vody byla zjištěna na nejvýše položené lokalitě Stachy (83,5 % VVK), nejnižší průměrná hodnota však byla zjištěna u lokality Horažďovice (52,0 %) ve střední nadmořské výšce. Maximální hodnota (v % VVK) za dekádu od 111. do 180. dne byla rovněž zjištěna na stanici Stachy (96,2 % v roce 1987) a nejnižší v Chrastavě (rok 2007), a to pouhých 7,8 %. Vláhové nejméně příznivý byl rok 2000, kdy byla na 5 lokalitách zaznamenána nejnižší hodnota VVK za dekádu v daném období. Avšak vláhové nepříznivé byly také roky 2007, 2003 a 1998. Nejvyšší hodnoty VVK byly dosahovány v letech 2010 a 1987, tyto roky byly vláhově nejbohatší.

Z hlediska výnosů zrna (tab. 2) se jeví jako nejlepší rok 2004, kdy byl na 4 lokalitách zaznamenán nejvyšší výnos. Výnosově nejméně příznivý rok je obtížné najít, neboť na každé lokalitě to byl jiný rok. Pouze v roce 2007 byl zjištěn nejnižší výnos na dvou lokalitách. Tento rok byl také vláhově velice nepříznivý. Rovněž v letech 2003, 1998 a 2000 (roky s nízkou průměrnou hodnotou VVK) byly na některých lokalitách zaznamenány nejnižší výnosy.

Nejvyšších průměrných výnosů bylo v období 1975–2010 dosahováno na lokalitách Sedlec (ŘVO), Lednice (KVO) a Jaroměřice (OVO), ačkoli v letech suchých i zde výrazně klesají. Nejnižší průměrný výnos byl zjištěn v bramborářské výrobní oblasti na lokalitě Vysoká na Příbramsku (5,35 t). Nejmenší roční výnos ječmene byl zjištěn rovněž na stanici Vysoká (3,03 t) v roce 1982, ale také na stanici Lednice (KVO) v roce 2007 (3,12 t). Rok 2007 byl zejména v kukuřičné výrobní oblasti pro pěstování jarního ječmene velmi nepříznivý, stejně jako rok 2012, kdy především jižní Moravu trápilo sucho a mnoho zasetých plodin bylo zoraženo.

Mapa vytvořená na základě průměrných hodnot VVK za období 1975–1990 od 111. do 180. dne roku (obr. 2) vyjadřuje vláhové roz-



Obr. 2 Zásoba půdní vody v % VVK za období 1975–1990, dlouhodobý průměr za období 111.–180. dne v roce / Fig. 2 Soil water reserve in % AWHC for period 1975–1990, long term average from 111th to 180th day in year

Tab. 1 Charakteristika vybraných stanic ÚKZÚZ (zdroj: Horáková et al., 2011) / Characteristics of chosen UKZUZ stations (source: Horáková et al., 2011)

Stanice/Locality	Nadm.výška / Elevation (m)	Tavg (°C)	SRA (mm)	VO
Lednice	171	9.6	461	KVO
Branišovice	190	8.8	460	KVO
Uherský Ostroh	196	9.1	521	KVO
Nechanice	235	8.8	597	ŘVO
Rýmařov	602	6.5	751	ŘVO
Sedlec	300	8.9	520	ŘVO
Libějovice	460	7.9	563	OVO
Jaroměřice nad Rokytou	425	8.0	471	OVO
Chrastava	345	8.0	738	OVO
Vysoká	585	7.1	611	BVO
Horažďovice	475	7.8	585	BVO
Hradec nad Svitavou	450	7.4	616	BVO
Stachy	738	6.1	755	PVO
Krásné Údolí	647	6.3	602	PVO

Vysvětlivky: Tavg – průměrná roční teplota vzduchu, SRA – průměrný roční úhrn srážek, VO – výrobní oblast / Explanatory Notes: Tavg – the average annual air temperature, SRA – average annual rainfall, VO – production area

drolimit. Derived characteristics is the reserve of available soil water in the percentage of available water holding capacity (% AWHC). Daily values of available soil water reserve in the % AWHC were used. The input data for the calculation of average values for each period come from technical series of 768 grid points in the network 10 × 10 km processed for period 1961–2011 in the Czech Hydro-meteorological Institute. For the processing of the year 2012 daily values of soil moisture reserves of 135 stations used for the model AVISO were used.

For individual grid points or stations average values for the period from 111th to 180th day of the year (i.e. during the main vegetation period of barley) were calculated. On the basis of these values an areal interpolation for the Czech Republic (using Kriging interpolation method, specifying the altitude) was performed within the GIS. The resulting raster maps with a spatial resolution of 500 × 500 m intervals were categorized in 10% (AWHC) intervals and thematic maps of soil moisture reserves for the period were created.

Grain yields were confronted with decade averages of AWHC from 111th to 180th day of the year with an average seasonal AWHC for the station. The tightness of the relationship was expressed by the correlation coefficient.

Experimental stations UKZUZ are listed in Tab. 1.

2 RESULTS AND DISCUSSION

In the long term, significant fluctuations in soil water during the growing season of spring barley were found from the model AVISO outputs (Fig. 1). The average value of seasonal AWHC for the period 1975–2010 at 14 selected stations ranges from 52.0 to 83.5%.

The highest average value of long term soil water was found at the highest locality Stachy (83.5% AWHC), the lowest average value was found at the site Horažďovice (52.0%) at moderate altitude. Maximum value (in % AWHC) per decade from 111th to 180th day was also detected at the station Stachy (96.2% in 1987) and lowest in Chrastava (2007), 7.8%. From the viewpoint of moisture the worst year was 2000, when at 5 locations the lowest value of AWHC per decade was recorded. However, negative were also the years 2007, 2003 and 1998. The highest values of AWHC were achieved in 2010 and 1987, these years were richest in terms of moisture.

In terms of the highest yields (Tab. 2) 2004 appears to be the best year, when the highest yield was achieved at four stations. The worst year is difficult to find, as in every area that was another year. Only in 2007 the lowest yield was registered at two locations. This year

Tab. 2 Průměrné, maximální a minimální roční výnosy ječmene setého na vybraných stanicích za období 1975–2010 / Average, maximum and minimum annual yield (per ha) at chosen stations for period 1975–2010

Stanice / Locality	MAX	Rok / Year	MIN	rok / Year	Průměr / Average
Lednice	9.19	1989	3.12	2007	6.63
Branišovice	8.15	2004	3.54	2007	6.42
Uherský Ostroh	7.33	1998	3.99	2000	5.76
Libějovice	8.32	1978	4.44	2003	6.14
Jaroměřice n. Rokytnou	7.39	1983	5.43	1988	6.59
Stachy	8.08	1990	3.53	1989	6.11
Horáždovice	8.19	1985	3.66	1976	6.08
Vysoká	8.58	2004	3.03	1982	5.35
Hradec n/Sv.	8.47	2003	4.70	2008	5.73
Rýmařov	7.96	1990	3.36	1998	5.94
Krásné Údolí	7.67	1985	4.35	2001	6.04
Sedlec	9.09	2004	4.01	1976	6.72
Nechanice	9.76	1990	4.98	1983	6.44
Chrastava	7.94	2004	3.53	2008	5.70

díly mezi různými oblastmi České republiky. Severní část Moravy, Vysočina a obecně oblast pohraničních pohoří vykazují průměrné dlouhodobé hodnoty VVK nad 60 %, zatímco na jižní Moravě a v různých oblastech střední části Čech není tato hodnota v dlouhodobém průměru dosahována.

Při srovnání s obdobím 1995–2010 (obr. 3) se však období 1975–1990 jeví jako vláhově příznivější. Patrný je úbytek ploch s průměrnou dlouhodobou zásobou půdní vody vyšší než 60 % v období blíže současnosti. To se týká zejména severní Moravy, ale také např. Vysočiny. Naopak je zřejmý nárůst ploch s průměrnou hodnotou zásoby půdní vody pod 50 % VVK, a to nejen na jižní Moravě, ale i na mnoha místech v Čechách.

Rok 2012 byl především na Moravě rokem vláhově mimořádně nepříznivým. Vlhkost půdy klesala k hodnotám bodu vadnutí. Z pohledu zásob půdní vody se celá jižní Morava i střední Čechy, tedy nejúrodnější oblasti, potýkaly s velmi nízkými hodnotami. Průměrná hodnota za vegetační období (od 111. do 180. dne roku) v těchto oblastech nepřesáhla 50 %, na poměrně velkém území však ani 30 % VVK (obr. 4). Takový stav je výrazně pod hodnotami příznivými pro pěstování ječmene jarního. S ohledem na vývoj klimatu, respektive jeho rostoucí extemitu, lze do budoucna pravděpodobně očekávat růst počtu takto nepříznivých vegetačních sezon. Nutná je proto specifikace a příprava adaptačních opatření, např. v podobě šlechtění odrůd odolných suchu.

V rámci podrobných analýz byla hodnocena těsnost vztahu mezi hodnotami VVK za dekádu a výnosem zrna ječmene za období 1975–2010 (tab. 3). Vztah byl vymezen prostřednictvím korelačního

was very unfavorable also in terms of soil moisture. Further, in 1998, 2000 and 2003 (years with low average value of AWHC) were also recorded the lowest yields at some locations.

The highest average yield in the period 1975–2010 was achieved in the areas of Sedlec (RVO), Lednice (CVD) and Jaroměřice (OVO), although in dry years it decreases there considerably too. The lowest average yield was detected in potato production area at station Vysoka near Pribram (5.35 t). The minimum annual yield of barley was also detected at the station Vysoka (3.03 t) in 1982, but also at the station Lednice (CVD) in 2007 (3.12 t). The year 2007 was very unfavorable for the cultivation of spring barley particularly in corn production areas, as well as the year 2012 when mainly southern Moravia was plagued by drought and a lot of sown crops were plowed in.

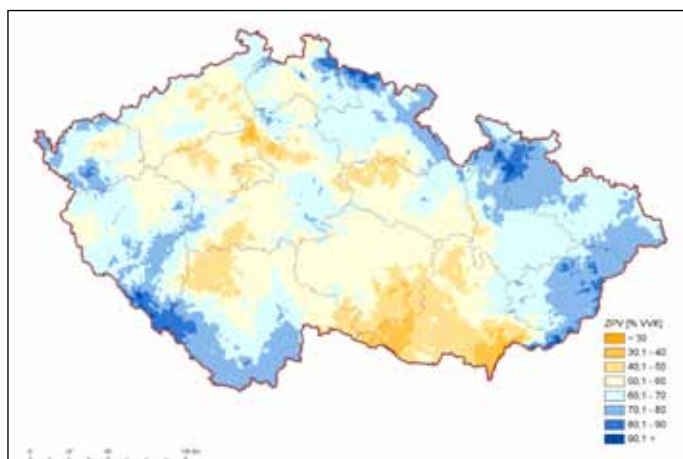
The map created on the basis of average values of AWHC for period 1975–1990 from 111th to 180th day of the year (Fig. 2) indicates the moisture differences between different areas of the Czech Republic. North Moravia, Moravian Highlands and the border mountains in general have average long-term values of AWHC above 60%, while in South Moravia and in different regions of Central Bohemia, this value is not achieved in the long term average.

When compared with the period 1995–2010 (Fig. 3), the period 1975–1990 appears as more moisture favorable. Noticeable is the decrease of areas with long-term average soil water higher than 60% in the period closer to the present. This concerns particularly north Moravia, but also the Moravian Highlands. Other way round, there is an obvious increase of area with the average soil water below 50% of AWHC, not only in South Moravia, but also in many areas in Bohemia.

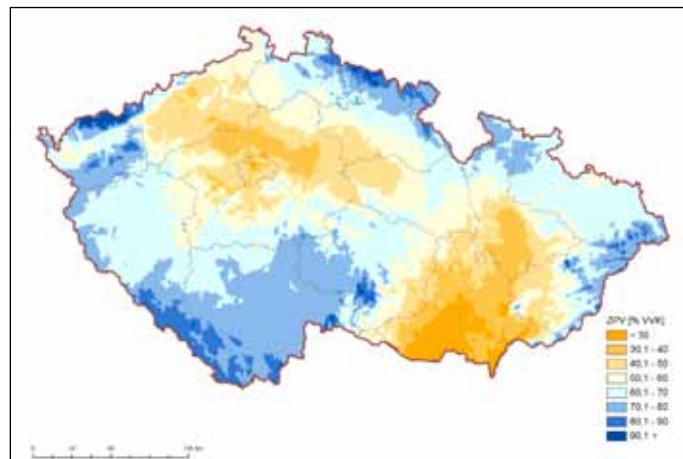
The year 2012 was extremely unfavorable from the viewpoint of moisture mainly in Moravia. Soil moisture declined to wilting point. Both southern Moravia and Central Bohemia, the most fertile areas, faced very low values of soil water. The average value for the growing season (from 111th to 180th day of the year) in these areas did not exceed 50%, however, in relatively large area even 30% of AWHC. Such a state was considerably below the favorable values for cultivation of spring barley. With regard to climate change, or the increasing extremity in the future it is likely to expect an increase of number of such adverse growing seasons. What is needed is a specification and development of adaptation measures, e.g. in the form of varieties resistant to drought.

The closeness of relationships between the values of AWHC for a decade and barley grain yield for the period 1975–2010 was assessed by detailed analysis (Tab. 3). The relationship was defined by correlation coefficient. Statistically significant ($\alpha = 0.05$) or highly significant ($\alpha = 0.01$) relationship was found in various phases of vegetation. This is due to differences in water regime of sites.

From 14 UKZUZ experimental stations the correlation between yield and AWHC (Fig. 4) was found at 9 stations. At stations Lednice, Branišovice, Libějovice, Jaroměřice nad Rokytnou, Krásné Údolí, Chrastava, Vysoká, Rýmařov and Sedlec statistically significant positive dependence was found, either 99% or 95% probability. For the station Nechanice in the floodplain of the River Elbe and foothill stations Rýmařov and Stachy dependence was negative in some decades.



Obr. 3 Zásoba půdní vody v % VVK za období 1995–2010, dlouhodobý průměr za období 111.–180. dne v roce / Fig. 3 Soil water reserve in % AWHC for period 1995–2010, long term average from 111th to 180th day in year



Obr. 4 Zásoba půdní vody v % VVK za rok 2012, průměr za období 111.–180. dne v roce / Fig. 4 Soil water reserve in % AWHC in 2012, average from 111th to 180th day in year

Tab. 3 Vztah mezi VVK a výnosem ječmene na vybraných lokalitách za období 1975–2010 / Relationship between AWHC and barley yield in selected areas for the period 1975–2010

Dekáda / Decade	LED	BRA	UHO	LIB	JAR	STA	HOR	VYS	HRA	RYM	KRU	SED	NECH	CHRA
111–120	0.289	*0.591	0.032	0.339	*0.540	0.206	0.088	0.118	0.252	*0.629	0.059	*0.454	0.217	0.269
121–130	0.370	0.467	0.027	*0.464	*0.525	-0.189	0.173	*0.440	0.257	0.024	*0.392	*0.387	-0.043	0.351
131–140	0.414	0.390	0.015	0.398	0.442	-0.118	0.168	*0.473	0.509	-0.057	0.125	*0.456	0.239	0.450
141–150	0.376	0.357	0.034	*0.491	0.428	0.210	0.313	*0.414	0.280	-0.097	-0.095	*0.449	0.136	0.318
151–160	0.429	0.206	0.133	*0.520	0.114	-0.105	0.221	*0.449	-0.084	0.126	-0.180	0.306	0.110	0.308
161–170	*0.478	0.126	0.264	0.221	0.037	0.199	0.257	**0.602	-0.195	0.344	0.096	0.211	0.017	0.226
171–180	*0.483	0.223	0.304	0.223	0.180	0.447	0.280	**0.646	-0.212	0.149	*0.404	0.175	-0.138	0.064

Legenda k tabulce: / Legend of table:

** statisticky vysoce průkazný vztah / statistically highly significant relationship

* statisticky průkazný vztah / statistically significant relationship

Vysvětlení zkratk použitých v tabulce: LED–Lednice, BRA–Branišovice, UHO–Uherský Ostroh, LIB–Libějovice, JAR–Jaroměřice nad Rokytou, HOR–Horaždovice, VYS–Vysoká, HRA–Hradec n. Svitavou, RYM–Rýmařov, KRU–Krásné Údolí, SED–Sedlec, NECH–Nechanice, CHRA–Chrastava / Notes to the table: LED – Lednice, BRA – Branišovice, UHO – Uherský Ostroh, LIB – Libějovice, JAR – Jaroměřice nad Rokytou, HOR – Horaždovice, VYS – Vysoká, HRA – Hradec nad Svitavou, RYM – Rýmařov, KRU – Krásné Údolí, SED – Sedlec, NECH – Nechanice, CHRA – Chrastava

koeficientu. Statisticky průkazný ($\alpha = 0,05$), případně vysoce průkazný ($\alpha = 0,01$) vztah byl zjištěn v různých fázích vegetace. To vyplývá z rozdílného vláhového režimu lokalit.

Ze 14 pokusných stanic ÚKZÚZ byla korelace výnosu a VVK nalezena u 9 stanic. Na stanicích Lednice, Branišovice, Libějovice, Jaroměřice nad Rokytou, Krásné Údolí, Chrastava, Vysoká, Rýmařov a Sedlec byla zjištěna statisticky průkazná pozitivní závislost, a to buď s 99%, nebo 95% pravděpodobností. U stanice Nechanice v nivě řeky Labe a podhorských stanic Rýmařov a Stachy byla závislost v některých dekádách negativní.

Na základě hodnocení průměrných hodnot VVK a průměrného výnosu v daném roce napříč vybranými stanicemi byl zjištěn statisticky průkazný vztah ($r = 0,44$, $\alpha = 0,05$, $n = 31$). To svědčí o vysoké závislosti výnosu ječmene setého na vláhových podmínkách vegetační sezóny.

Pro vybrané stanice byl rovněž vyhodnocen vztah celosezónní průměrné VVK a výnosu v daném roce. Byl zjištěn statisticky průkazný vliv ročníku v letech 1976 (velmi suchý rok), 1981 (suchý rok), roky 1985, 1986 (normální roky), 1995 a 1996 (negativní korelace, vlhké roky), 2000 (suchý rok), 2004 (normální rok), 2007 (velmi suchý rok), 2009 a 2010 (negativní korelace, vlhké roky). Na některých stanicích byl vztah statisticky vysoce průkazný. V posledním desetiletí tedy přibýlo vegetačních sezón s průkazným vlivem vláhových poměrů na výnos ječmene setého v různých výrobních oblastech.

Analýza Hlavinky et al. (2009) ukázala, že jarní forma ječmene je méně odolná vůči vodnímu deficitu než ozimé formy, neboť ozimy vytváří hlubší kořenový systém než jarní obilniny. Stres suchem v průběhu května a června byl významný pro výši výnosu všech zkoumaných obilnin. Na druhou stranu u sucha vyskytujícího se v období od října do března nebyl prokázán negativní vliv na výši výnosu. Lawlor et al. (1981) potvrdili, že časné sucho snižuje počet odnoží i počet zrn v klasech. Pozdní sucho v době tvorby listů a plnění zrna způsobuje stárnutí listů a fotosynteticky aktivní plocha tak ubývá rychleji než u zavlažovaných rostlin. Pozdní sucho negativně ovlivnilo velikost zrn. Dle Samarah (2005) stres způsobený suchem snižoval výnos zrna bez ohledu na závažnost sucha. Suchem vyvolané snížení výnosu plodin pravděpodobně překročilo ztráty ze všech jiných příčin (Farooq et al., 2009). Snížení výnosů jarních obilnin o 45–75 kg/ha při poklesu množství srážek o 10 mm zjistili Peltonen et al. (2011). Martyniak (2008) zjistil nejvyšší hodnoty potřeby vody rostlin ve fázích od sloupkování k metání, v průběhu intenzivního nárůstu biomasy. Během tohoto období rostliny využily až 5 mm vody za den. Sezónní deficit srážek během vegetačního období ve středním Polsku dosáhl -145 a -169 mm u ječmene resp. pšenice. Ve vegetačním období plodiny využily 293–314 mm vody v půdě.

Analýza několika teplotních a srážkových indexů a jejich změn v druhé polovině 20. století v Maďarsku s důrazem na zemědělství, již provedli Pongrácz et al. (2006), ukázala zvýšení regionální intenzity a četnosti extrémních srážek, zatímco srážkový úhrn klesl v regionu a místní klima se vysušilo. Totéž platí i pro oblast České republiky. Nárůst teplotně nadnormálních měsíců a úbytek srážkově normálních měsíců zjistili také Středová et al. (2011). Nárůst extremity do budoucna napříč klimatickými podmínkami i typy krajiny ČR byl zjištěn Mužíkovou et al. (2011).

Based on the assessment of the AWHC average values and average yield in a given year across stations statistically significant relationship ($r = 0,44$, $\alpha = 0,05$, $n = 31$) was found. This indicates a high dependence of barley yield on moisture conditions in the growing season. For the stations the relationship of average seasonal AWHC and average yield in a given year was also assessed. There was a statistically significant dependence in the years: 1976 (dry year), 1981 (dry year), 1985 and 1986 (normal years), 1995 and 1996 (negative correlation, wet years), 2000 (dry year), 2004 (normal year), 2007 (dry year), 2009 and 2010 (negative correlation, wet years). At some stations there was statistically highly significant relationship. In the last decade, therefore, the number of growing seasons with significant influence of moisture conditions on the yield of barley increased in different production areas.

According to study of Hlavinka et al. (2009) drought was one of the key factors influencing variations in interannual yield, which affected spring crops more than winter crops. Drought stress during May and June was significant for amount of yield for all investigated cereals. On the other hand, the drought occurring in the period from October to March did not impact the yield negatively. Lawlor et al. (1981) confirmed that early drought reduces the number of offshoots and number of grains per ear. Late drought at the time of leaves development and grain filling causes leaves aging and photosynthetically active surface decreases faster than by irrigated plants. Late drought negatively affected the grain size. According to Samarah (2005) stress caused by drought reduced grain yield regardless of the severity of drought. Drought-induced losses in crop yields most likely exceed losses from all other causes (Farooq et al., 2009). Spring cereals yields decreased by 45–75 kg/ha due to decreased precipitation by 10 mm (Peltonen et al., 2011). The highest values of water requirements of plants were observed in the stages from shooting to heading, during the intensive increase of biomasses. During this period, the plants utilized up to 5 mm of water per day. Seasonal deficits of precipitation during the growing season in central Poland were -145 and -169 mm for barley and wheat, respectively. In the growing season they utilized from 293 to 314 mm of soil water (Martyniak, 2008).

Analysis of several temperature and precipitation indices and their changes in the second half of the 20th century in Hungary with emphasis on agriculture done by Pongrácz et al. (2006) showed increase of regional intensity and frequency of extreme precipitation, while the total precipitation decreased in the region and the mean climate became drier. This applies also for the Czech Republic. The increase of above normal months and the loss of normal precipitation months were found also by Středová et al. (2011). The increase in extremity in the future across climatic conditions and types of landscapes CR was found by Mužíková et al. (2011).

4 CONCLUSIONS

For chosen localities the average, maximum and minimum yields of spring barley for the period 1975–2010 were evaluated on the basis of available data. Fluctuation of soil water reserves in the criti-

4 ZÁVĚR

Pro vybrané lokality byly na základě dostupných dat vyhodnoceny průměrné, maximální i minimální výnosy ječmene jarního za období 1975–2010. Bylo rovněž vyhodnoceno kolísání zásoby vody v půdě v období kritickým z hlediska vývoje i tvorby výnosu ječmene jarního (111.–180. den roku) v ČR. Byla zjištěna značná variabilita vláhových poměrů stanic ve vegetačním období jednotlivých let zkoumaného období. Nejsuššími roky (s nejnižší hodnotou VVK) byly v pořadí od nejsuššího roky 2007, 2003, 2000, 1976. Velmi suchý byl také rok 2012. Vláhvově nejbohatší byly roky 1987 a 2010. Toto podpořila i teplotní a srážková data.

Hodnoty zásoby půdní vody (% VVK) byly na vybraných stanicích ÚKZÚZ za období 1975–2010 vztaženy k ročnímu hektarovému výnosu ječmene jarního na téže stanici (byl-li v daném roce dostupný) a vztah byl vymezen prostřednictvím korelačního koeficientu. Na většině lokalit byl zjištěn statisticky průkazný vztah mezi výnosem zrna ječmene jarního a % VVK půdy v různých fázích vegetace, na některých lokalitách vysoce průkazný vztah. Statisticky průkazný vztah byl zjištěn také při hodnocení průměrných hodnot zásoby půdní vody a průměrného výnosu v roce napříč stanicemi. To svědčí o vysoké závislosti výnosu ječmene setého na vláhových podmínkách vegetační sezóny a rovněž umožňuje využití modelu AVISO k modelování vlivu počasí na tvorbu výnosu pro libovolnou lokalitu v ČR.

Pro vybrané stanice byl rovněž vyhodnocen vztah celosezónní průměrné VVK a výnosu v daném roce. Byl zjištěn statisticky průkazný vliv ročníku v letech 1976 (velmi suchý rok), 1981 (suchý rok), roky 1985, 1986 (normální roky), 1995 a 1996 (negativní korelace, vlhké roky), 2000 (suchý rok), 2004 (normální rok), 2007 (velmi suchý rok), 2009 a 2010 (negativní korelace, vlhké roky). Na některých stanicích byl vztah statisticky vysoce průkazný. V posledním desetiletí tedy přibýlo vegetačních sezón s průkazným vlivem vláhových poměrů na výnos ječmene setého v různých výrobních oblastech.

PODĚKOVÁNÍ

Príspevek vznikl s podporou projektu NAZV QJ1230056.

LITERATURA/ REFERENCES

- Blinka, P., 2005: Klimatologické hodnocení sucha a suchých období na území České republiky v letech 1876–2002. Meteorologické zprávy, 58(1): 10–19.
- Brázdil, R., Kirchner, K., 2007: Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku: Selected natural extremes and their impacts in Moravia and Silesia. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita, 431 s. ISBN 978-80-210-4173-8.
- Brisson, N., Gate, P., Gouache, D., Charmet, G., Oury, F. X., Hurard, F., 2010: Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. Field Crops Research, 119: 201–212.
- Doorenbos, J., Pruitt, W.O., 1984: Guidelines for predicting crop water requirements. In FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Food and Agriculture Organization, Rome, 1984, s. 144.
- Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S. M. A., 2009: Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev., 29: 185–212.
- Haberle, J., Trčková, M., Růžek, P., 2008: Příčiny nepříznivého působení sucha a dalších abiotických faktorů na příjem a využití živin obilninami a možnosti jeho omezení. Metodika pro praxi. VÚRV. ISBN: 978-80-87011-45-4.
- Hlavinka, P., Trnka, M., Semerádová, D., Dubrovský, M., Žalud, Z., Možný, M., 2009: Effect of drought on yield variability of key crops in Czech Republic. Agricultural and forest meteorology, 149(3–4): 431–442.
- Horáková, V., Dvořáčková, O., Mezlik, T., 2011: Seznam doporučených odrůd 2011. Přehled odrůd 2011: pšenice ozimá, pšenice jarní, ječmen jarní, ječmen ozimý, žito ozimé, tritikale ozimé, oves setý pluchatý, hrách polní: tritikale jarní, oves nahý, bob polní, lupina úzkolistá. 1. vyd. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 237 s. ISBN 978-80-7401-043-9.
- Hough, M., Palmer, S., Weir, A., Lee, M., Barrie, I., 1997: The Meteorological Office Rainfall and Evaporation Calculation System: MO-RECS version 2.0. Meteorological Office Bracknell, Meteorological Office Wolverhampton, Bracknell, 1997, 82 s.
- Jamieson, P. D., Francis, G. S., Wilson, D. R., Martin, R. J., 1995: Effects of water deficits on evapotranspiration from barley. Agricultural and Forest Meteorology, 76: 41–58.
- Kincl, M., Krpeš, V., 2000: Základy fyziologie rostlin. 2. vyd. Montanex, Ostrava. ISBN 80-7225-041-8.
- Klímešová, J., Hajzler, M., Středa, T., Kolářková, A., 2012: Produkce nadzemní a podzemní biomasy odrůd ječmene jarního v závislosti

cal period in terms of the development and yield formation of spring barley (111th–180th day) in the Czech Republic was also evaluated. Significant variability of moisture conditions at the stations in growing seasons of analysed period was found. Driest years were (in order from the driest year) 2007, 2003, 2000 and 1976. The year 2012 was also very dry but it was not analysed in detail. The moisture richest years were 1987 and 2010. This was confirmed by the temperature and precipitation data.

The values of soil water (%AWHC) at chosen stations for the period 1975–2010 were related to annual spring barley yield per hectare at the same station (if available in the given year), and the relationship was defined by correlation coefficient. On most sites statistically significant relationship was found between grain yield of spring barley and % AWHC of soil in various stages of vegetation; at some localities highly significant relationship. Statistically significant relationship was also found when evaluating average values of soil water and average yields in a single year across stations. This indicates a high dependence of barley yield on moisture conditions in growing season and also allows to use the model AVISO to model the influence of weather on yield formation for any location in the country.

For the selected stations relationship between average AWHC and yield in a given year was also assessed. Statistically significant effect of the year was determined in 1976 (dry year), 1981 (dry year), 1985 and 1986 (normal years), 1995 and 1996 (negative correlation, wet years), 2000 (dry year), 2004 (normal year), 2007 (a dry year), 2009 and 2010 (negative correlation, wet years). At some stations there was statistically highly significant relationship. In the last decade, therefore, the number of growing seasons with demonstrable influence moisture conditions on the yield of barley increased in different production areas.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the National Agency for Agricultural Research, project QJ1230056.

- na vláhových podmínkách. In Rožnovský, J., Litschmann, T., Středa, T., Středová, H. Vláhvové poměry krajiny. 1. vyd. Český hydrometeorologický ústav, Praha: 60–63. ISBN 978-80-86690-78-0.
- Kohut, M., Rožnovský, J., Chuchma, F., 2010: Dlouhodobá zásoba využitelné půdní vody a její variabilita na území České republiky. In: Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Voda v krajině“. Lednice 31.5.–1.6.2010, s. 35–46. ISBN 978-80-86690-79-7.
- Lawlor, D. W., Day, W., Johnston, A. E., Legg, B. J., Parkinson, K. J., 1981: Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and nutrient content. The Journal of Agricultural Science, 96:167–186. DOI:10.1017/S002185960003197X.
- Martyniak, L., 2008: Response of spring cereals to a deficit of atmospheric precipitation in the particular stages of plant growth and development. Agricultural Water Management, 95: 171–178.
- Mužiková, B., Vlček, V., Středa, T., 2011: Tendencies of climatic extremes occurrence in different Moravian regions and landscape types. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, LIX (5): 169–178.
- Němec, J., 2001: Bonitace a oceňování zemědělské půdy České republiky. Výzkumný ústav zemědělské ekonomiky, Praha, 260 s.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K., 2011: Crop responses to temperature and precipitation according to long-term multi-location trials at high-latitude conditions. Journal of Agricultural Science 149: 49–62.
- Pongrácz, R., Bartholy, J., 2006: Tendency Analysis of Extreme Climate Indices with Special Emphasis on Agricultural Impacts. In Bioklimatológia a voda v krajine. Medzinárodná vedecká konferencia, Strečno, 11. – 14. 9. 2006. CD-ROM.
- Samarah, N. H., 2005: Effects of drought stress on growth and yield of barley. Agronomy for Sustainable Development, 25: 145–149. DOI: <http://dx.doi.org/10.1051/agro:2004064>
- Spitz, P., Zavadil, J., Hemerka, I., 2007: Metodika řízení závlahového režimu plodin výpočetním programem ZAPROG 1. VÚMOP, Praha, 32 s.
- Středová, H., Středa, T., Mužiková, B., 2011: Trend teplotních a srážkových podmínek v zemědělsky intenzivních oblastech. Úroda, vědecká příloha, LIX (10): 590–596.