

Vyhodnocení dlouhodobé fenologické řady polních plodin

Evaluation of long-term serie of phenological data of field crops

Lenka Hájková¹ – Věra Kožnarová² – Tomáš Vráblík¹ – Martin Možný¹

¹Český hydrometeorologický ústav, oddělení biometeorologických aplikací, Na Šabatce 17,
143 06 Praha 4–Komořany; hajkova@chmi.cz

²Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra agroekologie a biometeorologie,
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6–Suchdol, koznarova@af.czu.cz

Abstrakt

Periodicita v životě rostlin a živočichů je pokládána za nepřímý ukazatel variability klimatu. Je to dáno tím, že rostliny a živočichové neustále reagují na různé povětrnostní vlivy. Fenologie je vědní disciplína, která se zabývá studiem časového průběhu periodicky se opakujících životních projevů, tzv. fenologických fází, rostlin a živočichů v závislosti na podmínkách vnějšího prostředí, zejména na podnebí a počasí. Počátky pravidelných fenologických pozorování na území dnešní České republiky spadají do 19. století. V roce 1940 převzala fenologická pozorování česká meteorologická služba s celou sítí i s archivem údajů od r. 1923. V příspěvku byly statisticky vyhodnoceny vybrané fenologické fáze pšenice ozimé (*Triticum vulgare*) a ječmene jarního (*Hordeum vulgare*) sledované na fenologické stanici Milevsko (49°22'N; 14°22'E) v období 1961–2012.

Klíčová slova: fenologie, fenofáze, ječmen jarní, pšenice ozimá, statistické trendy

Abstract

Periodicity in life of plants and animals is considered for indirect indicator of climate variability. The reason is for reaction plants and animals to various weather onfluence all the time. Phenology is the study of the timing of recurring biological events in the animal and plant world. The beginnings of regular phenological observations in the territory of today's Czech Republic fall into the 19th century, since 1940 the Czech meteorological service took over the whole network including the archive of historical data since 1923. In the paper, were statistically evaluated selected phenological phases of winter wheat (*Triticum vulgare*) and spring barley (*Hordeum vulgare*) from Milevsko station (49°22'N; 14°22'E) for the period 1961–2012.

Key words: phenology, phenophase, spring barley, winter wheat, statistical trends

Úvod

Periodicita v životě rostlin a živočichů je pokládána za nepřímý ukazatel variability klimatu. Je to dáno tím, že rostliny a živočichové neustále reagují na různé povětrnostní vlivy. Studium časového průběhu periodicky se opakujících životních projevů, tzv. fenologických fází, rostlin a živočichů v závislosti na podmínkách vnějšího prostředí, zejména na podnebí a počasí se zabývá fenologie, vědní disciplína, která je odvětvím bioklimatologie (Hájková et al., 2018).

Počátky pravidelných fenologických pozorování na území dnešní České republiky spadají do 19. století. Společnost vlasteneckohospodářská zavedla v roce 1828 k rozšíření svého meteorologického programu také fenologická pozorování některých rostlin a živočichů, zejména pro zemědělské a lesnické účely. Po roce 1918 byla fenologická pozorování organizována na širokém celostátním základě Výzkumnými ústavem zemědělskými zásluhou Václava Nováka, který vypracoval pro pozorování „Zásadní pravidla“ a návrh jednotného formuláře. Ve dvacátých letech 20. století vznikla rozsáhlá monitorovací síť, v níž pracovalo více než 650 pozorovatelů.

V roce 1939 za Protektorátu Čechy a Morava došlo k sloučení všech meteorologických služeb do Ústředního meteorologického ústavu pro Čechy a Moravu. V roce 1940 převzala fenologická pozorování česká meteorologická služba s celou sítí (cca 1 000 lokalit) i s archivem údajů od r. 1923. Od té doby až do současnosti tvoří fenologie součást meteorologické služby, začleněné v roce 1954 do Hydrometeorologického ústavu.

V polovině 80. let nastala významná změna ve fenologickém pozorování, síť stanic „všeobecné“ fenologie byla postupně rozdělena do tří typů, sledujících polní plodiny, ovocné dřeviny a lesní (volně rostoucí) rostliny. Pro zajištění stejného postupu při pozorování byly vydány návody pro pozorovatele, jejichž obrazovým doplňkem se stala publikace Fenologický atlas (Coufal et al., 2004), která se začala používat od roku 2005.

V letech 1985–2012 bylo v provozu cca 80 stanic polních plodin, které naplňovaly pozorovací program podle metodiky ČHMÚ (Anonymus, 2009). V metodice je celkem popsáno 25 fenologických fází a do systematického sledování bylo vybráno 19 druhů polních plodin. Na každé stanici se prováděla pozorování dle možností příslušné stanice např. dle geografických podmínek, aktuálních osevních postupů daného roku a další. Polní plodiny byly sledovány do 31. 12. 2012, z důvodu finančních úspor v rámci ČHMÚ byla jejich činnost těchto stanic k tomuto datu ukončena.

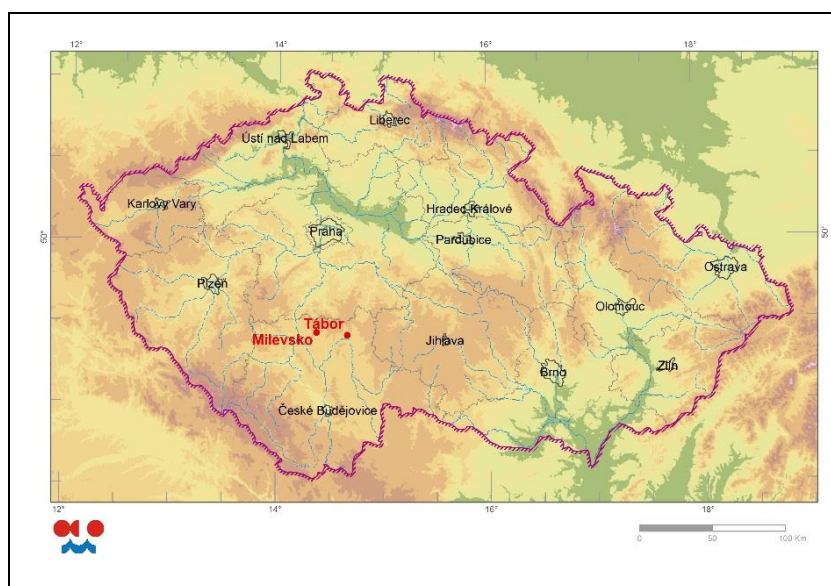
Přes tuto skutečnost, získaná databáze fenologických dat polních plodin má široké spektrum dalšího využití. Výsledky se dají využít např. k objektivní rajonizaci zemědělské výroby,

k optimalizaci stanovení agrotechnických lhůt, nebo k tvorbě agrometeorologických modelů popisujících vývoj a kvalitu obilovin, působení škůdců, vlhkost půdy, evapotranspiraci a vláhovou bilanci polních kultur a dalších. Fenologická data polních plodin jsou využitelná i v problematice alergologie, protože pyly mnohých polních plodin (např. obiloviny) jsou řazeny mezi alergeny. V této souvislosti jsou velmi významné informace o nastupující fenologické fázi metání, počátku a konci kvetení, které indikují trvání pylové sezony.

Jak již bylo uvedeno, hlavním faktorem ovlivňujícím růst a vývoj je počasí. Je proto důležité, aby napozorované fenologické údaje byly vyhodnoceny včetně souvisejících klimatologických charakteristik, mezi které řadíme např. sumy efektivních teplot.

Materiál a metody

Jako plodiny vhodné k analýze byly zvoleny ječmen jarní (*Hordeum vulgare*) a pšenice ozimá (*Triticum vulgare*). Data byla zpracována ze stanice Milevsko (stanice všeobecné fenologie ČHMÚ), klimatologická data byla použita z meteorologické stanice Tábor (tab. 1 a obr. 1).



Obr. 1
Vybraná fenologická a meteorologická stanice sítě ČHMÚ (vyznačeny červeně)

Tab. 1 Geografické souřadnice fenologické a meteorologické stanice

Fenologická stanice				Meteorologická stanice			
Stanice	Zeměpis. šířka	Zeměpis. délka.	Nadmoř. výška	Stanice	Zeměpis. šířka	Zeměpis. délka.	Nadmoř. výška
Milevsko	49°22'	14°22'	460	Tábor	49°26'	14°39'	459

Z fenologických fází bylo vybráno metání a počátek kvetení související s pylovou sezonou. Pro *metání* je charakteristické, že z pochvy praporcového listu vyčnívá právě polovina květenství (BBCH 55). *Počátek kvetení* nastává u obilnin tehdy, když se začíná uvolňovat pyl z tyčinek ve střední části květenství (BBCH 60). Označení fenofází pomocí BBCH se používá v rámci mezinárodní fenologické spolupráce (Meier et al., 2001)

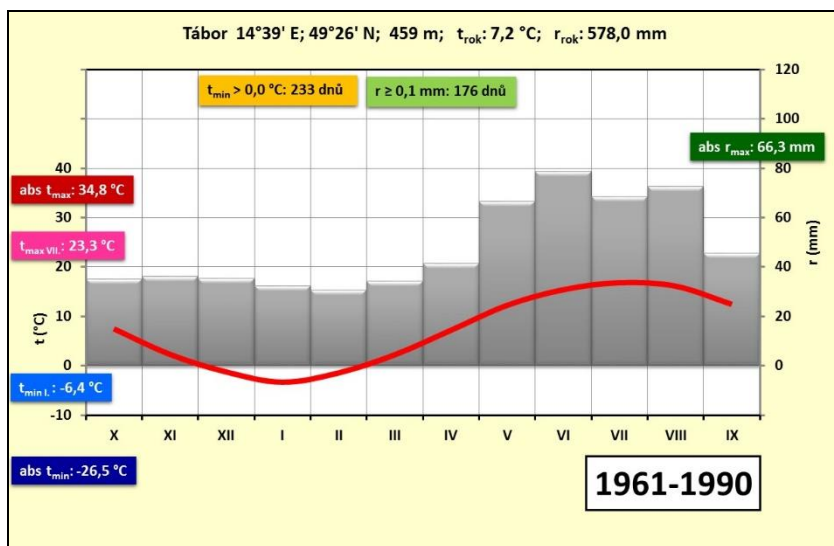
U ječmene jarního bohužel nebyly k dispozici záznamy o počátku kvetení, proto jsme u ječmene ve zpracování využili pouze fenofázi metání.

Dále byla vyhodnocena suma efektivních teplot nad 5 °C ke dni nástupu fenologické fáze metání a počátku kvetení z nejbližší meteorologické stanice Tábor. Efektivní teplota vzduchu je průměrná denní teplota vzduchu zmenšená o biologické minimum teploty. Při dosažení hodnoty biologického minima teploty rostlina začíná, nebo přestává růst, tím, že posiluje, nebo omezuje metabolické procesy a transformaci energie. Zpravidla se jedná o teplotu 5 °C (Hájková et al., 2017).

Fenologická data byla exportována z fenologické databáze ČHMÚ FENODATA. Vlastní fenologická pozorování provádějí dobrovolní pozorovatelé dle metodiky ČHMÚ (Anonymus 2009, Coufal et al., 2004). Chybějící údaje byly doplněny na základě regresní analýzy ostatních fenologických stanic v rozmezí nadmořské výšky od 155 m (Doksany) až 725 m (Nedvězí). Průměrná denní teplota vzduchu byla exportována z klimatologické databáze ČHMÚ CLIDATA, do výpočtů sum efektivních teplot vstupovala tzv. technická řada, tj. homogenizovaná časová řada. Pro většinu výpočtů se používají technické datové řady, které vycházejí ze staničních dat ČHMÚ a jsou vypočteny s pomocí geostatistických metod (regionální lineární regrese). Samotný výpočet technických řad vychází z metody IDW (metoda vážených inverzních vzdáleností), kdy použité údaje okolních stanic jsou nejprve standardizovány na nadmořskou výšku bodu, pro který je počítána nová řada (Hájková et al., 2017) a poté je váženým průměrem spočtena nová hodnota (Štěpánek et al., 2011).

Data byla statisticky vyhodnocena v prostředí Microsoft Excel, pro zjištění korelační závislosti byl použit Pearsonův korelační koeficient. Souhrnné vyjádření klimatických poměrů lze např. vyjádřit pomocí klimagramu (Hájková et al., 2013). V práci byly využity klimagramy (obr. 2) z meteorologické stanice Tábor (doplňuje fenologickou stanicí Milevsko) pro hodnocení průměrů za tři různá období (1961–1990; 1981–2010; 1961–2015) agrometeorologického roku, který začíná 1. říjnem a končí 30. zářím následujícího roku. Tento způsob umožňuje hodnotit chladný půlrok (včetně zimního období jako celek) a teplý půlrok odpovídající přibližně vegetačnímu období většiny u nás rostoucích rostlin. Takto jsou

charakterizovány klimatické poměry i na ostatních fenologických stanicích; tyto informace jsou důležité pro celkový popis daných stanic.



Obr. 2 Klimagramy hodnocených období

Vysvětlivky:

všeobecné údaje v záhlaví:

zeměpisné souřadnice a nadmořská výška;

t_{rok} = průměrná roční teplota vzduchu;

r_{rok} = roční úhrn srážek

graf:

červená křivka = spojnice průměrné měsíční teploty vzduchu (°C);

šedé sloupce = měsíční úhrn srážek (mm)

teplotní charakteristiky:

$abs t_{max}$ = absolutní maximum teploty vzduchu;

$t_{max VII}$ = průměrné denní maximum teploty vzduchu v červenci

$t_{min I}$ = průměrné denní minimum teploty vzduchu v lednu;

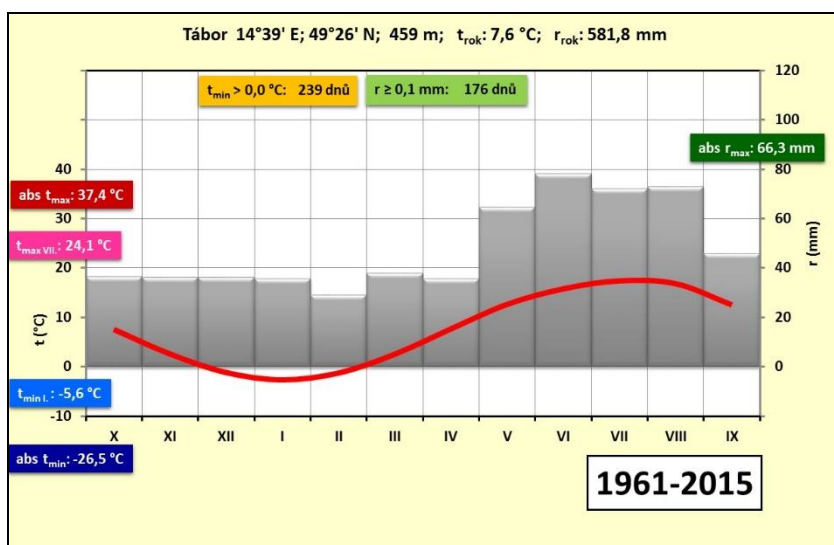
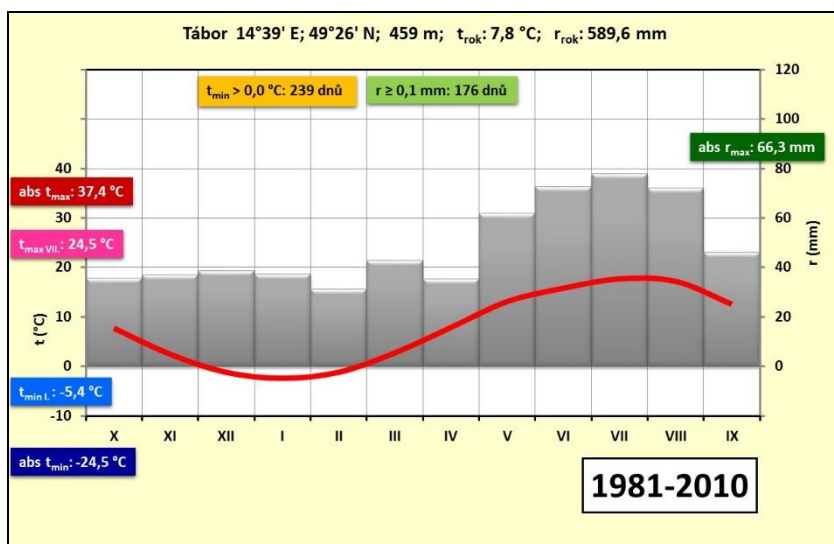
$abs t_{min}$ = absolutní minimum teploty vzduchu;

$t_{min} > 0,0 °C$ = počet dnů s denním minimem teploty vzduchu $> 0,0 °C$

srážkové charakteristiky:

$r > 0,0 mm$ = počet dnů s denním úhrnem srážek $> 0,0 mm$;

$abs r_{max}$ = absolutní maximum denního úhrnu srážek



Výsledky

V analýze byla vyhodnocena data ze stanice Milevsko (460 m n. m.) pro fenologické fáze metání a počátek kvetení pomocí standardních charakteristik popisné statistiky: střední hodnota, chyba střední hodnoty, medián, modus, minimum, maximum, směrodatná odchylka, rozptyl, špičatost a šikmost. Výsledky jsou uvedeny v tab. 2 a 3.

Tab. 2 Statistické výsledky vybraných fází pšenice ozimé a ječmene jarního – stanice Milevsko (459 m n. m.), hladina významnosti 95 %

Plodina	Pšenice ozimá		Ječmen jarní
	Metání	Počátek kvetení	Metání
Charakteristiky			
Střední hodnota	9. VI.	15. VI.	18. VI.
Chyba stř. hodnoty	1,1	1,3	1,0
Medián	9. VI.	15. VI.	18. VI.
Modus	9. VI.	12. VI.	26. VI.
Minimum	21. V.	26. V.	6. VI.
Maximum	26. VI.	10. VII.	8. VII.
Směrodat. odchylka	8,1	9,2	7,1
Rozptyl	65,6	85,0	49,7
Špičatost	-0,4	-0,1	-0,2
Šikmost	0,2	0,2	0,5

Tab. 3 Průměrné hodnoty vybraných fází pšenice ozimé a ječmene jarního v jednotlivých obdobích

Plodina	Pšenice ozimá		Ječmen jarní
	Metání	Počátek kvetení	Metání
Období			
1961–1970	15. VI.	24. VI.	20. VI.
1971–1980	14. VI.	19. VI.	16. VI.
1981–1990	6. VI.	12. VI.	16. VI.
1991–2000	4. VI.	10. VI.	20. VI.
2001–2010	7. VI.	13. VI.	17. VI.
1961–1990	12. VI.	19. VI.	18. VI.
1981–2010	6. VI.	12. VI.	18. VI.

V tabulce 4 a 5 jsou uvedeny statistické výsledky analýzy sumy efektivních teplot ke dni nástupu vybrané fenofáze.

Tab. 4 Průměrné hodnoty sumy efektivních teplot $> 5^{\circ}\text{C}$ (Σt_{ef}) v jednotlivých obdobích

Plodina	Pšenice ozimá		Ječmen jarní
	Σt_{ef} do metání	Σt_{ef} do počátku kvetení	Σt_{ef} do metání
1961–1970	463,9	573,1	528,3
1971–1980	450,5	496,2	468,4
1981–1990	409,6	468,9	506,9
1991–2000	425,9	485,0	599,5
2001–2010	486,2	551,5	598,0
1961–1990	441,3	512,7	501,2
1981–2010	440,6	501,8	568,1

Tab. 5 Statistické výsledky sumy efektivních teplot

Plodina	Pšenice ozimá		Ječmen jarní
	Σt_{ef} do metání	Σt_{ef} do počátku kvetení	Σt_{ef} do metání
Střední hodnota	447,9	541,2	515,9
Chyba stř. hodnoty	8,6	10,2	9,9
Medián	453,6	543,1	507,3
Minimum	294,7	417,9	331,3
Maximum	646,3	742,5	707,7
Směrodat. odchylka	61,6	73,5	70,4
Rozptyl	3797,6	5405,4	4953,3
Špičatost	1,5	-0,3	1,2
Šikmost	0,2	0,4	0,3

Závislost sumy efektivních teplot na nástupu příslušné fenofáze pomocí Pearsonova korelačního koeficientu je uvedena v tabulce 6.

Tab. 6 Závislost sumy efektivních teplot a nástupu fenologické fáze

Plodina	Pšenice ozimá		Ječmen jarní
	Metání	Počátek kvetení	Metání
Korelační koeficient	0,427	0,490	0,275

Diskuse

Na základě výsledků uvedených v předchozí části lze konstatovat, že fenologická fáze metání nastává u pšenice ozimé v průměru 9. června, u ječmene jarního 18. června. Počátek kvetení pšenice ozimé ve zpracovaných 52 letech nastává v průměru 15. června.

Rozdíl mezi nejranějším a nejpozdějším nástupem činí u obou plodin i více než měsíc. To dokazuje velkou variabilitu v časovém nástupu fáze v daném roce.

Směrodatné odchylky jsou u obou plodin podobné, nabývají hodnot 8,1 až 9,2. Špičatost nabývá záporných hodnot, šikmost naopak kladných hodnot – v závislosti na rozdělení příslušného datového souboru.

Při porovnání průměrného data nástupu příslušné fenologické fáze po jednotlivých desetiletích bylo zjištěno, že u pšenice ozimé obě fáze nastávají výrazně dříve, nejdříve v desetiletí 1991 až 2000. Při srovnání dvou normálů (1961–1990 versus 1981–2010) činí rozdíl u fenologické fáze metání 6 dní, u počátku kvetení 7 dní. U ječmene jarního bylo zjištěno, v desetiletích 1971 až 1980 a 1981 až 1990 nastala fáze metání o 4 dny dříve v porovnání s předchozím obdobím 1961–1970, které vychází stejně jako období 1991–2000. „Normálová“ období jsou stejná. Dřívější nástupy fenologických fází u pšenice ozimé a zjistili ve své studii např. Eitzinger et al. (2002).

Suma efektivních teplot nad 5 °C ke dni nástupu fenologické fáze metání dosáhla u pšenice ozimé 447,8 °C a u ječmene jarního 515,9 °C. Ke dni nástupu počátek kvetení u pšenice ozimé to je 541,2 °C. Pro zjištění korelační závislosti mezi sumou efektivních teplot nad 5 °C a datem nástupu fenologické fáze byl použit Pearsonův korelační koeficient. Nejvyšší hodnota výše uvedeného korelačního koeficientu byla zjištěna u fenologické fáze počátek kvetení (BBCH 60) u pšenice ozimé, druhá nejvyšší byla u metání (BBCH 55) pšenice ozimé. Pro ječmen jarní nabývá závislost téměř polovičních hodnot.

Při porovnání průměrných hodnot sumy efektivních teplot ke dni nástupu fenofáze metání byl zjištěn u obou plodin nejnižší průměr v desetiletí 1971 až 1980 (450,5 °C u pšenice ozimé a 468,4 °C u ječmene jarního). Nejvyšší suma efektivních teplot ke dni metání byla u pšenice ozimé zjištěna v období 2001 až 2010 (486,2 °C), u ječmene jarního v období 1991 až 2000 (599,5 °C). Průměrný rozdíl v sumě efektivních teplot ke dni nástupu metání a počátku kvetení je u pšenice ozimé 67,3 °C. Nejvyšší rozdíl byl zjištěn v desetiletí 1961 až 1970 (109,2 °C), nejnižší v desetiletí 1971 až 1980 (45,7 °C). Mezi „normálovými“ obdobími je rozdíl cca 10 °C ve prospěch aktuálně používaného normálu (1981 až 2010).

Závěr

V příspěvku byly analyzovány fenologické fáze metání a počátek kvetení u pšenice ozimé, a metání u ječmene jarního podle záznamů fenologické stanice Milevsko. Dále byly vyhodnoceny i sumy efektivní teploty ke dni nástupu fenologické fáze z databáze meteorologické stanice Tábor. Vše bylo zpracováno za období 1961 až 2012.

Při porovnání průměrného data nástupu příslušné fenologické fáze po jednotlivých desetiletích bylo zjištěno, že u pšenice ozimé obě fáze nastávají výrazně dříve, nejdříve v desetiletí 1991 až 2000. Při srovnání dvou normálů (1961–1990 a 1981–2010) je rozdíl u fenologické fáze metání 6 dní, u počátku kvetení 7 dní. V desetiletích 1971–1980 a 1981–1990 nastala fáze metání u ječmene jarního o 4 dny dříve v porovnání s předchozím obdobím 1961–1970, které vychází stejně jako období 1991–2000. Porovnáním obou normálů vyjadřujících nástup fenofáze nebyly zjištěny žádné rozdíly.

U průměrných hodnot sum efektivních teplot ke dni nástupu fenofáze metání byl zjištěn u obou plodin nejnižší průměr z desetiletí 1971 až 1980, naopak nejvyšší suma efektivních teplot ke dni metání byla u pšenice ozimé zjištěna v období 2001 až 2010 a u ječmene jarního v období 1991 až 2000. Průměrný rozdíl v sumě efektivních teplot ke dni nástupu metání a počátku kvetení je u pšenice ozimé v průměru 67,3 °C. Nejvyšší suma efektivních teplot ke dni metání byla u pšenice ozimé zjištěna v období 2001 až 2010 (486,2 °C), u ječmene jarního v období 1991 až 2000 (599,5 °C).

Nejvyšší hodnota Pearsonova korelačního koeficientu byla zjištěna u fenologické fáze počátek kvetení (BBCH 60) u pšenice ozimé, druhá nejvyšší byla u metání (BBCH 55) u pšenice ozimé. Ječmene jarního nabývá závislost téměř polovičních hodnot.

Předložený příspěvek je jednou z připravovaných analýz, které jsou věnovány problematice růstu a vývoje polních plodin, mimo jiné i s ohledem na produkci pylů vyvolávajících alergické reakce. Předpokládáme, že výsledky budou použity v připravovaném fenologickém modelu a v rámci výzkumného projektu „Autopollen“ v programu EUMETNET.

Na závěr nezbývá než konstatovat, že současná pozorování v rámci sítě ČHMÚ na omezeném počtu stanic (resp. pouze tzv. „lesní fenologie“, což znamená relativně omezený počet volně rostoucích druhů) poskytují jen nedostatečné množství dat. Přitom je zcela zřejmé, že reakce rostlin ve vazbě na povětrnostní podmínky ve vegetačním období a při přezimování je jedním ze základních indikátorů pro predikci ekonomických dopadů. Dalším významným argumentem pro revitalizaci fenologických pozorování v ČR je celosvětový trend využívání fenologických dat ve všech oblastech uvedených výše. Absence aktuálních fenologických dat

tak omezuje i mezinárodní spolupráci v různých oblastech – zejména pak v oblasti agrometeorologie, biometeorologie a alergologie.

Literatura

Anonymus. 2009: Metodický předpis č. 2 „Návod pro činnost fenologických stanic – polní plodiny“. ČHMÚ, Praha.

Coufal, L. et al. 2004: Fenologický atlas. Praha. 263 s.

Eitzinger, J., Štátná, M., Žalud, Z., Dubrovský, M. 2003: A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. *Agricultural Water Management* 61: 195–217.

Hájková, L. et al. 2012: Atlas fenologických poměrů Česka. ČHMÚ Praha a UP Olomouc. 311 s.

Hájková, L., Kožnarová, V., Sulovská, S., Nekovář, J. 2013: Fenologické charakteristiky vybraných lesních bylin v Česku, ČHMÚ. Praha 90 s.

Hájková, L., Kožnarová, V., Hnilička, F. 2017: Vyhodnocení vybraných agroklimatických charakteristik ve vegetačním období na území ČR za období 1961–2010. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2017 (Sborník recenzovaných vědeckých prací) Influence of abiotic and biotic stresses on properties of plants 2017 (Proceedings of scientific articles) Česká zemědělská univerzita v Praze, 2017 ISBN: 978-80-213-2767-2. str. 3–11.

Meier, U. (ed.) 2001: Growth stages of mono- and dicotyledonous plants. BBCH Monograph (2. ed.). Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Berlin (<https://www.politicheagricole.it/flex/AppData/WebLive/Agrometeo/MIEPFY800/BBCHengl2001.pdf> 25. 6. 2018).

Štěpánek, P. et al. 2011: Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of Central European daily time series. *Időjárás*, 115, 1–2, s. 87–98.

Poděkování:

Príspevek vznikl s institucionální podporou Českého hydrometeorologického ústavu a Programu pro dlouhodobý koncepční rozvoj výzkumné instituce poskytovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Kontakt:

Ing. Lenka Hájková, PhD.

ČHMÚ

Na Šabatce 17

143 06 Praha 4 – Komořany

hajkova@chmi.cz