

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Pokryvnost listoví a obsah fotosynteticky aktivních pigmentů u máku setého (*Papaver somniferum* L.) ve vztahu k ranosti a obsahu morfinu

Diplomová práce

Autor práce: Žaneta Hlídková

Obor studia: Hospodaření v zemědělství

Vedoucí práce: doc. Ing. Václav Hejnák, Ph.D.

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Pokryvnost listoví a obsah fotosynteticky aktivních pigmentů u máku setého (*Papaver somniferum* L.) ve vztahu k ranosti a obsahu morfinu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 7. 4. 2017

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Václavu Hejníkovi, Ph.D. a doc. Ing. Františku Hnilčkoví, Ph.D. za ochotu, trpělivost a cenné rady při zpracování této práce. Zároveň děkuji panu Ing. Pavlu Cihlářovi, Ph.D. za založení porostu máku setého a poskytnutí kvalitního zdroje rostlinného materiálu pro výzkum.

Pokryvnost listoví a obsah fotosynteticky aktivních pigmentů u máku setého (*Papaver somniferum* L.) ve vztahu k ranosti a obsahu morfinu

Souhrn

Česká republika i v roce 2016 potvrdila postavení největšího pěstitele potravinářského máku. Výnos v České republice se v průměru od roku 2004 pohybuje okolo 0,72 t makového semene z hektaru. Cílem diplomové práce je ověřit, zda existují rozdíly ve velikosti pokryvnosti listoví (LAI) a v obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů v závislosti na ranosti a obsahu morfinu u máku setého.

V rámci maloparcelkového pokusu bylo hodnoceno 17 odrůd máku setého. Odrůdy byly s různou raností a s různým obsahem morfinu. Jednalo se o tyto odrůdy: Sokol, Albín, Korneuburger-Weisser, Tatranský, Florian, Lazur, Orbis, Orfeus, Zeno, Postomi, Major, Maraton, Marianne, Aplaus, Opal, Opex a Buddha. Kromě odrůdy Zeno, jediné ozimé formy máku vyseté na jaře, byly ostatní odrůdy jarní formy.

V rámci experimentu byly hodnoceny pokryvnost listoví (LAI) a obsah fotosynteticky aktivních pigmentů (celkové chlorofyly a karotenoidy). LAI bylo měřeno polním přístrojem SunScan a obsah pigmentů byl stanoven podle Porryho z terčků listů máku. Měření se uskutečnila ve čtyřech termínech od 22. 6. do 29. 7. 2016 v následujících vývojových fázích: BBCH 41 – fáze stonkování a butonizace, BBCH 54 – fáze plné kvetení, BBCH 64 – fáze zelená zralost a BBCH 72 – fáze začátek žloutnutí tobolky. K statistickému vyhodnocení byl použit program Statistica 12 na základě Analýzy rozptylu.

Velikost LAI a obsah pigmentů se měnily v závislosti na ontogenetickém období. LAI dosáhlo v průměru za všechny odrůdy svého maxima ve fázi stonkování a butonizace (1,94) a poté se postupně snižovalo. Minimum bylo dosaženo ve fázi začátku žloutnutí tobolky (1,07) v důsledku postupného stárnutí rostliny. Průkazné rozdíly byly zjištěny mezi některými sledovanými odrůdami, např. mezi odrůdou Orbis (nejvyšší hodnota LAI) a odrůdou Tatranský (nejnižší hodnota LAI). Mezi skupinami odrůd, rozdělených dle ranosti na rané, středně rané a pozdní, nebyly zjištěny statistické rozdíly v hodnotách LAI. Také nebyly potvrzeny průkazné difference ve velikosti LAI mezi odrůdami s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu.

Obsah pigmentů dosáhl v průměru za všechny odrůdy svého maxima ve fázi plného kvetení (chlorofyly 3,99 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, karotenoidy 1,49 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$). Minimum bylo dosaženo u chlorofylů již na počátku měření ve fázi stonkování a butonizace (0,33 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$)

a u karotenoidů ve fázi začátku žloutnutí tobolky ($0,23 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Průkazné rozdíly byly také zjištěny mezi některými sledovanými odrůdami. U chlorofylů mezi odrůdou Maraton (nejvyšší obsah chlorofylů) a odrůdou Albín (nejnižší obsah chlorofylů), u karotenoidů mezi odrůdou Florian (nejvyšší obsah karotenoidů) a odrůdou Aplaus (nejnižší obsah karotenoidů). Mezi skupinami odrůd, rozdělených dle ranosti na rané, středně rané a pozdní, nebyly zjištěny statistické rozdíly v obsahu pigmentů. Také nebyly potvrzeny průkazné diference v obsahu pigmentů mezi odrůdami s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu.

Nejvyšší výnos byl u středně raných odrůd (1,64 t/ha) a naopak nejnižší u raných odrůd (1,12 t/ha). Ve výnosu byly zjištěny statistické rozdíly mezi odrůdami s rozdílným obsahem morfinu. Nejvyšší výnos byl dosažen u odrůd se středním obsahem morfinu, a naopak nejnižší u odrůd s vysokým obsahem morfinu.

Na základě výsledků nebylo možné potvrdit stanovené hypotézy o závislosti LAI a obsahu pigmentů na ranosti odrůd a obsahu morfinu. Modrosemenné odrůdy Maraton, Opex, Orbis a Marianne měly vysoké hodnoty LAI a obsahu pigmentů a zároveň dosáhly i vysokých výnosů v rozmezí od 1,91 do 1,45 t/ha. I odrůdy, které dosáhly pouze průměrných hodnot LAI a obsahu pigmentů, tak dosáhly velmi vysokých výnosů, např. odrůda Orfeus, Aplaus a Opal.

Klíčová slova: fotosynteticky aktivní záření, chlorofyly, karotenoidy, morfin, *Opium poppy*, pokryvnost listoví

Leaf area index and photosynthetically active pigments content of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) in relation to earliness and content of morphine

Summary

The Czech Republic confirmed its position as the largest producers of food poppy again in 2016. The average yield ranges around 0,72 tons of poppy seed per hectare since 2004 in the Czech Republic. This diploma thesis aims to verify whether there are differences in the size of leaf index area (LAI) and in the contents of photosynthetically active pigments in dependence on the maturity and the content of morphine in poppy.

In the small-plot experiment 17 varieties of poppy were evaluated. Varieties of poppy seed examined were blue, white, with different earliness and with various content of morphine. The following varieties of poppy were sowed: Sokol, Albín, Korneuburger-Weisser, Tatranský, Florian, Lazur, Orbis, Orfeus, Zeno, Postomi, Major, Maraton, Marianne, Aplaus, Opal, Opex and Buddha. Except of variety Zeno, which was the only winter form of poppy sown in the spring, all the varieties were spring forms.

Leaf area index (LAI) and the contents of photosynthetically active pigments (total chlorophylls and carotenoids) were measured in the experiment. LAI was measured with SunScan and the content of pigments was determined by the Porry method. Four measurements were made in the period between 22 June 2016 and 29 July 2016 in the following phases of development: BBCH 41 – stem and bud elongation, BBCH 54 – full flowering stage, BBCH 64 – green maturity and BBCH 72 – start of yellowing capsule. The program Statistica 12 was used for statistical evaluation on the basis of analysis of variance.

The size of LAI and the content of pigment varied depending on the ontogenetic period. LAI reached its maximum in the phase of stem and bud elongation (1,94) and then decreased gradually. The lowest level was reached in the phase of start of yellowing capsule (1,07) due to progressive senescence of the plant. Significant differences were detected between some monitored varieties, e.g. between Orbis variety (peak LAI) and the variety Tatranský (lowest value LAI). No statistical differences in LAI have been proven between the groups of varieties divided according to their earliness on early, middle and late. No significant statistical differences of LAI have been confirmed between the LAI varieties with low, medium and high level of morphine.

The content of pigments peaked in the phase of full flowering stage. The lowest minimum was achieved by the chlorophylls in the early measurement in the phase of stem and bud elongation and carotenoids in the phase of start of yellowing capsule. No significant differences have been detected between some monitored varieties. No statistical differences in LAI have been demonstrated between the groups of varieties divided according to earliness on early, middle and late. No significant statistical differences of LAI have been confirmed between the LAI varieties with low, medium and high level of morphine.

The highest yield occurred in the middle stage of varieties (1,64 t/ha) and the lowest in the early stage of varieties (1,12 t/ha). Statistical differences were confirmed between varieties with different contents of morphine. The varieties with medium content of morphine recorded the highest yield of 1,82 t/ha and the varieties of high morphine recorded the lowest 0,87 t/ha.

The results of the experiment did not confirm the stated hypothesis about the dependence of LAI and pigment content to earliness of varieties and content of morphine. Blue-seed varieties of Maraton, Opex, Orbis and Marianne had high values of LAI and the content of pigments for yield formation, while also achieved satisfactory yields of 1,5 t/ha (the yield from 1,91 to 1,45 t/ha). The varieties, which achieved only average values of LAI and pigment content, achieved very high yields, e.g. Orpheus variety, Aplaus and Opal.

Keywords: carotenoids, leaf area index, chlorophylls, morphine, *Opium poppy*, photosynthetically active radiation

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	2
3 Literární rešerše.....	3
3.1 Význam a současnost pěstování máku setého.....	3
3.1.1 Historie pěstování máku setého	3
3.1.2 Význam a současnost pěstování máku setého	4
3.2 Biologie máku setého	8
3.2.1 Botanická charakteristika.....	8
3.2.2 Morfologická charakteristika.....	9
3.2.3 Růst a vývoj rostliny	12
3.2.4 Požadavky máku na vnější prostředí	16
3.3 Fotosyntetické předpoklady tvorby výnosu máku	17
3.3.1 Využití fotosynteticky aktivního záření (FAR)	17
3.3.2 Pokryvnost listoví (LAI).....	20
3.3.3 Fotosynteticky aktivní pigmenty	22
3.4 Produkce alkaloidů.....	24
3.5 Kvalitativní parametry máku setého	26
3.5.1 Kvalita makoviny.....	26
3.5.2 Kvalita semen	27
3.6 Legislativa pěstování máku setého.....	28
4 Materiál a metody	30
4.1 Charakteristika odrůd	30
4.2 Charakteristika stanoviště	32
4.3 Charakteristika použité agrotechniky a ekonomika pěstování máku.....	32
4.4 Charakteristika počasí	34
4.5 Měření fyziologických charakteristik	36
4.5.1 Měření pokryvnosti listoví (LAI)	36
4.5.2 Měření pigmentů podle Porryho	37
4.6 Statistické vyhodnocování	38
5 Výsledky	39
5.1 Stanovení hodnot dopadajícího záření, transmitovaného záření a LAI	39
5.1.1 Pokryvnost listoví (LAI).....	41
5.2 Fotosynteticky aktivní pigmenty.....	47
5.3 Výnos odrůd máku setého.....	61
6 Diskuze.....	63
6.1 Pokryvnost listoví (LAI)	63

6.2	Fotosynteticky aktivní pigmenty.....	65
7	Závěr	68
8	Seznam literatury	70
9	Seznam použitých zkratk.....	81
10	Přílohy	82

1 Úvod

Mák setý je v současnosti velmi důležitá zemědělská plodina, s využitím jak v potravinářském průmyslu (semena) i v průmyslu farmaceutickém (morfin a ostatní alkaloidy). Pěstování máku má v České republice dlouhou tradici a český mák je vždy ceněn pro dobrou kvalitu, chuť a jasnou barvu semene. Maximální oseté plochy bylo dosaženo v roce 2008, kdy byl mák pěstován na 70 tisících hektarech půdy. Po tomto roce došlo k postupnému snižování ploch a nyní v posledních letech se plochy máku opět zvyšují. V roce 2016 bylo oseto mákem celkem 35 tisíc hektarů půdy. V českém zemědělství zaujímá mák druhé místo nejvýznamnější olejniny.

Česká republika i v roce 2016 potvrdila postavení největšího pěstitele potravinářského máku, drží i přední místo ve spotřebě máku na osobu (300 g) i přesto, že 85 – 90 % produkce je vyváženo. Dalšími významnými pěstiteli máku jsou Maďarsko, Turecko, Tasmánie, Slovensko, avšak tyto země jsou spíše producenty farmaceutického máku než potravinářského.

Mák setý je agrotechnicky náročná plodina především na založení porostu a ochranu před zaplevelením, které může způsobit značné výnosové ztráty. Špičkoví pěstitelé dosahují výnosů máku okolo 1,5 t/ha, avšak celosvětový průměr je třetinový až poloviční. Existuje velké množství experimentálních prací, které jsou zaměřené na agrotechnická opatření směřující pro podporu tvorby výnosu máku (moření, hnojení, ochrana rostlin). Naopak neexistuje mnoho vědeckých výsledků, které studují fyziologické předpoklady pro výnos máku. Jedná se především o velikost fotosyntetického aparátu a jeho schopnost transformovat energii světelného záření do organických sloučenin. Rozvoj listové plochy je důležitým předpokladem pro růst celé rostliny, a tedy i pro tvorbu výnosu. Existují odrůdy, které jsou v praxi známé (odrůda Opal, Major), jiné odrůdy se staly novinkou (odrůda Aplaus, Opex) a další se pěstují pouze okrajově (odrůda Albín, Sokol). Cílem práce bylo posoudit, zda existují rozdíly ve velikosti pokryvnosti listoví (LAI) a v obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů v závislosti na ranosti a obsahu morfinu u máku setého.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Průměrný výnos v České republice se pohybuje od roku 2004 okolo 0,72 t makového semene z hektaru. Záměrem pěstitelů by mělo být nejen dosažení výnosů, které se pohybují nad touto hranicí dlouhodobého průměru, ale i výběr vhodných genotypů pro dosažení vysoké a kvalizní sklizně.

Cílem této práce bylo zjistit, zda existují rozdíly ve velikosti pokryvnosti listoví a obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů v závislosti na ranosti odrůd a obsahu morfinu u máku setého. Dále určit genotypy máku, které mají dobré fotosyntetické parametry pro navýšení tvorby výnosu.

Z uvedených cílů práce vyplývají hypotézy:

- a. Existují rozdíly v hodnotách pokryvnosti listoví a obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů v závislosti na ranosti odrůd máku?
- b. Existují rozdíly v hodnotách pokryvnosti listoví a obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů v závislosti na obsahu morfinu?

3 Literární rešerše

3.1 Význam a současnost pěstování máku setého

3.1.1 Historie pěstování máku setého

Podle Griffitha (1993) mák pěstovali Summerové cca před 4 tis. let př. n. l. Z této doby je zaznamenaná zmínka o používání šťávy z makovic. Mák před 4 tisíci lety byl nalezen mezi pozůstatky Stone Age ve Švýcarsku po obyvatelích jezera, kteří ho primárně pěstovali pro opium, ne pro olej (Kapoor, 1995). Uvedený alkaloid byl objeven roku 1803 německým lékárníkem Sertunerem (Bechyně a Novák, 1987). Plinius starší označoval semena máku za hypnotikum a latex máku jako lék na bolest hlavy, artritidu a léčení ran (Kapoor, 1995).

Mák se v Evropě začal zmiňovat jako ozdoba předmětů i peněz mezi roky 2 500 až 1 000 let př. n. l. V 8. století př. n. l. se současné řecké město Sikion nazývalo Makon, tzv. město máku. Odtud také pochází staré synonymum opia tzv. „mekonium“. Do Číny a Indie se opium rozšířilo později. Až od 12. století se objevují zmínky o jeho léčebných účincích (Gajdaš a kol., 2002). V Evropě se jako poživatina pěstoval již ve středověku, výlučně však jen jako zahradní kultura. Jako polní plodina se začal pěstovat koncem 17. století a na větších plochách až na začátku 19. století. Vývoj osevních ploch a výnosů na území naší republiky lze sledovat již od roku 1895 (Bechyně a Novák, 1987). Mák setý jako olejnina se začal pěstovat začátkem 19. století (Muška a kol., 2016).

Původ máku setého (*Papaver somniferum* L.) je nejistý. Je to velmi stará kulturní rostlina, která se ve volné přírodě jako planě rostoucí nevyskytuje (Bechyně a Novák, 1987; Kapoor, 1995). Mák setý pochází z východoasijského (Čína, Nepál) a předoasijského (Malá Asie) genového centra (Schwanitz, 1969). Všeobecně se soudí, že tato kulturní forma vznikla z planého druhu *Papaver setigerum*. V roce 1753 botanik Linné popsal *Papaver somniferum* (Vašák a kol., 2010). V roce 1868 se pěstovalo 1 001 ha máku v tehdejším Táborském kraji, 385 ha v Pražském, 360 ha v Píseckém a v Čáslavském kraji 196 ha (Muška a kol., 2016). Před patnácti lety vzniklo na podporu máku setého sdružení (dnes již spolek) právnických a fyzických osob, které se zabývají pěstováním, zpracováním a prodejem máku. Tento spolek pořádá semináře, polní dny a díky jejich stovkám pokusných parcel dokázali zemědělci vylepšit technologie spojené s pěstováním máku. Cílem spolku je získat ochrannou známku Chráněné zeměpisné označení (CHKO) Český modrý mák (Sehnal, 2016).

3.1.2 Význam a současnost pěstování máku setého

Mák se pěstuje na semeno, olej a opium (Özcan and Atalay, 2006). Mák setý je pravděpodobně nejstarší známou léčivou rostlinou lidstva (Kapoor, 1995). Pěstování máku je dnes známé téměř na celém světě. Pěstuje se v mnoha velmi rozdílných kultivarech, které jsou přizpůsobeny ve velmi rozmanitých klimatických a půdních podmínkách. S mákem lze se setkat v jižních oblastech Švédska, v Anglii, v Indii i na rovníku (Bechyně a Novák, 1987).

V zemědělské polní praxi se využívá především jednoletý jarní, velmi zřídka i ozimý mák setý. Okrajově se i zkouší pěstovat vytrvalý mák listenatý (*Papaver bracteatum*), který obsahuje alkaloid thebain. Mák setý je rozdělen do několika skupin. Nejznámější je podle Gajdaše a kol., 2002:

- mák opiový se sedmi poddruhy. Pro tento druh máku je typická produkce bílého latexu, vytékajícího z makovic, tj. opia v množství od 5 kg/ha do 40 kg/ha. Pěstování je typické pro Asii především Afghánistán, kdy zneužívají mák pro produkci opia a získávají z něj morfin až heroin. V roce 2008 se plochy odhadovaly na 189 tisíc ha (Mahdavi-Damghani et al., 2010),
- mák semenný s jediným poddruhem. Tyto druhy obsahují malé mléčnice, tudíž se pro produkci opia nehodí. Typický mák pěstovaný v Evropě.

V rámci skupiny olejných máku lze rozlišit máky potravinářské a máky průmyslové (alkaloidní). Pro máky potravinářské se obsah morfinu v suché makovině pohybuje do 1 %, nejčastěji 0,3 – 0,7 % (např. odrůda Opal, Major, Maraton). Máky průmyslové mají obsah morfinu více než 1 %, nejčastěji 1,5 – 2,5 % (např. odrůda Buddha, Postomi, Lazur).

Česká republika se zabývá pěstováním semenného (potravinářského i alkaloidního) máku. Oba zmíněné typy se od sebe dokáží oddělit velmi problematically. Hranice mezi potravinářským a alkaloidním (farmaceutickým) mákem by měla být **do 25 ppm morfinu v semeni = mák potravinářský**. Vyšší obsah má mák farmaceutický. Tato hranice je pouze orientační (Vašák a kol., 2016).

Na základě ozimosti se dají členit máky na:

- máky jarní: založeno na odrůdách Major, Maraton a Opal,
- máky ozimé: jsou typické bohatým ochlupením mladých listů a na nich mléčnými skvrnami (Vašák a kol., 2010).

Odrůdy máku se pěstují modrosemenné, bělosemenné, šedosemenné a popřípadě okrovosemenné. V roce 1939 byly pro Moravu nejvhodnější odrůdy Modrý Azur, Hanácký

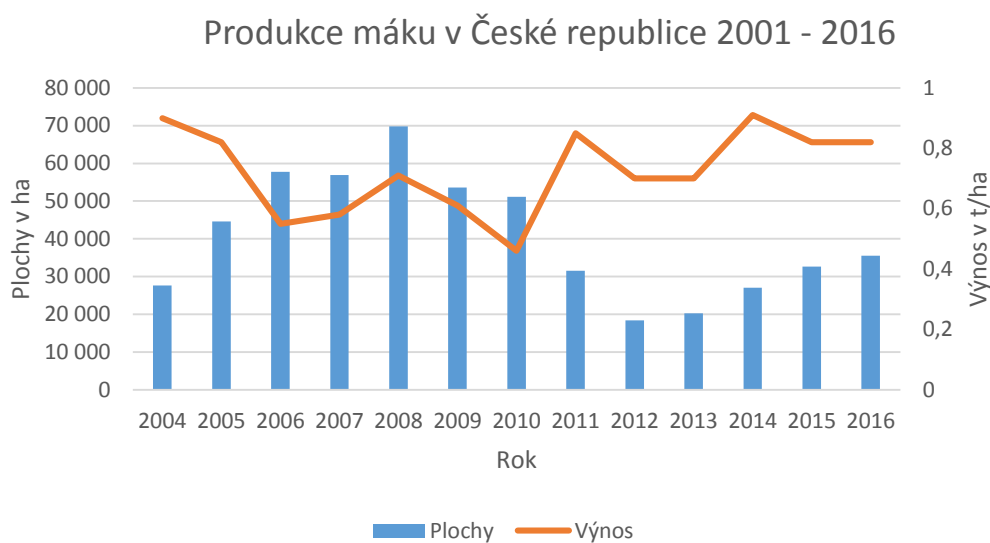
modrý (odolný proti poléhání) a Zborovický modrosemenný. Odrůdy světle šedé byly pozdnější a v těchto lokalitách Moravy měly i nižší výnosy (Muška a kol., 2016). Nyní se trend nemění a tradiční modrosemenné odrůdy zaujímají na zemědělských polích rozhodující podíl (Zehnálek, 2015).

Některé kultivary obsahují až 50 % oleje v semenech. Největší zastoupení má kyselina linolová 71 %, jde tedy o olej vysychavý a náchylný ke žluknutí. Olej je velmi vysoce kvalitní pro lidskou výživu, protože obsahuje vysoké množství polynenasycených mastných kyselin (Özcan and Atalay, 2006). Pro lidskou výživu je významným přínosem i obsah vápníku v semeni máku. Semeno obsahuje ve 100 g 1 400 mg vápníku, což je asi 12krát více než v mléku (Anonym, 2014).

Keskin et al. (2015) ve svých pokusech zjistili, že je možné vyrábět z makové slámy i dřevotřísku.

Současnost pěstování máku setého v ČR

Podle Českého statistického úřadu zemědělci (ČSÚ) na jaře v roce 2016 zaseli 35 543 ha máku setého, což je navýšení oproti roku 2015 o 8 %. Z celkové plochy zemědělské půdy se mák podílí na osevní ploše 1,4 % (ČSÚ, 2016). Na obr. 1 je uvedena plocha máku v ha v jednotlivých letech a příslušný roční průměrný výnos v t/ha. Od roku 2004 se oseté plochy výrazně zvyšovaly do roku 2008, kdy dosáhly svého maxima s plochou kolem 70 tisíc hektarů. Od roku 2008 došlo k postupnému snižování ploch a v posledních pěti letech opět je trendem více zařazovat tuto plodinu do osevních plánů. Nejvyšších maximálních výnosů dosáhl mák v roce 2004 a 2014, kdy se konečný průměrný výnos pohyboval přes 0,9 t/ha. Nejnižší výnos 0,46 t/ha byl zaznamenán v roce 2010. V posledních letech nejsou výrazné odchylky v dosažených výnosech.

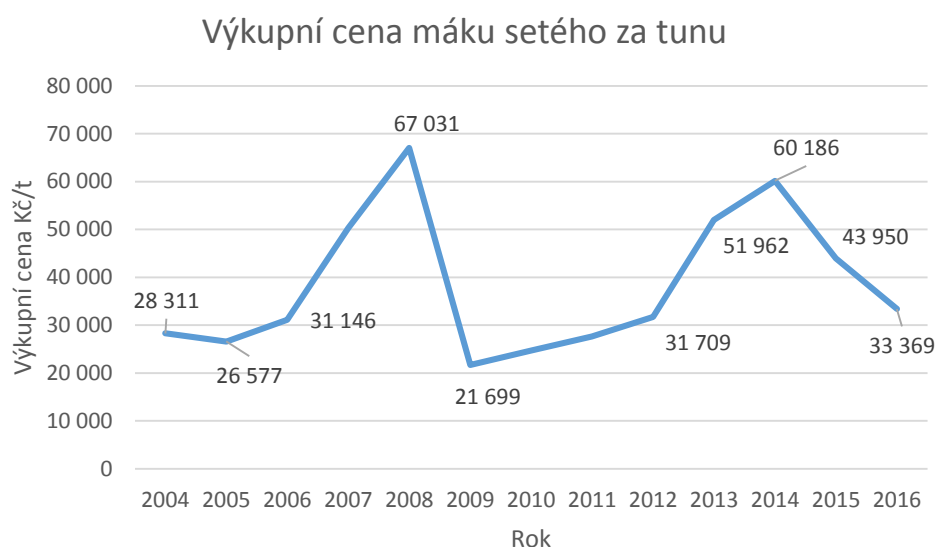


Obr. 1: Plochy máku (ha) a výnos (t/ha) v České republice od 2001 – 2016 (upraveno dle ČSÚ, 2016)

Výkupní cena máku setého v ČR

Ve srovnání s předchozím rokem 2015 došlo v roce 2016 ke snížení výkupních cen vlivem nárůstu pěstovaných ploch máku. Zatímco počátkem roku 2016 se ceny držely na maximální úrovni přes 41 000 Kč/t, v květnu došlo ke snížení cen až na 27 000 Kč/t. Během měsíce srpna až října opět ceny stoupaly (ČSÚ, 2017). Výkupní cena 30 000 Kč/t máku je hranicí rentability. Pokud tato cena spadne pod tuto hranici, pěstitelé přestávají tuto plodinu zasévat (Fialová, 2017).

Na obr. 2 jsou uvedeny průměrné výkupní ceny makového semene v Kč/t v jednotlivých letech. Nejvyšší ceny bylo dosaženo v roce 2008, kdy se cena máku pohybovala okolo 67 031 Kč/t. Naopak nejnižší cena byla v roce 2009, kdy se snížila až na 21 699 Kč/t.



Obr. 2: Výkupní cena máku setého (Kč/t) od 2004 – 2016 (upraveno dle ČSÚ, 2017)

Světová produkce máku

Česká republika zaujímá přední postavení největšího pěstitele potravinářského máku v Evropské unii. Bezprostředními konkurenty jsou země jako Maďarsko, kde bylo v loňském roce oseté mákem více než 10 tis. ha. Avšak více než 70 % ploch bylo oseto farmaceutickým mákem a zbytek ploch tvořily potravinářské odrůdy. Maďarsko patří mezi největší dodavatele makového semene do Česka. Slovensko produkuje mák se zhruba 3,7 tis. ha, především farmaceutického máku. Polsko pěstuje mák na ploše 2 tis. ha a Rakousko na 1 tis. ha. Na Ukrajině se oselo mákem cca 5 tisíc ha. Z dalších evropských pěstitelů vyniká Španělsko (9 tis. ha), Francie (jako Španělsko), Velká Británie (3,5 tis. ha), Portugalsko (2 tis. ha). Všechny tyto země produkují přednostně farmaceutické odrůdy máku. Významným pěstitelem mimo Evropskou unii je Turecko s výměrou více než 10 tisíc ha. Pěstují zejména žlutosemenné a bělosemenné odrůdy. Dalším významným producentem je Tasmánie s 4 až 5 tis. ha a Čína s 2 až 3 tis. ha (Lohr, 2017).

Spotřeba a vývoz máku

Spotřeba máku v ČR je 300 až 400 gramů na osobu ročně (Lohr, 2017). Česká republika orientuje svoji produkci na vývoz. Kolem 85 % vypěstovaného makového semene v ČR se každoročně exportuje do třiceti zemí. Mezi největší odběratele českého máku patří země Evropské unie (60 %), následované východoevropskými státy (Rusko), Asií a Severní

Amerikou (Lohr, 2017). Podle údajů Faostatu byla ČR v letech 1993 – 2013 nejvýznamnějším exportérem konzumního máku – průměr cca 22,9 tis. tun (Zehnálek, 2016).

Dovozy máku

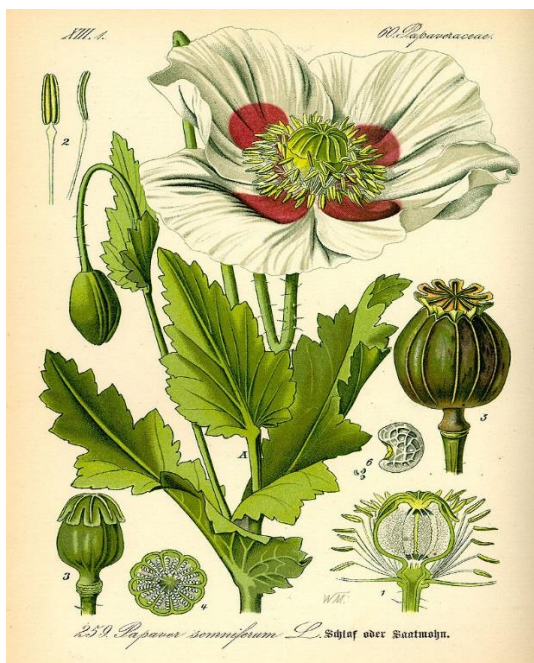
Mezi nejvýznamnější dovozce máku do ČR patří Španělsko, Slovensko, Itálie a Rakousko (Lohr, 2017). V posledních letech se významně navýšily dovozy máku do ČR, kdy představují zhruba 4 až 6 tisíc tun ročně. Většinou se jedná o dovezený technický mák, který se smíchá s českým a prodává se jako český modrý mák. Nevýhodou je, že většina máku je vyvážena v surovém stavu a dováženy jsou právě makové směsi. Do pekařských výrobků se dává méně máku a nahrazuje se levnými náhražkami, aby konečná cena byla nižší (Fialová, 2017).

3.2 Biologie máku setého

3.2.1 Botanická charakteristika

Mák setý (*Papaver somniferum* L.) je rostlina z čeledi makovitých (*Papaveraceae*) (Özcan a Atalay, 2006). Mák setý je jednoletá až vytrvalá bylina (Hejný a Slavík, 1988). Rod mák (*Papaver*) zahrnuje asi 110 druhů (Kapoor, 1995). Jde o taxon vyskytující se hlavně v mírném pásmu severní polokoule. Celá rostlina je prostoupena v oblasti floému hustou sítí mléčnic s latexem. Všechny máky obsahují v latexu alkaloidy, jejichž výzkum zahájil německý lékárník Sertürner v roce 1803 (Bechyně a Novák, 1987).

Sekce *Papaver* zahrnuje pouze dva jednoleté druhy – mák setý (*Papaver somniferum* L.) a mák štětinkatý (*P. setigerum* DC.). Mák štětinkatý je chápán jako předchůdce máku setého. *P. setigerum* je převážně tetraploidní ($2n = 44$, výjimečně $2n = 22$), *P. somniferum* je diploidní (Novák a Preininger, 1981). Rostlina máku je uvedena na obr. 3.



Obr. 3: Rostlina máku setého (Wikipedia, 2017)

3.2.2 Morfologická charakteristika

Klíční rostlina

Na povrch půdy proniká rostlina máku ohnutým hypokotylem, kterým se postupně narovnává, a děložní lístky se vidlicovitě rozevírají. Jsou úzce čárkovité (10 mm dlouhé, 0,8 mm široké), na vrcholu zašpičatělé a na bázi mírně srostlé. Délka hypokotyly závisí na kultivaru, hustotě rostlin, výživě atd. Charakteristickým znakem hypokotyly je bezbarvé až černofialové zbarvení. Rostliny s fialovou bazální skvrnou mají i fialový hypokotyl. Hypokotylové zbarvení může silně korelovat se zbarvením bazální skvrny lístku korunního. První listy jsou řapíkaté, s podlouhlou čepelí a s ojedinělými zuby na okraji. Jemný, bohatě větvený a mělce kořenící kořínek mnohonásobně převyšuje délkou nadzemní část rostliny (Bechyně a Novák, 1987).

A. Vegetativní orgány

Kořenová soustava

Kořenová soustava máku je tvořena dužnatým, kulovým hlavním kořenem, který je doplňován několika silnými postranními kořeny. Hlavní kořen dorůstá délky 0,5 – 0,75 cm. Hmotnost kořene představuje přibližně 1/5 hmotnosti sušiny celé rostliny (Bechyně a Novák, 1987). Dobré zakořenění podporuje vápník v půdě, vláh a rané setí (Fábry a kol., 1992).

Existují důkazy kořene o absorpci vody z hloubky více než 1,5 m (Mahdavi-Damghani et al., 2010).

Lodyha

Stonek máku setého roste negativně geotropicky, pozitivně fototropicky s exogenním větvením v úžlabí středních listů a s ortotropickou orientací k povrchu půdě. Větvení je cymózní, větve 1. řádu převyšují hlavní stonek. Odklon větví je od stonku vzpřímený až přímo odstávající. Výška lodyhy je ovlivněna kultivarem, sponem, raností setby atd. (Bechyně a Novák, 1987). Lodyhy jsou přímé nebo vystoupavé a štětinatě chlupaté (Hejný a Slavík, 1988). Průměrná výška lodyhy se pohybuje v intervalu 0,5 – 2 m (Novák, 1990). Lodyhy středoevropských kultivarů se větví ve výšce asi 0,4 – 0,5 m, při tloušťce stonku nad zemí asi 15–20 mm. Počet větví také závisí na druhu kultivaru, hustotě porostu, výživě, termínu setí atd. Dědičným znakem je stupeň štětinatosti stonku pod květem, je rozlišován buď stonek lysý, slabě štětinatý nebo silně štětinatý (Bechyně a Novák, 1987). Zbarvení antokyany se objevuje až po odkvětu, jeho intenzita odpovídá zbarvení tobolky a bazální skvrně petalů (Fábry a kol., 1992).

Listy

Na rostlině lze rozlišovat spodní listy (tj. od země k prvnímu větvení), střední (v úžlabí vyrůstají větve) a horní (na větvích). Listy jsou poloobjímavé někdy zkadeřené (čepel zvlněná). Čepel spodních popř. středních listů je vykrajovaná, u horních listů je okraj pilovitě zubatý. Barva listů je světle zelená až tmavě zelená, pokrytá šedozeleným až modrozeleným povlakem. Listy jsou pokryty trichomy na žilnatině. Tvar listů je úzce kopinatý až kopinatý. Rozestavení listů na stonku je střídavé bez palistů (Hejný a Slavík, 1988). Spodní listy během růstu žloutnou a odumírají. Asimilace se proto přesouvá na více osvětlené listy. Počet listů (15 – 28) i jejich tvar a velikost závisí na odrůdě i na vlivu stanoviště (Bechyně a Novák, 1987).

B. Generativní orgány

Poupata

Poupata máku jsou asi 30 – 50 mm dlouhá a 12 – 30 mm široká. Tvar poutat je podlouhlý až oválný (Bernáth, 1998). Vnější část poutat je tvořena dvěma kališními lístky, které přisedají ke krčku semeníku a pevně objímají stočené plátky korunní s dalšími částmi květu. Bezprostředně před rozkvetem se vzpřimují. Poupata jsou lysá s barvou žlutozelenou až zelenou. U evropských kultivarů jsou poutata poměrně měkká, zatímco u asijských kultivarů jsou převážně tvrdá (Bechyně a Novák, 1987).

Květy

Při rozkvětu odpadávají kališní lístky a čtyři v poupěti se vyrovnávají kolem svrchního cenokarpního gynaecia. Květ máku odkvétá po 1 – 2 dnech, poté koruna opadáva (Bechyně a Novák, 1987). Korunní lístky jsou obvykle fialové nebo bílé, případně i červené nebo růžové (Novák a Preininger, 1981). Kališní lístky jsou většinou 2 volné nebo srostlé, korunní obvykle 4 ve dvou kruzích (Hejný a Slavík, 1988). Na začátku kvetení se nejdříve otevírá květ na hlavním stonku. Korunní plátky jsou 50 – 110 mm dlouhé a 60 – 130 mm široké s různými barvami (bílá, růžová, červená) (Bechyně a Novák, 1987). Množství tyčinek se pohybuje cca 100–250. Tvarem jsou tenké, válcovité a sestavené v pěti kruzích (Fábry a kol., 1992). Pylová zrna mají eliptický tvar. Některé pylové váčky pukají ještě před rozkvětem a uvolňují zralá pylová zrna (cca 12 hodin před rozkvětem). Semeník je tvořen 5 – 20 plodolisty, z nichž každý vytváří jeden bliznový lalok přisedlé blizny. Jemné chmýří bliznového laloku dozrává od okraje ke středu blizny až do otevření květu – odtud vyplývá částečná cizosprašnost květů máku. Mák je většinou samosprašný, částečně entomofilní. Zralý pyl se na bliznu dostane v průběhu rozkvětání. Za příznivého počasí dochází k cizosprašení až u 30 % z celkového počtu oplozených vajíček včelami. Za deštivého počasí je podíl cizosprašení podstatně menší (Bechyně a Novák, 1987).

V roce 2005 se na České zemědělské univerzitě (ČZU) uskutečnil výzkum na tobolek máku bez semen. Bylo zjištěno, že vliv na tobolek bez semen má jednak fyto toxický účinek herbicidů, ale i problém s opylováním. Mák je plodinou fakultativně cizosprašnou. Zralý pyl se z prašníku uvolňuje již před otevřením poupate a k hlavnímu podílu opylení může dojít už v poupěti. Proto mohlo dojít i k tomu, že v době otevření květu včely květ nenavštívily (Havel, 2005).

Tobolka

Polymetrické gynaecium dozrává v tobolek (makovici), což je hospodářsky nejdůležitější orgán máku (Bechyně a Novák, 1987). Plodem je tobolek (Özcan and Atalay 2006). Typ tobolek – stav otvorů (děr) pod terčem v době zralosti, je jedním z významných hospodářských znaků s požadavkem na neotevírající se tobolek (ani ve fázi zralosti). Tvary tobolek jsou rozmanité: úzce eliptické, široce oválné, kulovité, kuželovité. Tobolka má délku 20 – 60 mm a šířku 15 – 50 mm. Za charakteristickou tobolek kultivarů se považuje tobolek na hlavním stonku, která je nejlépe vyvinuta bez povrchových nerovností. Povrch tobolek je hladký nebo více či méně vrásněný. Podíl semene na hmotnosti plné tobolek činí až 2/3, podíl makoviny až 2/5, při celkové hmotnosti 2 – 8 g. Síla stěny se obvykle pohybuje okolo 10 mm

(Bechyně a Novák, 1987). Typ tobolky je buď otevřený (hledák), pootevřený či uzavřený (slepák). Na rostlině bývá 2 – 7 tobolek. Tobolka roste nejdříve do šířky, poté do výšky (Fábry a kol., 1992).

Semeno

Semena máku jsou ledvinovitého tvaru a dlouhé asi 1 – 1,5 mm (Fábry a kol, 1975). Semena jsou drobná a mají silně vyvinutý endosperm (Hejný a Slavík, 1988). Jsou lehce měkká a zploštělá se zbrázděným povrchem. Průměrná hmotnost tisíce semen se pohybuje kolem 0,55 g. Zralé semeno obsahuje asi 45 % polovysychavého oleje, 18 – 26 % dusíkatých látek, 16 – 24 % glycidů, lecitin, celulózu, anorganické látky a vodu. Na tvorbě oleje se podílejí mastné kyseliny, např. kyselina stearová, palmitová, olejová (Bechyně a Novák, 1987).

Barva semene závisí na pigmentaci obalu a patří k nejvýznamnějším znakům kultivaru. Barva je v korelaci se zbarvením korunních lístků i do určité míry s obsahem oleje v semeni a s obsahem morfinu v tobolce (Fábry a kol., 1992).

3.2.3 Růst a vývoj rostliny

Mák klíčí při teplotě 3 – 4 °C, což odpovídá výsevu koncem února až počátkem března. Vzházení trvá asi tři týdny. Pokud máky nevzejdou, přesévají se kolem poloviny dubna. Kvetení máku nastává v nížinách kolem 15. 6., sklízet se začíná po 1. 8. (Vašák a kol., 2010).

Růst rostlin máku

Růst rostlin máku lze rozdělit na tři hlavní období:

- období pozvolného růstu,
- období největší asimilace rostlin,
- období postupného odumírání rostlina a zrání.

Období pozvolného růstu je charakterizováno od fáze klíčení semen přes vzházení rostlin do vytvářené prvních pravých listů. Po třech až čtyřech týdnech po vzejití, rostliny jsou vyvinuty čtyřmi až pěti pravými listy. Kúlový kořínek se rychle prohlubuje do půdy a celý kořenový systém se rozvíjí. K prodlužování internodií dochází v sedmém až osmém týdnu.

Hlavním obdobím růstu rostlin je období největší asimilace rostlin. Začíná rychleji přibývat organická hmota až do fáze vývoje zelených tobolek. Do tohoto období spadá i kvetení máku. Stonek s malým poupětem je vzpřímený, postupně se prodlužuje, až dojde k jeho ohnutí k zemi. Poté dojde znovu k napřimování a květ se začíná rozvíjet (Vašák a kol., 2010). Květy jsou oboupohlavné (Hejný a Slavík, 1988). Květy se rozevírají časně ráno před východem

slunce, večer se uzavrou. S napřimováním pupat dochází i zároveň k dozrání generativních orgánů květu máku. Dochází k narovnávání paprsků blizny a současně se uvolňují tyčinky. V případě, že jsou kališní lístky zcela vyvinuté a začínají se žlutozeleně zabarvovat, z prašníku vypadává pyl, přičemž poupě puká.

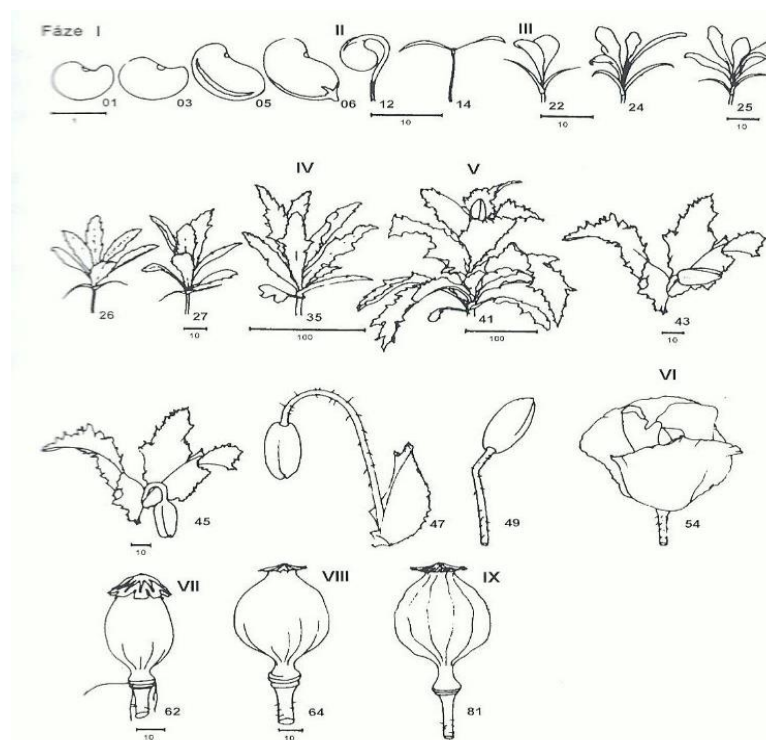
V období postupného odumírání rostlin a zrání se zvětšuje semeník neboli budoucí makovice. Mladé tobolky se mění od zelených dužnatých tobolek po žlutohnědé až hnědé. Tobolky některých odrůd mohou i fialovět. Ke změnám dochází i u stěn, které postupně tvrdnou a dřevnatí (Vašák a kol., 2010).

Vývojové fáze rostliny

Bechyně a Novák (1987) uvádějí pro stanovení vývojové fáze pro mák setý následující stupnice:

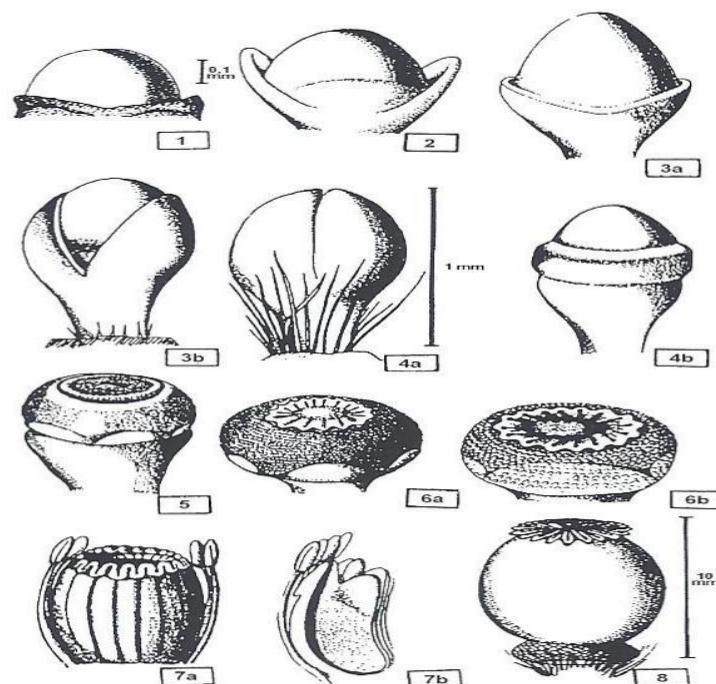
- makrofenologickou stupnici,
- mikrofenologickou stupnici.

Na obr. 4 je znázorněna makrofenologická stupnice máku setého. Jsou zde zobrazeny fáze od klíčení semene do zralosti semene. Znázorňující fáze: 01 – 06 klíčení semene, 12 – 14 vzházení, 22 – 27 vytváření prvních pravých listů, 35 přízemní listová růžice, 41 – 49 stonkování a butonizace, 54 kvetení, 62 – 64 vytváření tobolky, 81 plná zralost.



Obr. 4: Makrofenologická stupnice pro mák setý (Bechyně a Novák, 1987)

Na obr. 5 je zobrazena mikrofenologická stupnice máku pro tvorbu vzrostného vrcholu máku. Ve fázi 1 je ještě vrchol nediferencovaný v polokulovitém tvaru. Na spodní části vrcholu se začínají objevovat kališní lístky (fáze 2). Ve fázi 4 kališní lístky postupně uzavírají zbývající část vrcholu. V další fázi 5 se tyčinky diferencují v prašníky, velmi krátké a poté se od sebe oddělují a vytváří základ blizny, který má zvlněné okraje. Fáze 7 je charakteristická plně vyvinutými tyčinkami převyšující pestík, jehož základ semeníku vytváří ještě ne plně uzavřenou tobolku. Ve fázi 8 se pod kališními lístky vytvořila malá tobolka se všemi základními znaky (Vašák a kol., 2010).



Obr. 5: Mikrofenologická stupnice máku setého – Etapy organogeneze vzrostného vrcholu máku (Bechyně a Novák, 1987)

Podrobný makrofenologický popis vývojových fází (BBCH) máku setého je uveden v tabulce 1.

Tabulka 1: Makrofenologické znázornění BBCH máku setého (upraveno dle Bechyně a Novák, 1987)

Růstová fáze	Kód
Klíčení	0
Suché semeno	1
Nabobtnalé semeno	3
Prasknutí osemení	5
Vyrašení zárodečného kořínku ze semene	7
Vzcházení	10
Objevení hypokotylu se složenými dělohami – začátek vzcházení	12
Dělohy vidlicovitě rozevřené	14
Vytváření prvních pravých listů	20
Fáze 1. a 2. pravého listu	22
Fáze 3. a 4. pravého listu	24
Fáze 5. pravého listu	25
Fáze 6. pravého listu	26
Fáze 7. pravého listu	27
Přízemní listová růžice	30
Fáze růžice	35
Stonkování a butonizace	40
Objevení mladého poupěte na krátkém stonku mezi listy přízemní růžice	41
Stoněk s poupětem je kratší než listy přízemní růžice	43
Fáze mladého poupěte – převislé poupě na stonku nepřevyšuje horní listy	45
Stoněk s převislým poupětem převyšuje všechny listy	47
Květní stopka přímá, poupě vzpřímené	49
Kvetení	50
Začátek kvetení – do rozkvetu prvních květů u 10 % rostlin	52
Plné kvetení – kvete většina rostlin	54
Odkvět – většina (90 %) květů odkvetlých	56
Vývoj tobolky	60
Fáze mladé tobolky – dosažení konečného tvaru a velikosti u prvních tobolel	62
Fáze vyvinuté tobolky ve tvaru a velikosti – zelená zralost	64
Zrání tobolky	70
Začátek zrání (žloutnutí) tobolky	72
Vysychání a zrání tobolky – žlutá zralost	74
Dozrávání tobolky a semen – tobolka kožovité konzistence	76
Plná zralost	80
Plná zralost tobolky a semen	81
Dormance semen	90
Dormance semen	91
Ztráta dormance semen	93

Ideotyp universálního modrosemenného máku setého

Počet tobolek na jedné rostlině souvisí s počtem rostlin na plošné jednotce. Cílem je pravidelné rozmístění rostlin ve čtvercovém sponu, které minimálně větví, tj. s 1 – 2 tobočkami. Počet semen v 1 tobočce u máku se pohybuje v rozmezí 4 – 6 tisíc. HTS by se měla pohybovat kolem 0,8 g. Obsah morfinu v sušině tobolek (v době jejich plné zralosti) je závislý i na půdních podmínkách a průběhu ročníku. Např. vlhké počasí v průběhu zrání obsah morfinu snižuje. Bylo zjištěno, že nejvíce morfinu obsahují máky se semenem stříbrošedým, středně s modrým a nejméně s bílým semenem. Obsah morfinu by měl být 40 – 80 % z celkového obsahu alkaloidů. Barva semene patří mezi důležité vlastnosti jakosti máku. Cílem je modré semeno odstínu blankytně nebo sytě modrého. Obsah oleje v sušině semene by měl být 50 %. Obecně nejvyšší olejnatost mají bílá semena, nejnižší modrá. Optimální počet rostlin na m² je odhadován 65 rostlin. Cílem je dosažení 65 makovic na 1 m² (Bechyně a Novák, 1987).

3.2.4 Požadavky máku na vnější prostředí

Požadavky na světlo, teplotu a vláhu

Naše odrůdy máku se řadí mezi rostliny dlouhodobní, tedy náročné na světlo. Nedostatek světla se na rostlinách projevuje celkovým oslabením, snížením výnosu semene i menším obsahem alkaloidů v tobočkách. Velmi žádoucí je slunečné a teplé počasí v době kvetení a dozrávání tobolek (Bechyně a Novák, 1987). Doporučuje se rané setí, aby probíhalo období mezi fází klíčení až kvetení za podmínek prodlužujícího se dne, což urychluje vývin stonku a kvetení (Fábry a kol., 1992).

Teplota je rozhodujícím činitelem pro klíčení semen máku. Bechyně a Novák (1987) zjistili, že při teplotě 10 °C klíčí semena během 5 – 6 dnů, při 18 – 20 °C pouze 3 – 4 dny. Další zvýšení teploty již není efektivní. Při průměrných denních teplotách kolem 8 °C se objevovaly první vzešlé rostliny za 19 dnů, při 15 °C za 10 dnů. Nároky máku na teplo se během vegetace velmi mění. Zpočátku vegetace do nástupu rychlého růstu, snáší i nízké teploty. Vrcholující rostliny hynou až při -6 až -8 °C (Bechyně, 1993). S přibývajícím růstem rostlin a vývojem se odolnost rostlin proti nízkým teplotám velmi snižuje (Vašák a kol., 2010).

Mák je velmi náročný na vláhu od vzejití až do rozkvětu, poté se nároky snižují. Při jarním výsevu se celková potřeba vody během vegetace odhaduje na 250 – 350 l na m² (Bechyně a Novák, 1987). Mák se vysévá velmi mělce, proto musí být horní část půdy vlhká a nesmí se půda připravovat předem. Pro rostlinu je nebezpečný teplý duben s nočními

teplotami nad +5 až +10 °C nebo s mrazy. Pokud mák nemá dostatečně vytvořený alespoň 3 – 5 cm dlouhý kořínek, zaschne. Nebezpečné jsou i ranní mrazíky pro kořínek, protože mráz vodu z půdy zkondenzuje, slunce ji odpaří a klíčící rostlina zahyne. Aby se předešlo tomuto problému, mák je vyséván do hloubky set'ové rýhy až 4 cm. Od fáze plné růžice asi do poloviny května má mák poměrně dobře vyvinutý kulový kořen a snáší suchovzdornost. Na vodu je mák nejvíce náročný v období dlouhivého růstu a kvetení, tedy od poloviny dubna do konce června (Vašák a kol., 2010).

Požadavky na půdu a živiny

Nejlépe máku vyhovují středně těžké, hluboké, hlinité až písčitohlinité půdy. Mladým rostlinkám zvláště při vzházení velmi škodí půdní škraloup. Fosfor nejčastěji limituje využití dalších živin, i ve výsledku výši výnosu semen i makovic. Nadměrné dávky dusíku zvyšují větvení rostlin, náchylnost k poléhání a nerovnoměrné a pozdní dozrávání rostlin. Mák je náročný na hnojení stopovými prvky. Nejvyšší nároky má na bór a molybden (Bechyně, 1993).

3.3 Fotosyntetické předpoklady tvorby výnosu máku

3.3.1 Využití fotosynteticky aktivního záření (FAR)

Pronikání slunečního záření je závislé na sklonu listů. Světlo proniká mnohem méně do porostu s pravidelně rozmístěnými, horizontálními listy v rovině než do porostu s malými, náhodně rozmístěnými listy. Obhospodařování porostu má za následek výraznou změnu listového sklonu u mnoha plodin. Absorpce slunečního záření u řídkých porostů je nízká a tím i koeficient účinnosti fotosyntézy u těchto porostů je také velmi nízký. Na druhé straně, sluneční záření může být dostatečně absorbováno hustým porostem s vysokou pokryvností listoví (LAI), ale v důsledku nadměrného vzájemného zastínění listů i tak může být fotosyntéza nízká. Četná pozorování potvrzují, že nedostatečné LAI je jedním z hlavních rysů neoptimální morfologické struktury a je spojena s nízkou účinností sluneční energie (Petr a kol., 1988).

Podle Salisburiho a Rosse (1992) pro metabolické procesy rostlin má prvořadý význam fotosynteticky aktivní záření asi od 400 až do 735 nm V průměru 45 % dopadající sluneční energie je v rozmezí 380 – 710 nm, což je rozsah účinného záření využívané rostlinami pro fotosyntézu.

Spektrální složení slunečního záření dopadajícího na povrch Země: UV záření 4 % (rozsah 290 až 380 nm), viditelné záření = FAR 45 % (rozsah 380 až 710 nm) a infračervené

51 % (rozsah 750 až 4 000 nm). Sluneční záření se dostává k povrchu atmosféry o průměrné hustotě $1,36 \text{ kJ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ($= 1360 \text{ W m}^{-2}$).

V porostech rostlin probíhá fotosyntéza v listech. Listy jsou rozloženy patrovitě nad sebou, které se mohou i částečně překrývat a vzájemně zastiňovat. Dopadající záření při průchodu těmito patry je postupně absorbováno a zužitkováno. Pokryvnost listoví a uspořádání listů ovlivňuje úbytek záření v porostu. Pokud je $\text{LAI} = 4$, znamená to, že daná plocha půdy je pokryta čtyřikrát větší plochou listů, která je rozložena ve více patrech. Tím, že záření musí projít tímto množstvím pokryvu, jeho intenzita klesá téměř exponenciálně, ve shodě s Lambertovým-Beerovým extinkčním zákonem. Extinkční koeficient vyjadřuje při daném LAI stupeň snížení záření v porostu.

Část dopadajícího záření se od rostlinného povrchu odrazí (reflexe), absorbuje a propustí (transmise). Ve viditelné oblasti odrážejí listy v průměru pouze 6 – 10 %. Zelené světlo se odráží intenzivněji (10 – 20 %) než oranžové a červené (3 – 10 %). V UV oblasti neodráží listy více než 3 %, zatímco v infračervené oblasti odrážejí listy 70 % dopadajícího záření kolmo na jejich povrch (Larcher, 2001). Schopnost odrážet světlo je ovlivněno vlastnostmi listového povrchu. Např. hustý pokryv chloupků může zvýšit odraz infračerveného a viditelného záření na dvojnásobek až trojnásobek (Larcher, 1988).

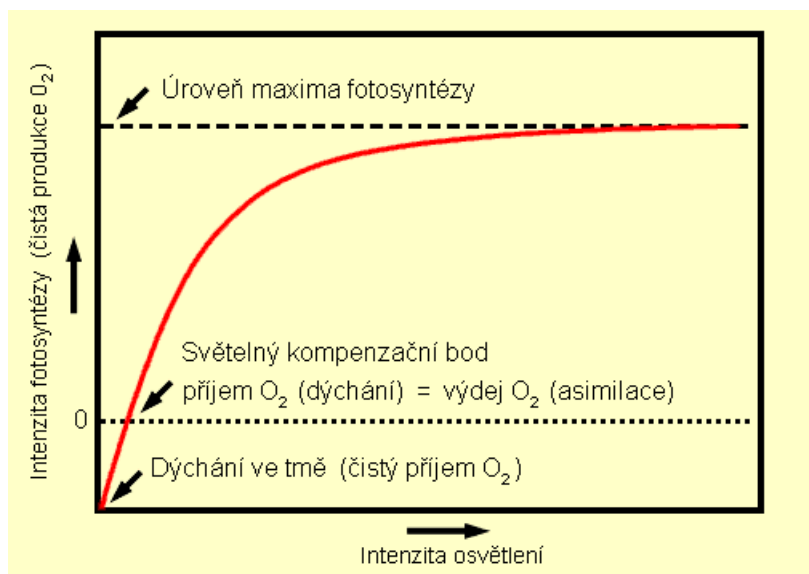
Větší část dopadajícího záření je absorbována. Většinu UV záření zadrží především voskové kutikulární a vnější korkové vrstvy epidermálního pletiva a fenolové složky buněčné šťávy ve vnějších vrstvách. Hluběji do listu se dostane nejvýše 2 – 5 %, obvykle méně než 1 % UV záření. Chloroplastové pigmenty určují absorpci viditelného světla, tzn. tam, kde jsou absorpční maxima chlorofylů a karotenoidů, mají spektrální křivky absorpce listů maxima. Asi 70 % záření, pronikajícího do mezofylu, je absorbováno chloroplasty. Při průchodu listem se záření postupně zeslabuje. Infračervené záření v oblasti do 2 000 nm je absorbováno jen velmi málo, ale nad 7 000 nm je absorbováno téměř všechno (cca 97 %).

Průchod neboli transmise záření listy závisí na jejich struktuře a tloušťce. Velmi tenké listy propouštějí až 40 % slunečního záření, měkké a ohebné listy 10 až 20 % a tlusté, tuhé nepropouští téměř nic (méně než 3 %). Transmise je nejintenzivnější tam, kde je především velký odraz, např. u infračerveného záření. UV záření nebo intenzivní viditelné záření způsobuje fotodestrukční účinky.

Rostliny se rozdělují mezi druhy rostoucí při světle o nižší intenzitě a ve stínu (sciofyty) a druhy rostoucí na slunci (heliofyty). Pokud v záření převládá červená složka, zvyšuje tvorbu

chlorofylu *a*, je-li hojně zastoupená zelená a modrá složka záření, akumuluje se chlorofyl *b* a karotenoidy.

Závislost fotosyntézy na záření se vyjadřuje saturační křivkou. Při velmi slabé intenzitě světla tato křivka znázorňuje výdej CO_2 , pokud je více CO_2 uvolňováno dýcháním, než je vázáno při fotosyntéze. Pokud dojde k vyšší intenzitě ozáření, listy dosahují kompenzačního bodu (obr. 6). Světelný kompenzační bod je dosažen tehdy, kdy fotosyntéza váže tolik CO_2 , kolik je uvolňováno dýcháním. Zvyšování intenzity osvětlení podporuje intenzitu fotosyntézy. Vysoké množství světelného záření již nevyvolávají další zvýšení intenzity fotosyntézy a tím se postupně snižuje účinnost využití světla rostlinou. Nakonec dojde ke stavu nasycení, kdy rostlina na zvyšování množství světla již nereaguje a intenzita fotosyntézy dosahuje maximální hodnoty. Rostliny, které dýchají rychle, vyžadují pro kompenzaci vyšší intenzitu osvětlení oproti rostlinám s nižším dýcháním. Listy stínomilných rostlin dýchají méně než listy slunné, proto jejich kompenzační bod leží v oblasti nižších intenzit světla. Sciiofyty dosahují bodu nasycení kolem 100 W m^{-2} , dokáží lépe využít slabého světla oproti heliofytům. Heliofyty lépe využívají plného světla, mezi ně se řadí zemědělské plodiny (i mák setý), dosahující nejvyšší možné výnosy (Larcher, 2001).



Obr. 6: Závislost intenzity fotosyntézy na dodávaném množství světla (Pelikán, 2002)

Parvaiz (2012) ve své studii navrhol, aby došlo ke snížení obsahu epikutilárního vosku, což by redukovalo reflektanci světla a výsledkem by byla zvýšená absorpce světla listem.

Produkce rostlinné biomasy je závislá na schopnosti vrcholu plodiny zachytit záření a převést zachycenou energii do biomasy, tzv. radiation-use efficiency (efektivita využití

záření) neboli RUE (Monteith, 1977). Při srovnávání RUE u pšenice, rýže, slunečnice a kukuřice, má kukuřice obecně vyšší RUE (Andrade, 1995).

3.3.2 Pokryvnost listoví (LAI)

Dopadající světelné záření absorbují všechny orgány rostliny, především listové čepele. Pro vyjádření schopnosti absorpce záření porostem se nejčastěji používají hodnoty pokryvnosti listoví neboli index listové plochy (LAI). Bylo zjištěno, že LAI významně přispívá k zvýšení výnosu zrna než jiné fyziologické parametry, např. i při stresu rostliny zasolením (Parvaiz, 2012). Pro vyjádření asimilační plochy a doby jejího trvání se dále používá termín integrální listová plocha (LAD) a fotosyntetický potenciál (FP) udává sumu jednotek (m²) asimilační plochy na 1 rostlinu za určitou část vegetačního období (Petr a kol., 1980). Dále se používá charakteristika poměrná olistěnost, poměr listové plochy k celkové váze sušiny a specifická rychlost růstu listové plochy, která udává, jakou rychlostí se rozvíjí listová plocha (případně jiný orgán) k maximální listové ploše (Šesták a Čatský, 1966).

Index listové plochy je klíčovým parametrem modelů, které jsou široce používány ke studii vegetace, hydrologie, ekologie a klimatických změn (Bréda, 2003). LAI je plocha povrchu listů na jednotku půdorysné plochy, která tomuto porostu připadá (Shabanov et al., 2005). LAI se vypočítá vztahem: $L = A/P$, kde A uvádí asimilační plochu v m² a P je plocha pozemku v m². Teoreticky je LAI optimální, pokud zachycují v porostu listy fotosynteticky aktivní záření tak, že osvětlení nejspodnějších listů je těsně nad jejich kompenzačním bodem. Pokryvnost listoví je významnou charakteristikou celkového asimilačního aparátu rostlin a do značné míry rozhoduje o ostatních růstových charakteristikách rostlin v porostu. V konkurenci o světlo jsou zpravidla úspěšnější rostliny s vyšším LAI. Z minerální výživy příznivě působí na LAI především dusík. Pro každý porost tedy skutečně existuje hodnota LAI, která se dá považovat za daných stanovištních podmínek za optimální. Vyplývá to i z toho, že hodnota produktivity porostu C je součinem průměrné pokryvnosti listoví LAI a průměrného čistého výkonu asimilace E mezi dvěma odběry: $C = L * E$. Čistý výkon asimilace je průměrný přírůstek celkové váhy sušiny, vztažený na jednotku asimilační plochy (listů). U většiny kulturních porostů se optimální hodnoty LAI pohybují v rozmezí 3 až 5 (Šesták a Čatský, 1966).

Základní požadavek na minimální velikost asimilační plochy, která by měla plně pokrývat půdu po celou dobu vegetace, se míní taková hustota, kdy na povrch půdy dopadá méně než 5 % dopadajícího záření na porost (Petr a kol., 1980). LAI se obvykle zvyšuje během růstu a rozvoje rostliny. Maximum LAI může být ovlivněno hustotou, hnojením a dalšími

zásahy v porostu (Šesták et al., 1971). Při nedostatku vody se zpomaluje vlivem sníženého turgoru růst listová plocha, čímž se snižuje i využití slunečního záření porostem a celková tvorba sušiny (Petr a kol., 1980).

Velikost optimálního LAI závisí především na vertikální struktuře porostu. Jedná se o početní zastoupení jednotlivých výškových tříd rostlin, údaje o hmotnosti, ploše listů, o počtu a tvaru listů atd. Cílem je identifikovat vertikální profil porostem a zjistit, jak se jednotlivá patra podílejí na celkové produktivitě porostu (Šesták a Čatský, 1966). Optimální LAI může být dosahováno, pokud jsou vytvořeny 2 až 3 vrstvy horizontálních listů ($LAI = 2 - 3$), v případě šikmých nebo vertikálních listů mohou být dokonce i vyšší hodnoty LAI (Petr a kol., 1988). Na základě modelu fotosyntézy porostu při $LAI = 3$ a méně, není fotosyntéza porostu ovlivněna orientací listů. Vertikální orientace listů je výhodná až při vyšších hodnotách LAI. Horizontální orientace listů je žádoucí na počátku růstu, kdy LAI i světelná intenzita záření jsou nízké. Bylo zjištěno, že se stoupající hodnotou LAI stoupá i dýchání (Petr a kol., 1980).

Listy jsou uspořádány na rostlině pod různým úhlem. Úhel, který svírá každá čepel nebo část čepele s horizontem se mění podle druhu a stavu ontogeneze. Ideální typ rozložení listů na rostlině je, pokud listy vrchních pater jsou postaveny vertikálně a spodní listy horizontálně. Takový typ rostliny dokáže využít maximální množství sluneční energie (Šesták a Čatský, 1966).

Vzhledem k povrchu půdy, může být rozeznáváno několik typů listů, pod různým úhlem:

- planofilní – s hlavním podílem více či méně horizontálních listů,
- erektofilní – s hlavním podílem více či méně vertikálních listů,
- plagiofilní – s hlavním podílem více či méně šikmých listů,
- extremofilní – s hlavním podílem vytvořeným přibližně stejným počtem vertikálních a horizontálních listů.

Podle různých autorů mají odrůdy obilovin erektofilní typy listů, kukuřice plagiofilní, a odrůdy cukrové řepy, brambor a luštěnin planofilní. U trav se listový sklon mění v průběhu vegetačního období (Petr a kol., 1980).

Existují různé typy metod pro odhadování LAI prostřednictvím satelitního senzoru (Deng et al., 2006). První typ je založen na principu vegetačních indexů, tzn. na různou kombinaci odrazivosti v různých spektrálních pásmech. Mnoho škol používá data tzv. pokročilých velmi vysokých údajů radiometru (AVHRR) pro globální a regionální studie.

Chen et al. (2002) používají vysoce rozlišené satelitních data a data pozemního měření pro výpočet hrubého rozlišení LAI. Dále Tang et al. (2007) vyvinuli nový algoritmus, který používá principy pozemního měření LAI založené na frakci mezery vrcholu porostu pro výpočet LAI.

3.3.3 Fotosynteticky aktivní pigmenty

Primárním předpokladem fotosyntézy je absorpce záření v chloroplastech. Využití záření je závislé především na koncentraci fotosynteticky aktivních pigmentů, tím se tato koncentrace stává limitujícím faktorem. Mezi fotosynteticky aktivní pigmenty patří chlorofyly, karotenoidy a fykobiliny. Pigmenty jsou umístěny na vnitřní straně thylakoidních membrán a mají funkci fotoreceptorů. Z pigmentů je nejdůležitější chlorofyl *a*, který je nezbytný pro přeměnu energie záření v chemickou. Chlorofyly v rostlinách zahrnují chlorofyl *a* a chlorofyl *b*, které se vyskytují v poměru přibližně 3:1 (Ferruzzi a Blakeslee, 2007). Chlorofyl *a* je převládající složkou fotosystému I (podíl s chlorofylem *b* je 6:1 až 10:1). Vyšší podíl chlorofylu *b* je ve fotosystému II (podíl s chlorofylem *a* je až 2:1). Doplnkové pigmenty (karotenoidy a fykobiliny) se vyskytují v obou systémech (Larcher, 2001).

Stresové podmínky, např. sucho, způsobují významné snížení fotosyntetických pigmentů (Parvaiz, 2012).

Chlorofyly

Chlorofyly jsou jedny z nejdůležitějších pigmentů, které jsou zodpovědné za zachycení solární energie, stejně jako pro oddělení a transport elektronů v reakčních centrech (Zhao et al. 2016). Nedávné studie potvrdily 27 genů kódujících 15 enzymů pro biosyntézu chlorofylu krytosemenných rostlin (Beale, 2005).

Obsah chlorofylů v listu je výsledkem vyváženosti syntézy stabilního chlorofylu a jeho degradací (Šesták, 1985). Jednou ze základních podmínek pro biosyntézu chlorofylů je přítomnost protochlorofylu a světlo. Prekurzory chlorofylů u okurky seté, tzv. protochlorofylidy, začínají vznikat brzy po začátku klíčení. Jsou zjištělné po 24 hodinách po vyklíčení, nicméně mohou být i po 12 hodinách. Prekurzory se akumulují pomalu během druhého dne klíčení a rychlost syntézy rapidně stoupá během třetího dne a poté se opět zpomaluje. Spektrometricky jsou estery protochlorofylidů zjištělné po dvou dnech. Poměr mezi protochlorofylidy k esterům protochlorofylidů se snižuje během druhého dne, navyšuje se třetího dne a poté opět klesá od čtvrtého a pátého dne. Tudíž se objevují poznatky, že

biosyntéza protochlorofylidů je zahájena asi 12 hodin před biosyntézou esterů protochlorofylidů. Kromě toho, toto zahájení biosyntézy se shodě i s biosyntézou xantofylů (Rebeiz et al., 1970). Protochlorofylid je fotoaktivní pigment lokalizovaný v prolamelárních orgánech (útvary v buňce rostlin, z něhož při vývoji chloroplastů vzniká thylakoidní systém) vyskytující se uvnitř proplastidů listů. V procesu konverze, vysoce fluorescenční protochlorofylidy se převedou na chlorofyly (Šesták, 1985).

V zelených řasách *Chlorella vulgaris* bylo zjištěno, že enzym protochlorofylid reduktáza může být inhibován přítomností subletální koncentrace rtuti. Důsledkem přítomnosti tohoto prvku je snížení biosyntézy chlorofylu a akumulace protochlorofylu (De Filippis and Pallaghy, 1976).

Obsah chlorofylu se nejčastěji pohybuje v rozmezí 2 až 6 mg na 0,01 m² listové plochy, což odpovídá 0,5 až 2 % sušiny listu. Ve většině studií nebyla zjištěna závislost rychlosti fotosyntézy na obsahu chlorofylu (Petr a kol., 1980).

Karotenoidy

Podle Šestáka (1985), funkce karotenoidů ve fotosyntetických pletivech vyšších rostlin není zcela jasná. Potvrzuje, že karotenoidy určitě fungují jako anténní pigmenty, přijímající zářivou energii a předávající ji s nějakými ztrátami molekulám chlorofylu *a*. V literatuře jsou uváděny další dvě důležité funkce: ochrana chlorofylů proti zesvětlení a přímá účast xantofylů v mechanismu fotosyntézy.

Karotenoidy jsou sekundární absorbující pigmenty, tzv. doplňkové pigmenty. Provádí nezbytné fotoochranné mechanismy, které blokují tvorbu reaktivní formy kyslíku (ROS), což jsou například peroxidy. V období stresu se hladina ROS může dramaticky zvyšovat a vést k významnému poškození buněčných struktur. Obsah karotenoidů je zvýšen např. při působení těžkých kovů (Parvaiz, 2012).

Při nadměrném ozáření pletiv se v membránách tylakoidů a ve světlosběrných komplexech převádí violaxantin přes anteraxantin na zeaxantin, tzv. deepoxidace, kdy kyslíkaté karotenoidy obsahují kyslík ve formě hydroxi a epoxiskupin. Likvidují se tím singletové a tripletové stavy chlorofylů i kyslíkové radikály na teplo. Tato přeměna se nazývá tzv. xantofylový cyklus. Není však znám do detailů (Bradley a kol., 1991).

3.4 Produkce alkaloidů

Mák má velký význam v medicíně v důsledku přítomnosti více než 80 různých alkaloidů. Největší poptávka je po morfinu, kodeinu, tebainu, narkotinu a papaverinu. Indie je jedním z hlavních producentů a exportérů opia a jeho derivátů splňující národní a mezinárodní požadavky (Mishra et al., 2016).

Z hlavních skupin dusíkatých sekundárních metabolitů rostlin jsou alkaloidy. Význam alkaloidů není jednoznačný a předpokládá se, že jejich vznik souvisí s důsledkem obranného mechanismu rostlin. Biosyntéza alkaloidů je velice energeticky náročný proces, který vyžaduje účast specifických enzymů (Zenk, 2007). Z opia máku se získává polysyntetický preparát heroin (Bechyně a Novák, 1987). Hlavními faktory, které ovlivňují obsah morfinu, jsou: kultivar, dusíkaté hnojení a vodní režim, posklizňová úprava, přítomnost chorob a škůdců atd. (Jaszberenyi and Nemeth, 2012).

Podle Facchini and Park (2003) hlavními alkaloidy v opiu máku setého jsou alkaloidy typu:

- morfinu – morfin, kodein, thebain, pseudomorfin, neopin (suma tohoto obsahu činí v opiu 2 – 25 %),
- benzylochinolinu – papaverin, narkotin, narkotolin, narcein, oxynarkotin, laudanin, kodamin (obsah činí 2 – 12 %),
- protoberberinu – berberin (stopy množství)

V průběhu ontogenetického vývoje v rostlině máku postupně dochází k biosyntéze několika desítek alkaloidů. V rostlině se tvoří tzv. primární látky (nukleové kyseliny, bílkoviny, tuky a cukry), tj. sloučeniny, které se podílejí na základním metabolismu. Na druhé straně se vytváří i sekundární látky, které vznikají hromaděním vedlejších a konečných produktů metabolismu. Jsou to např. fenylypropany, acetogeniny, terpeny, steroidy a alkaloidy (Bechyně a Novák, 1987).

Alkaloidy se objevují za 2 až 3 dny po vyklíčení, nejdříve jsou v kořeni, pak i v hypokotylu, dělohách a pravých listech, nakonec ve stonku a tobolce. Kořeny obsahují nejvyšší množství alkaloidů ve fázi růžice listů až do fáze začátku stonkování, listy a lodyhy v období intenzivního růstu rostliny do fáze kvetení až 14 dní po odkvětu, tobolky v období jejich technické či opiové zralosti, což je 10 až 12 dnů před plným dozráváním (Fábry a kol., 1992). Semena máku alkaloidy neobsahují, protože zárodek (ani endosperm nebo testa) neobsahuje mléčnice. Mléčnice, jimiž je rostlina prostoupena ve floému, jsou článkovaného

typu. V době zralosti obsahují tzv. latex. V počátečních vývojích rostliny je mléčná šťáva řídká a mírně bělavá. V průběhu dalšího vývoje houstne (nejhustší je v tobolkách a nejjídnější v listech). Nejvíce jsou mléčnice vyvinuty ve střední (nejširší) části makovice, slaběji v horní části tobolky. Údaje, týkající se změn v celkovém výnosu morfinu z tobolky v průběhu vývoje, se liší. V některých pracích se uvádí maximální výnos morfinu z tobolek ve čtvrtém až pátém týdnu po odkvětu (Bechyně a Novák, 1987).

Obsah morfinu v sušině tobolek (ve fázi plné zralosti) je závislý na půdních podmínkách a průběhu ročníku, např. vlhké počasí v průběhu zrání jej snižuje (Novák a kol., 1991). Yadav et al. (2007) uvádějí, že charakteristické znaky tobolky máku mají specifický význam na celkovou produkci máku (morfinu a semen) a tudíž existuje pozitivní korelace mezi obsahem morfinu a velikostí tobolky a její váhy tisíce semen. Morfin, hlavní alkaloid opia, představuje 40 – 85 % z celkových alkaloidů. V ideálním typu universálního modrosemenného máku představuje obsah morfinu v sušině tobolky hodnotu 0,7 – 1 %. V rámci 65 souborů byl zjištěn průměrný obsah morfinu v sušině mezi 0,142 – 1,084 %, nejvyšší u odrůdy Tasmanian v obsahu 1,084 % (Novák a kol., 1991). Např. odrůda Buddha obsahuje morfin od 1,57 do 1,72 % a ostatní alkaloidy, jako je narkotin, thebain a papaverin ve velmi malých a zanedbatelných koncentracích (Stranska et al., 2013).

Morariu and Caulet (2011) zjistili, že mák setý ve fázi růžice (23 dní po vyklíčení) obsahoval velmi malé množství morfinu pouze v kořenech. Sazenice neakumulovaly žádné alkaloidy. Ve fázi kvetení byl nalezen morfin jak v kořenech, tak v listech, ale vyšší množství bylo detekováno v listech. Obsah morfinu v listech se zvyšoval začátkem 43. dne po vyklíčení a dále se již nezvyšuje ve fázi zelené tobolky. Maximální obsah morfinu byl dosažen ve 42 dnech po kvetení.

Bylo zjištěno, že v raném období vývinu rostliny se tvoří více vedlejších alkaloidů než morfinu. Morfin se začíná výrazněji hromadit až po ukončení fáze růžice listů. Během dne je nejvíce alkaloidů po poledni. Místem syntézy morfinu je především kořen, kde se vytváří hlavně v nočních hodinách a ve dne je přesouván do nadzemní části, která také syntetizuje alkaloidy. Později je syntéza přesunuta do generativních orgánů. Obsah alkaloidů v kořenu je 0,12 %. Stonek obsahuje nejvíce alkaloidů v části do vzdálenosti 7 až 10 cm pod tobolkou, nejméně alkaloidů je v horní části a v části lodyhy přiléhající k tobolce. Na obsah alkaloidů má výrazný vliv déšť po dozrání tobolek, který z nich může vymýt část alkaloidů (Fábry a kol., 1992).

Vysušené opium se skládá z přibližně 12 % morfinu s menším množstvím kodeinu, thebainu, papaverinu a také je přítomen noskapin (Dewick 2001). Morfin je jeden z neúčinnějších léků pro léčbu silné bolesti a kodein se často předepisuje jako analgetikum a lék na kašel. Nicméně morfin je také rovněž opiový alkaloid, který je často chemicky zpracováván k výrobě heroinu pro nelegální obchod s drogami (Ciccarone et al., 2009). Jediný způsob, jak sledovat tyto plochy pěstovaného máku např. v zemích Afghánistánu nebo Pákistánu, je dálkový průzkum země (Chuinsiri et al. 1997). Kun et al. (2011) prováděli 3-letý výzkum v severozápadní Číně, kde se zabývali indikátory pro odhad výnosu opia, tj. vztahem mezi výnosem opia a ostatními fyziologickými charakteristikami. Např. mezi vztahem výnosu opia a výškou rostliny nezpozorovali žádný obecný trend. Výška rostliny má malý vztah k podmínce produkce opia v máku. Jako vhodný indikátor potvrdili LAI. Významná korelace v pozorovaných obdobích byla mezi LAI a výnosem opia, pouze v období sazenice není LAI klíčovým ukazatelem pro tvorbu opia.

Skalický et al. (2014) ve svých pokusech s mákem zjistili, že neexistuje korelace mezi barvou semen a obsahem morfinu. Mezi nejvíce významné znaky, které ovlivňují produkci morfinu je váha tobolky po odstranění semen, velikost tobolky, počet tobolek na rostlině v konkrétním rozmístění na rostlině, což potvrzují i Singh et al. (2003). Harvest et al. (2009) potvrzují významnou korelaci mezi obsahem morfinu a hmotností tobolky a hmotností latexu. Brzké kvetení mělo škodlivý vliv na koncentraci alkaloidů v tobolce (Mahdavi-Damghani et al., 2010).

3.5 Kvalitativní parametry máku setého

3.5.1 Kvalita makoviny

Makovina se používá ve farmaceutickém průmyslu pro obsah morfinu. Makovina by neměla obsahovat podíl stonků pod tobolkami větší než 15 cm délky. Stonky totiž absorbují část extrahovaného morfinu, a tím se snižuje výtěžnost. Podíl prachových částic v makovině musí být co nejnižší. Vlhkost nesmí přesáhnout 15 % (Fábry a kol., 1992).

Podle Zupalové a kol. (2007) se kvalita makoviny charakterizuje makovinou (makovou slámou, makovinou a nečistoty) a technickými požadavky, jako je vzhled makoviny (zdravá, suchá, bez plísní, sklizená s plné zralosti).

Hodnocení kvality makoviny

V tabulce 2 jsou uvedeny parametry makoviny I. a II. jakosti. Makovina, za kterou by pěstitel nebo dodavatel dosáhl nejvyšších cen, musí splňovat čistotu 90 – 100 %, vlhkost maximálně 17 % a obsah morfinu minimálně 0,25 % (Zukalová a kol., 2008).

Tabulka 2: Hodnocení kvality makoviny (upraveno dle Zukalová a kol., 2008)

Znak	I. jakost	II. jakost
čistota	90 – 100 %	80 – 89,9 %
vlhkost	maximálně 17 %	
obsah morfinu	minimálně 0,25 %	

3.5.2 Kvalita semen

Kvalita semen máku je dána normou ČN 462312, podle které je hodnocena jako pochutina. Důraz je kladen na homogenitu barvy, čistotu a poškozená semena. Při prodeji pro pěstitel nebo dodavatele jsou důležité požadavky odběratele. Někteří odběratelé vyžadují i obsah morfinu, jehož požadavek se pohybuje v rozmezí 10 – 20 mg/kg semene (Zukalová a kol., 2008). Ve skutečnosti, jsou obsahy ale vyšší, způsobené zbytkovým prachem makovin (Zukalová a kol., 2007). Dále je pro odběratele důležitá i typická chuť semene bez příchuti zatuchlosti (Zukalová a kol., 2010).

Kvalitu makového semene určuje především obsah kyseliny linolové a chemické složení bílkovin. Za příměsi jsou považovány zlomky semen máku, poškozená semena máku a vzrostlá semena máku rezavé barvy. Mezi nečistoty patří jednak minerální (zemina, prach, písek) a jednak organické (části tobolek, stonků, listů). Dále se sem řadí i semena všech planě rostoucích semen, naplesnivělá semena a zapařená semena (Fábry a kol., 1992).

Podle Lohra (2016) problémem a nevýhodou našeho máku je častý výskyt semen s vyšším obsahem těžkých kovů, především kadmia. V přírodě se nachází poměrně vzácně, proto jeho hlavní příčinou existence je činnost člověka. Proniká do ovzduší jako součást průmyslových exhalací nebo průmyslových odpadů. Zdrojem mohou být i fosfátová hnojiva. Limit stanovený vyhláškou je 0,8 mg/kg. Dále jsou podle vyhlášky č. 399/2014 Sb. stanoveny další prvky a jejich maximální hodnoty:

Arsen	0,1 mg/kg
Rtuť	0,012 mg/kg
Olovo	1,0 mg/kg

Dalším vážným problémem jsou rezidua pesticidů i průmyslových hnojiv. Např. u glyfosátu je stanoven maximální limit 0,1 mg/kg. Tato hodnota je však na hranici měřitelnosti, což znamená pro zemědělce vyloučení glyfosátu při desikaci rostlin.

Pro dosažení vysoké kvality semen máku je zapotřebí:

- zcela vyrovnaný porost, neznečištěný jiným typem máku z předplodiny,
- sklízet v optimální zralosti (vlhkost okolo 8 %),
- po navezení z pole skladovat v řádu hodin v provětraném prostoru,
- při čištění semen dávat pozor na poškození v dopravních cestách,
- skladovat vyčištěný mák v pytlích, při 8 – 10% vlhkosti semen do teploty 20 °C, je záruční doba jeden rok (Zukalová a kol., 2010).

Je zjištěno, že některé evropské státy mají snahu o snížení limitu obsahu morfinu v makovém semeni na 10 mg/kg, oproti momentálním 25 mg/kg (Bouma, 2016).

3.6 Legislativa pěstování máku setého

Zákon č. 167/1998 Sb., o návykových látkách a o změně některých dalších zákonů upravuje zacházení s návykovými látkami (jejich vývoz, dovoz), zacházení s přípravky obsahujícími návykovou látku, pěstování máku, konopí a zneškodnění makoviny. Je zakázáno pěstovat odrůdy máku setého (*Papaver somniferum* L.), které mohou v sušině tobolek obsahovat více než 0,8 % morfinu (výjimku tvoří pěstování odrůd pro výzkumné a pokusné účely). Osoba pěstující mák je povinna neprodleně oznámit místně příslušnému oddělení Policie České republiky veškeré podezřelé okolnosti, zejména vstup cizích osob do porostu, nařezání makovic nebo odcizení makovic.

Ohlašovací povinnosti

Osoby pěstující mák setý nebo konopí na celkové ploše větší než 100 m² jsou povinni předat hlášení příslušnému celnímu úřadu dle místa pěstování:

- a) do konce května
 1. výměru pozemků osetých mákem nebo konopím pro sklizeň v příslušném kalendářním roce, včetně názvu odrůdy, čísla parcely, názvu a čísla katastrálního území, případně čísla půdního bloku,
 2. odhad výměry pozemků, na nichž bude pěstován mák nebo konopí v dalším kalendářním roce.

- b) v průběhu vegetace a sklizně nebo při zneškodňování sklizené makoviny údaje o výměře pozemků a způsobu zneškodnění máku setého, makoviny ponechané na pozemku nebo sklizené nebo konopí, včetně názvu použité registrované odrůdy, čísla parcely, názvu a čísla katastrálního území nebo identifikačního čísla půdního bloku, a to nejpozději do 5 dnů před provedením jejich zneškodnění; pokud osoba pěstující mák setý zpětně neodebere makovinu pocházející z vyčištěných semen, přechází povinnost předat hlášení při zneškodňování makoviny na osobu, která provedla čištění makových semen
- c) do konce prosince příslušného kalendářního roku
1. výměru pozemků, které byly oseté mákem setým nebo konopím, výměru pozemků, ze kterých byl sklizen mák setý nebo konopí, včetně názvu použité registrované odrůdy, čísla parcely, názvu a čísla katastrálního území nebo identifikačního čísla půdního bloku,
 2. množství sklizené makoviny, konopí, semene máku setého a semene konopí,
 3. hmotnost, sklizňový rok makoviny nebo konopí prodaného nebo jinak převedeného a identifikační údaje nového nabyvatele (Sbírka zákonů ČR, 1998).

Dne 26. 4. 2005 vstoupila v platnost vyhláška č. 151/2005 Sb., kterou se stanovily vzory formulářů pro hlášení osob pěstujících mák setý nebo konopí (Sbírka zákonů ČR, 2005).

Zákon č. 219/2003 Sb., o uvádění do oběhu osiva a sadby pěstovaných rostlin a o změně některých zákonů, vymezuje pravidla pro použití osiva máku setého a zákaz používání farmářského osiva (Sbírka zákonů ČR, 2003).

V roce 2014 byla vydána vyhláška č. 320/2014 Sb., která byla později nahrazená vyhláškou č. 172/2015, o informační povinnosti příjemce potravin v místě určení. Dovozece je povinen oznamovat dovozy máku nejpozději 24 hodin před příchodem potravin na místo určení. Následně může proběhnout kontrola zboží (Sbírka zákonů ČR, 2015).

4 Materiál a metody

4.1 Charakteristika odrůd

V rámci pokusu bylo hodnoceno celkem 17 odrůd máku setého. Osivo máku poskytla genobanka Oseva PRO s.r.o., Výzkumný ústav olejin Opava. Odrůdy máku jsou modrosemenné, bělosemenné, s různou raností a s různým obsahem morfinu. Odrůda Zeno byla jediná ozimá forma máku vysetá na jaře (viz příloha 1). Ostatní odrůdy máku jsou jarní formy. Popis jednotlivých odrůd je popsán podle webové stránky GRIN Czech. Ranost odrůdy je zjišťována alespoň ze 4-letých výsledků pokusů z Výzkumného ústavu olejin. Podrobný popis odrůd máku je uveden v tabulce 3.

Tabulka 3: Morfologické a fenologické vlastnosti modrosemenných a bělosemenných odrůd máku setého (upraveno dle GRIN Czech, 2017)

MODROSEMENNÉ ODRŮDY			
Postomi		Zeno	
Barva semene:	modrá	Barva semene:	modrá
Obsah oleje:	nízký	Obsah oleje:	střední
Obsah morfinu:	vysoký	Obsah morfinu:	nízký
Výška rostliny:	nízká	Výška rostliny:	nízká
Ranost odrůdy:	raná	Ranost odrůdy:	raná
Odolnost vůči poléhání:	velmi vysoká	Odolnost vůči poléhání:	velmi vysoká
Orfeus		Major	
Barva semene:	modrá	Barva semene:	modrá
Obsah oleje:	nízký	Obsah oleje:	nízký
Obsah morfinu:	střední	Obsah morfinu:	střední
Výška rostliny:	nízká	Výška rostliny:	střední
Ranost odrůdy:	střední	Ranost odrůdy:	střední
Odolnost vůči poléhání:	velmi vysoká	Odolnost vůči poléhání:	vysoká
Maraton		Florian	
Barva semene:	modrá	Barva semene:	modrá
Obsah oleje:	střední	Obsah oleje:	nízký až střední
Obsah morfinu:	střední	Obsah morfinu:	nízký
Výška rostliny:	střední	Výška rostliny:	nízká
Ranost odrůdy:	střední	Ranost odrůdy:	střední
Odolnost vůči poléhání:	vysoká	Odolnost vůči poléhání:	velmi vysoká
Lazur		Aplaus	
Barva semene:	modrá	Barva semene:	modrá
Obsah oleje:	střední	Obsah oleje:	střední
Obsah morfinu:	střední	Obsah morfinu:	střední

Tabulka 3 pokračování: Morfologické a fenologické vlastnosti modrosemenných a bělosemenných odrůd máku setého (upraveno dle GRIN Czech, 2017)

Výška rostliny: střední	Výška rostliny: střední
Ranost odrůdy: střední	Ranost odrůdy: střední
Odolnost vůči poléhání: velmi vysoká	Odolnost vůči poléhání: střední
Buddha	Marianne
Barva semene: modrá	Barva semene: modrá
Obsah oleje: nízký až střední	Obsah oleje: střední
Obsah morfinu: velmi vysoký	Obsah morfinu: nízký
Výška rostliny: nízká	Výška rostliny: střední
Ranost odrůdy: střední	Ranost odrůdy: raná
Odolnost vůči poléhání: velmi vysoká	Odolnost vůči poléhání: vysoká
Opal	Opex
Barva semene: modrá	Barva semene: modrá
Obsah oleje: střední	Obsah oleje: střední
Obsah morfinu: střední	Obsah morfinu: střední
Výška rostliny: střední	Výška rostliny: střední
Ranost odrůdy: střední	Ranost odrůdy: raná
Odolnost vůči poléhání: střední	Odolnost vůči poléhání: vysoká
Orbis	
Barva semene: modrá	
Obsah oleje: střední	
Obsah morfinu: střední	
Výška rostliny: střední	
Ranost odrůdy: střední	
Odolnost vůči poléhání: vysoká	
BĚLOSEMENNÉ ODRŮDY	
Albín	Korneuburger-Weisser
Barva semene: bílá	Barva semene: bílá
Obsah oleje: střední	Obsah oleje: střední
Obsah morfinu: nízký	Obsah morfinu: nízký
Výška rostliny: nízká	Výška rostliny: nízká
Ranost odrůdy: raná	Ranost odrůdy: raná
Odolnost vůči poléhání: velmi vysoká	Odolnost vůči poléhání: velmi vysoká
Tatranský	Sokol
Barva semene: bílá	Barva semene: bílá
Obsah oleje: střední	Obsah oleje: střední
Obsah morfinu: nízký	Obsah morfinu: nízký
Výška rostliny: střední	Výška rostliny: vysoká
Ranost odrůdy: střední	Ranost odrůdy: pozdní
Odolnost vůči poléhání: nízká	Odolnost vůči poléhání: velmi vysoká

4.2 Charakteristika stanoviště

Pokus byl založen na Výzkumné stanici v Červeném Újezdě, okres Praha-západ, kraj Středočeský. Průměrná nadmořská výška je 405 m n. m. Stanice obhospodařuje cca 30 ha pozemků. Na stanici jsou zakládány pokusy s následujícími plodinami: řepka olejka, pšenice ozimá, ječmen jarní, mák setý, kukuřice, cukrovka, čirok zrnový, hořčice bílá a sareptská, vojtěška atd.

Klimatické podmínky

Stanice Červený Újezd se nachází v oblasti mírně teplé, mírně suché, s mírnou zimou. Klimatické podmínky podmiňují vznik hnědozemí a hnědozemí illimerizovaných. Rovinný terén podmiňuje dobrý zásak srážkových vod, substráty mají dobrou vododržnost.

Půdní podmínky

Pokusné plochy pozemků jsou situovány na východní straně katastru obce Červený Újezd. Matečnou horninu tvoří sprašový pokryv. Půdní druh je hnědozem, půdní typ hlinité půdy. Hlavním půdotvorným procesem je illimerizace, kdy dochází k okyselování povrchových vrstev půdního profilu a jejich vyplavování do spodiny.

Chemické vlastnosti půdy: mírný obsah humusu, reakce neutrální, střední sorpční kapacita, nasycený koloidní komplex, obsah P a K střední až dobrý.

Výzkumná stanice se nachází v řepařské výrobní oblasti (ČZU, 2017).

4.3 Charakteristika použité agrotechniky a ekonomika pěstování máku

Charakteristika použité agrotechniky

Předplodinou pro mák setý v Červeném Újezdě byl ječmen jarní. V tabulce 4 je popsána použitá agrotechnika v porostu. Použitá agrotechnika v pokusu se víceméně shoduje s agrotechnikou v reálném zemědělském podniku. Velikost parcel byla 15 m² brutto, 11,250 m² netto.

Tabulka 4 : Charakteristika agrotechniky u máku setého v Červeném Újezdě

Termín	Pracovní operace	Materiálové vstupy
22.11.	Orba	
30.3.	Příprava půdy (smyk + brány)	
31.3.	Hnojení před setím	50 kg DASA
31.3.	Setí	1,5 kg osiva
4.4.	Herbicid	Callisto 480 SC 0,25 l/ha + Command 36 SC 0,15 l/ha
16.5.	Přihnojování	55 kg N LAD
20.5.	Herbicid + insekticid	Targa Super 5 EC 2,5 l/ha + Nurelle D 0,6 l/ha
10.6.	Herbicid	Laudis OD 1,8 l/ha + Starane 250 EC 0,3 l/ha TM
17.8.	Odběr makovic	
18.8.	Sklizeň	

Ekonomika pěstování máku setého na Výzkumné stanici Červený Újezd

Jednotlivé pracovní operace, termíny a materiálové vstupy jsou získány od Ing. Pavla Cihláře, Ph.D. Strojní soupravy jsou upraveny do reálné skutečnosti, protože na stanici aplikace postřiků probíhá ručním postřikovačem a setí a sklizeň maloparcelkovými stroji. U výnosu je použit průměrný výnos za rok 2016. Náklady na provozní soupravy jsou převzaty z Výzkumného ústavu zemědělské techniky a náklady na přípravky na ochranu rostlin a hnojení z ceníku agrochemických firem.

V tabulce 5 je uveden přehled ekonomiky pěstování máku setého. Náklad na 1 hektar pěstovaného máku činí 19 371 Kč. Při výnosu máku 0,82 t/ha, výkupní ceně 33 369 Kč/t se zisk bez dotací z 1 hektaru pohybuje okolo částky 7 992 Kč a zisk s dotacemi až 13 492 Kč.

Tabulka 5 : Ekonomika pěstování máku setého (upraveno dle VUZT, 2017)

Termín	Pracovní operace	Materiálové vstupy	Náklady	Technologie	Náklady	Náklady celkem
22.11.	Orba			Traktor CASE 140 kW + pluh Pottinger oboustranný 4-radli.	1 346	1 346
30.3.	Příprava půdy			TK 40 kW+ smyk 4 m	243	243
31.3.	Hnojení před setím	50 kg N DASA	2 000	Traktor Zetor 114 + rozmetadlo Kverneland na 2 t	284	2 284
31.3.	Setí máku	Osivo 1,5 kg	450	Traktor CASE 140 kW + secí kombinace LEMKEN	1 200	1 650

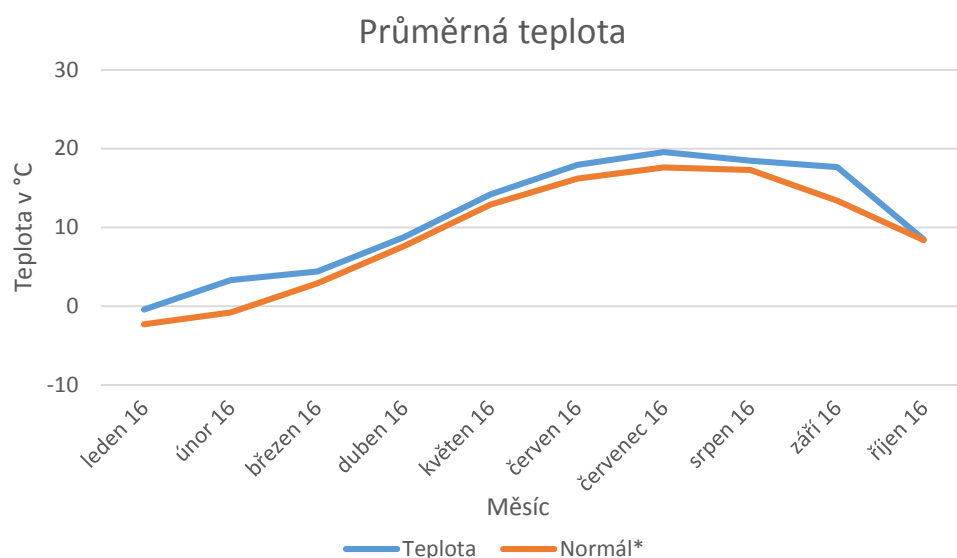
Tabulka 5 pokračování: Ekonomika pěstování máku setého (upraveno dle VUZT, 2017)

4.4.	Herbucid	0,25 l/ha Callisto 480 SC + 0,15 l/ha Command 36 SC	2 100	Traktor Zetor 114 + postřikovač Kverneland	338	2 438
16.5.	Přihnojování	55 kg N LAD	650	Traktor Zetor 114 + rozmetadlo Kverneland	284	934
20.5.	Herbucid + Insekticid	2,5 l/ha Targa Super 5 EC + 0,6 l/ha Nurelle D	2 200	Traktor Zetor 114 + postřikovač Kverneland	338	2 538
10.6.	Herbucid	1,8 l/ha Laudis OD + 0,3 l/ha Starane 250 EC	1 600	Traktor Zetor 114 + postřikovač Kverneland	338	1 938
18.8.	Sklizeň			Class Avero 150 kW	2 000	2 000
Režie (Kč/ha)					4 000	
NÁKLADY CELKEM (Kč/ha)					19 371	
Výnos (t/ha)					0,82	
Prodejní cena (Kč/t)					33 369	
ZISK (Kč/ha)					7 992	
Dotace (SAPS + Greening) (Kč/ha)					5 500	
ZISK S DOTACEMI (Kč/ha)					13 492	

4.4 Charakteristika počasí

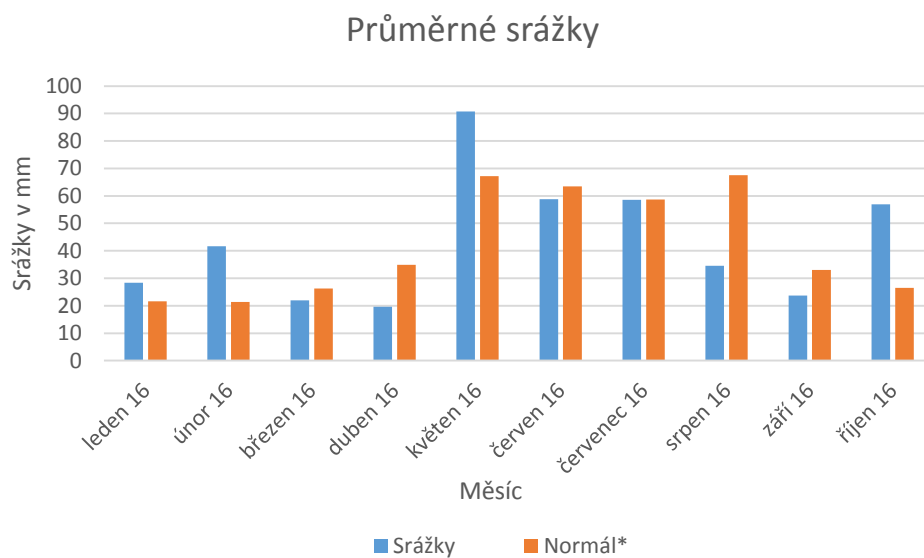
Na obr. 7 a 8 je zaznamenán průběh průměrných teplot a srážek z nejbližší meteorologické stanice Praha-Ruzyně. Průměrná teplota v období od ledna do října 2016 se na stanici v Červeném Újezdě významně neliší od 50-ti letého normálu. Významné teplotní odchylky jsou především v měsíci únor 2016, kdy skutečné teploty byly vyšší až o 4 °C než normál.

Průběh srážek byl ve srovnání s 50-ti letým normálem značně diferencovaný. Nejméně srážek je evidováno na území v měsíci srpen 2016, kdy průměrné srážky byly 34,6 mm, což je ve srovnání se srážkovým normálem o 50 % srážek méně. Nadprůměrné srážky byly v měsíci leden, únor, květen a říjen 2016. V měsíci květnu bylo zaznamenáno i krupobití.



Obr. 7: Průběh průměrných teplot od ledna do října 2016 v Červeném Újezdě ve srovnání s 50-ti letým průměrem

Pozn.: * Meteorologická stanice, Praha-Ruzyně 1960-2010



Obr. 8: Průběh průměrných srážek od ledna do října 2016 v Červeném Újezdě ve srovnání s 50-ti letým průměrem

Pozn.: * Meteorologická stanice, Praha-Ruzyně 1960-2010

4.5 Měření fyziologických charakteristik

V rámci experimentu byly měřeny u máku setého pokryvnost listoví (LAI) a celkové chlorofyly a karotenoidy. V tabulce 6 jsou vypsány jednotlivé termíny měření (BBCH) a příslušné vývojové fáze máku. Obrázky jednotlivých BBCH jsou v přílohách 2, 3, 4 a 5.

Tabulka 6: Fyziologická měření ve vývojových fázích máku setého

Měření	Termín	BBCH	Vývojové fáze máku setého
1. měření	22. 6.	BBCH 41	stonkování a butonizace
2. měření	27. 6.	BBCH 54	plné kvetení
3. měření	20. 7.	BBCH 64	zelená zralost
4. měření	29. 7.	BBCH 72	začátek žloutnutí tobolky

4.5.1 Měření pokryvnosti listoví (LAI)

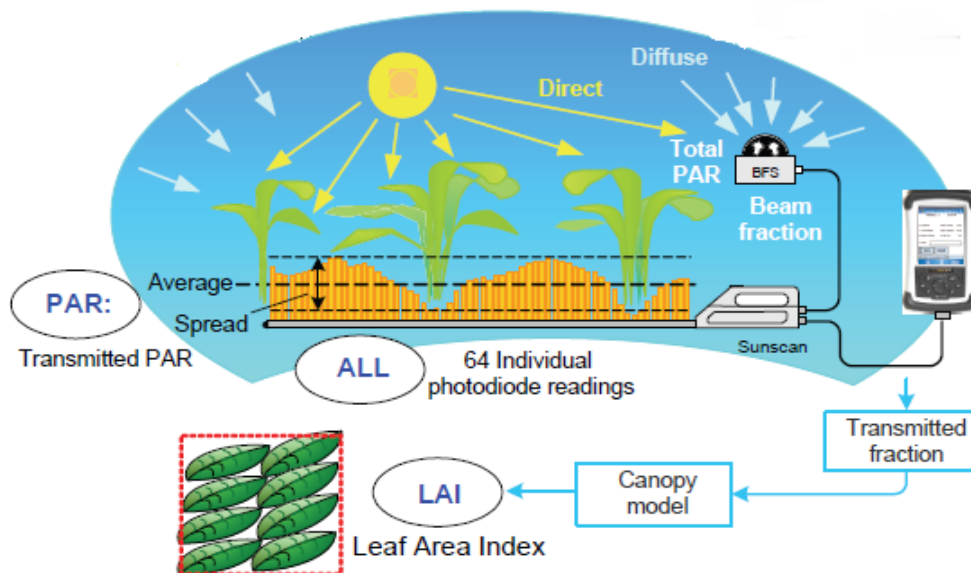
Měření LAI bylo prováděno pomocí polního analyzátoru SunScan Canopy Analysis System type SS1. LAI bylo měřeno v porostu máku ve výšce 20 cm od země. Každá parcela s odlišnou odrudou byla měřena pětkrát, ve třech opakováních. SunScan poskytuje hodnotnou informaci o LAI a zároveň se využívá i na měření FAR ve vrcholu plodin. Přístroj je použitelný v jasných, zamračených i proměnlivých klimatických podmínkách. Je přenosný, odolný proti povětrnostním vlivům a napájený baterií.

Měřicí zařízení je tvořeno 1 m dlouhou ruční sondou obsahující 64 rovnoměrně rozmístěných fotodiod, spojenou s kapesním počítačem, dále senzorem, který je při měření umístěn nad porostem a měří dopadající přímé a rozptýlené fotosynteticky aktivní záření (FAR). Kapesní počítač shromažďuje a analyzuje hodnoty ze sondy SunScanu. Naměřené hodnoty se ukládají do interní paměti, která udržuje více než 1 milion hodnot. Získaná data mohou být snadno přenesena do počítače.

Senzor Sunscanu měří i zároveň FAR v porostu. SunScan měří současně dopadající FAR o vlnové délce 400 – 700 nm nad porostem a pronikající FAR do porostu. Dopadající FAR se měří pomocí fotodiod na senzoru Beam Fraction Sensoru (BFS). Jedna z fotodiod je vždy ve stínu. Toto umožňuje oddělení složek přímého a difúzního FAR, což je nezbytné pro výpočet LAI. Naměřené hodnoty FAR jsou v jednotkách kvantového toku $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Webb et al., 2008).

Na obr. 9 je znázorněn způsob měření LAI přístrojem SunScan. SunScan nejprve zachytí dopadající přímé a rozptýlené FAR nad porostem, poté transmitované = procházející FAR do porostu pomocí senzoru BFS. Data ze SunScanu se převedou do kapesního počítače,

který z těchto hodnot vypočte transmitovanou frakci a přes model habitu máku setého (canopy model) vypočte příslušné LAI.



Obr. 9: Znárodnění způsobu měření LAI přístrojem SunScan (Webb et al., 2008)

Pozn.: Direct – přímé záření, diffuse – rozptýlené záření, total FAR – celkové fotosynteticky aktivní záření (FAR), BFS Beam fraction – senzor, SunScan – přístroj, transmitted PAR – procházející FAR do porostu, transmitted fraction – poměr celkového dopadajícího FAR a procházejícího FAR do porostu, canopy model – model habitu máku pro přepočet LAI, Leaf area index LAI – pokryvnost listoví

4.5.2 Měření pigmentů podle Porryho

Metody stanovení obsahu chlorofylů jsou založeny na extrakci pigmentů z pletiva a následně na spektrofotometrickém stanovení jejich obsahu. Pigmenty se stanovují podle Porry (1989). Nejprve se musí z každého listu vyseknout korkovrtem 1 terčik o ploše cca 0,5 cm². Terčik se umístí do zkumavky a přidá k němu 1 ml dimethylformamidu (DMF). Poté se zkumavka přikryje parafilmem, černou látkou a nechá se třepat přes noc v digestoři. Druhý den se výsledný extrakt přelije do spektrofotometrických kyvet a změří se absorbance při 480, 646,8, 663,8 a 710 nm.

Rovnice pro výpočet chlorofylu *a*:

$$\text{Chl } a = 12,0 * A_{663,8} - 3,11 * A_{646,8}$$

Rovnice pro výpočet chlorofylu *b*:

$$\text{Chl } b = 20,78 * A_{646,8} - 4,88 * A_{663,8}$$

Rovnice pro výpočet celkového chlorofylu:

$$\text{Chl } a + b = 7,12 * A_{663,8} - 17,67 * A_{646,8}$$

Rovnice pro výpočet karotenoidů:

$$\text{Car}_{x+c} = \frac{1000A_{480} - 1,12 \text{ Chl}a - 34,07 \text{ Chl}b}{245}$$

245

Výsledky rovnic jsou v jednotkách v mg/l neboli µg/ml.

Pro přepočítání nmol/ml: Chl *a* = vynásobit 1,118

Chl *b* = vynásobit 1,102

Do příslušných rovnic se dosazují hodnoty měřených absorbancí, zmenšené o A_{710} . Vše se musí provádět v rukavicích, za rozptýleného světla a vzorky se musí přikrývat černou látkou. $A_{663(646)}$ by mělo být v rozmezí hodnot 0,4 – 0,7 (toleruje se maximálně do 1), jinak se musí ředit DMF (Porra et al., 1989).

4.6 Statistické vyhodnocování

Pro statistické vyhodnocení dat byl použit program Statistica 12. Data byla zpracována na základě Analýzy rozptylu (ANOVA vícefaktorová). K vyhodnocení dat byly dále použity: Tukeyův HSD testu a popisné charakteristiky. Data byla testována při hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

5 Výsledky

5.1 Stanovení hodnot dopadajícího záření, transmitovaného záření a LAI

V následující tabulce 7 je uveden výstup měřených charakteristik ze Sunscanu. Sunscan zachytí nejprve celkové záření vstupující do porostu = incident a procházející záření do porostu = transmitted. Transmitovaná frakce je vypočtena jako poměr mezi incident/transmitted. Pomocí transmitované frakce je vypočtena pokrývnost listoví LAI.

Tabulka 7: Hodnoty dopadajícího záření, transmitovaného záření a LAI ze Sunscanu jednotlivých BBCH a sledovaných odrůd máku setého

Měření (BBCH)	Odrůda	Incident ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Transmitted ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Transmitted fraction	LAI
BBCH 41	Sokol	3611	818	0,23	2,40
BBCH 41	Korneu.-Weisser	3358	847	0,25	1,80
BBCH 41	Florian	3477	560	0,16	2,44
BBCH 41	Opal	3756	612	0,16	2,60
BBCH 41	Zeno	3681	1499	0,41	1,04
BBCH 41	Opex	3728	848	0,23	2,20
BBCH 41	Orfeus	3616	1473	0,41	1,14
BBCH 41	Maraton	3597	560	0,16	2,62
BBCH 41	Major	3809	595	0,16	2,66
BBCH 41	Orbis	3508	372	0,11	3,88
BBCH 41	Albín	4782	2118	0,44	0,96
BBCH 41	Tatranský	4806	2690	0,56	0,44
BBCH 41	Lazur	4541	831	0,18	2,38
BBCH 41	Aplaus	4712	1263	0,27	1,66
BBCH 41	Postomi	8653	4050	0,47	0,56
BBCH 41	Buddha	6669	989	0,15	2,08
BBCH 41	Marianne	6958	1114	0,16	2,16
BBCH 54	Sokol	1382	493	0,36	1,50
BBCH 54	Korneu.-Weisser	1395	577	0,41	1,22
BBCH 54	Florian	1398	441	0,32	1,64
BBCH 54	Opal	1397	450	0,32	1,72
BBCH 54	Zeno	1388	684	0,49	0,94
BBCH 54	Opex	1396	317	0,23	2,16
BBCH 54	Orfeus	1410	565	0,40	1,24
BBCH 54	Maraton	1430	303	0,21	2,24
BBCH 54	Major	1461	308	0,21	2,38
BBCH 54	Orbis	1516	184	0,12	3,18
BBCH 54	Albín	1691	720	0,43	1,18

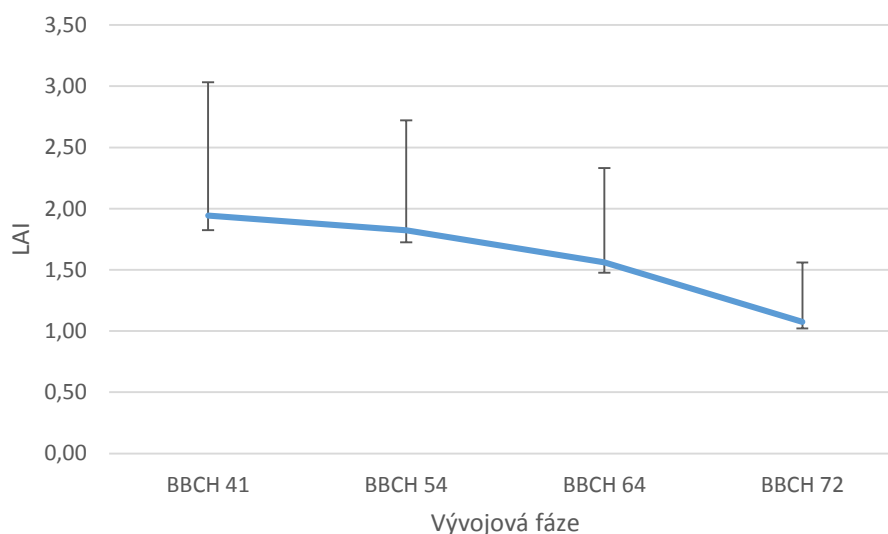
Tabulka č. 7 pokračování: Hodnoty dopadajícího záření, transmitovaného záření a LAI ze Sunscanu u jednotlivých BBCH a sledovaných odrůd máku setého

BBCH 54	Tatranský	1753	825	0,47	1,06
BBCH 54	Lazur	1834	349	0,19	2,48
BBCH 54	Aplaus	1909	531	0,28	1,88
BBCH 54	Postomi	1992	979	0,49	0,92
BBCH 54	Buddha	2088	526	0,25	1,98
BBCH 54	Marianne	2192	281	0,13	3,28
BBCH 64	Sokol	3125	1234	0,39	1,20
BBCH 64	Korneu.-Weisser	4424	2425	0,55	0,84
BBCH 64	Florian	1519	504	0,33	1,56
BBCH 64	Opal	1482	578	0,39	1,30
BBCH 64	Zeno	1514	798	0,53	2,08
BBCH 64	Opex	7318	3013	0,41	1,80
BBCH 64	Orfeus	8429	4596	0,55	1,06
BBCH 64	Maraton	8405	2655	0,32	2,06
BBCH 64	Major	8385	2273	0,27	2,42
BBCH 64	Orbis	8311	2157	0,26	2,38
BBCH 64	Albín	8346	2577	0,31	2,22
BBCH 64	Tatranský	8285	4832	0,58	1,08
BBCH 64	Lazur	8178	3632	0,44	1,40
BBCH 64	Aplaus	8245	2733	0,33	2,08
BBCH 64	Postomi	8267	4505	0,54	1,16
BBCH 64	Buddha	8266	5255	0,64	0,82
BBCH 64	Marianne	8133	2234	0,27	2,32
BBCH 72	Sokol	9796	5302	0,54	1,10
BBCH 72	Korneu.-Weisser	10224	5500	0,54	1,08
BBCH 72	Florian	10595	4575	0,43	1,44
BBCH 72	Opal	10188	4811	0,47	1,22
BBCH 72	Zeno	10352	6030	0,58	0,88
BBCH 72	Opex	10446	4817	0,46	1,30
BBCH 72	Orfeus	4651	2449	0,53	0,88
BBCH 72	Maraton	7442	3227	0,43	1,26
BBCH 72	Major	10493	3779	0,36	1,72
BBCH 72	Orbis	5954	2606	0,44	1,14
BBCH 72	Albín	10888	6182	0,57	0,90
BBCH 72	Tatranský	11139	6778	0,61	0,82
BBCH 72	Lazur	11098	6853	0,62	0,76
BBCH 72	Aplaus	11085	4838	0,44	1,38
BBCH 72	Postomi	9541	5546	0,58	0,86
BBCH 72	Buddha	4029	2501	0,62	0,60
BBCH 72	Marianne	4142	2117	0,51	0,92

5.1.1 Pokryvnost listoví (LAI)

Ve velikosti LAI u sledovaných odrůd máku v období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky byly zjištěny významné statistické difference. Příčinnou těchto rozdílů je především postupný vývoj a růst rostliny během ontogenetického vývoje. Významné statistické difference nebyly nalezeny pouze mezi vývojovými fázemi BBCH 41 a BBCH 54, což byl přechod od fáze stonkování a butonizace do fáze plného kvetení máku.

Na obr. 10 je uveden vývoj LAI u sledovaných odrůd máku od fáze stonkování a butonizace (BBCH 41) do fáze začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72).

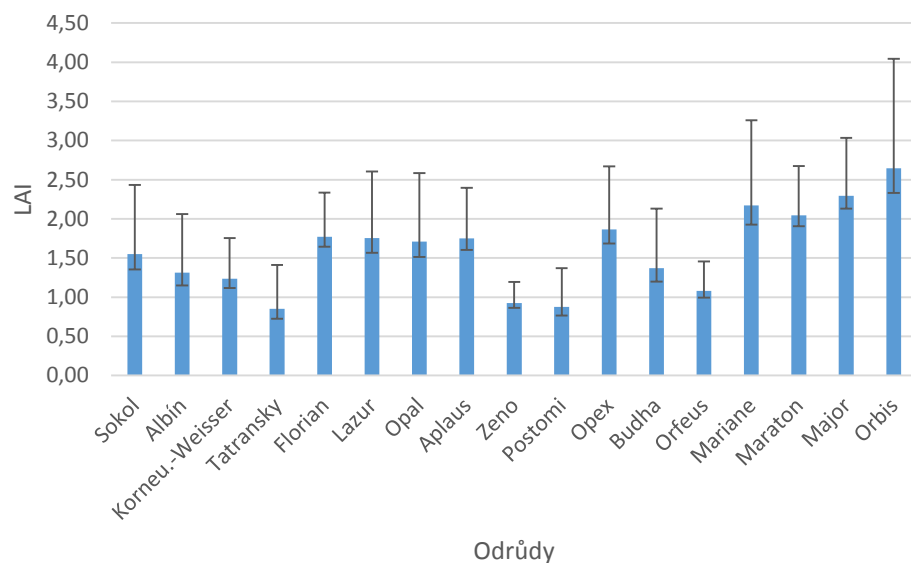


Obr. 10: Vývoj průměrných hodnot LAI u sledovaných odrůd máku ve vztahu k ontogenezi v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Z uvedeného obr. 10 je patrné, že průměrné LAI se snižuje v závislosti na ontogenetickém vývoji, kdy svého maxima dosáhla ve vývojové fázi BBCH 41 (fáze stonkování a butonizace). Hodnota LAI v této fázi byla 1,94. Po dosažení maximálního LAI byla zaznamenána redukce, v důsledku postupného stárnutí listů. Nejvýraznější minimum LAI ve srovnání s maximálním LAI bylo potvrzeno na konci sledovaného období v BBCH 72 (fáze začátku žloutnutí tobolky). V této fázi dosáhla průměrná hodnota LAI výše 1,07, což je úbytek cca o 45 % ve srovnání s maximálním LAI.

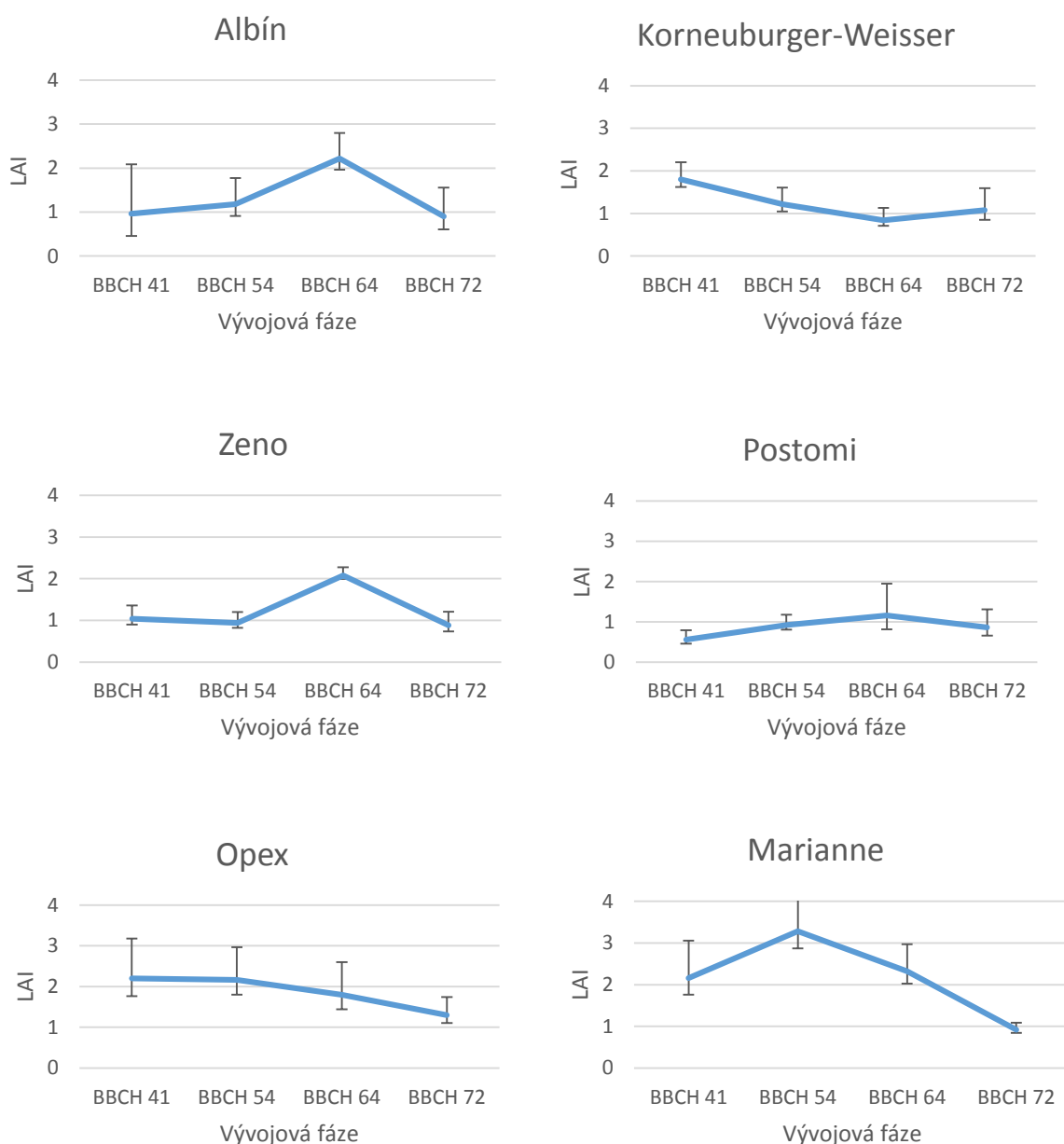
Velikost LAI byla vedle ontogenetického vývoje rostlin ovlivněna také odrůdou. Mezi sledovanými odrůdami byly nalezeny průkazné statistické difference. Nejvyšší rozdíly mezi odrůdami byly zjištěny u odrůdy Orbis (nejvyšší LAI) a odrůdy Tatranský, Postomi a Zeno (nejnižší LAI).

Na základě získaných průměrných hodnot LAI se jednotlivé odrůdy máku vyprofilovaly do několika skupin. Z obr. 11 je možné sledované odrůdy rozdělit podle velikosti LAI do tří skupin. Prvou skupinu zahrnují odrůdy s nízkou pokryvností listoví od 0,85 do 1,37. Do této kategorie je možné zařadit odrůdy Tatranský, Postomi, Zeno, Orfeus, Korneuburger-Weisser, Albín a Buddha. Další kategorii představují odrůdy se středně vysokou pokryvností listoví od 1,55 do 1,87. Tuto kategorii představují odrůdy Sokol, Opal, Aplaus, Lazur, Florian a Opex. Vysokou pokryvnost listoví od 2,05 do 2,65 představují odrůdy Maraton, Marianne, Major a Orbis.



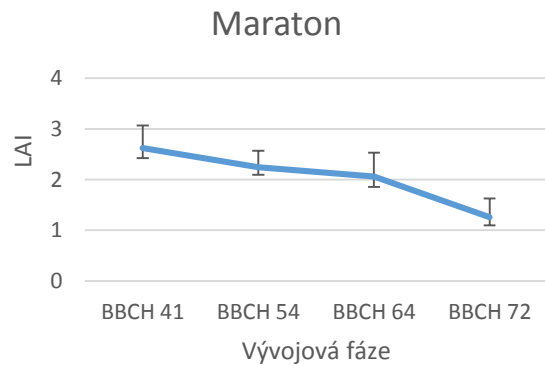
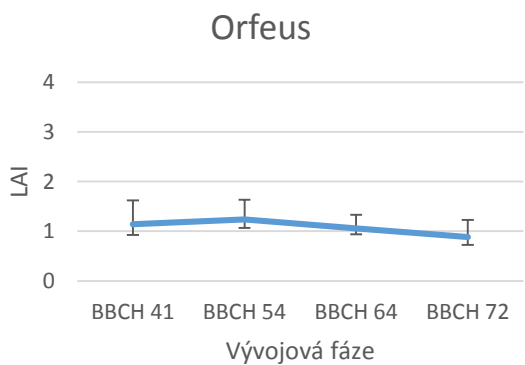
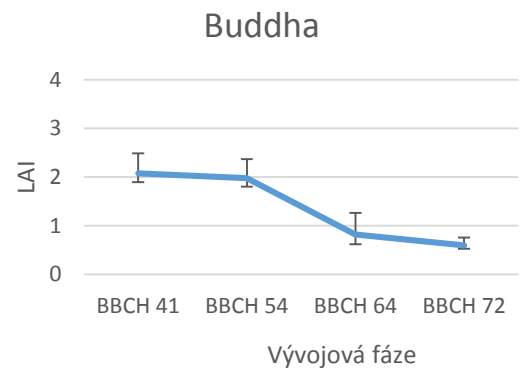
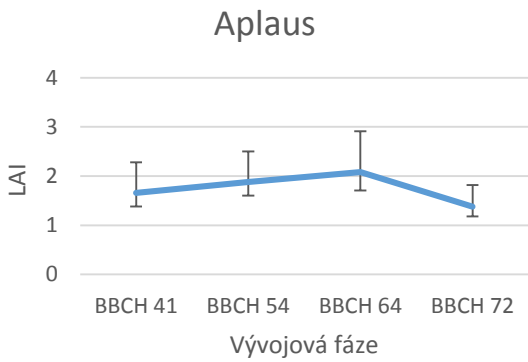
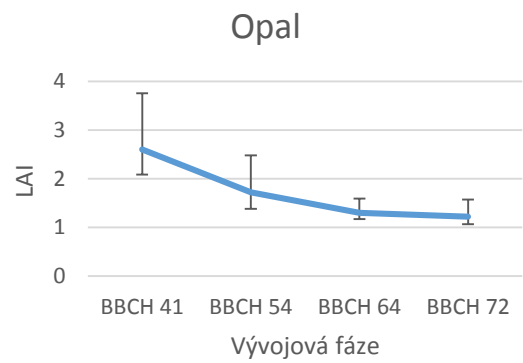
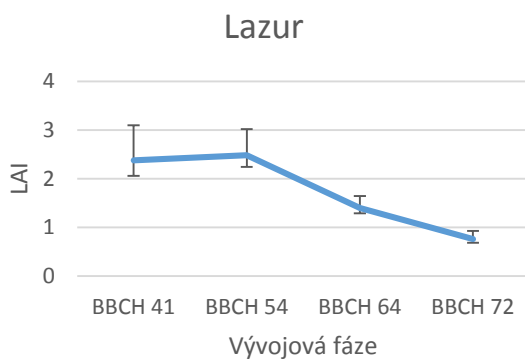
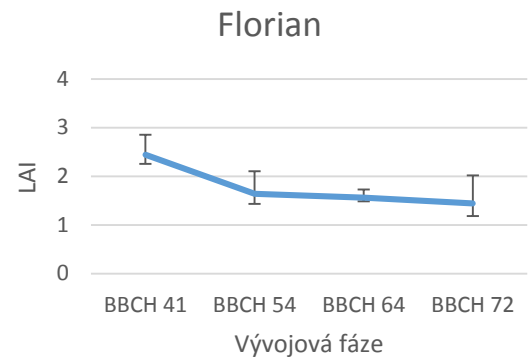
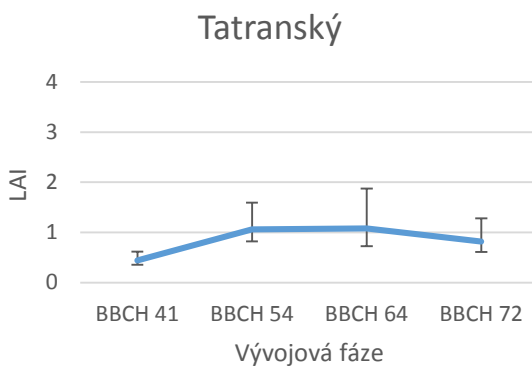
Obr. 11: Průměrné hodnoty LAI u sledovaných odrůd máku v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

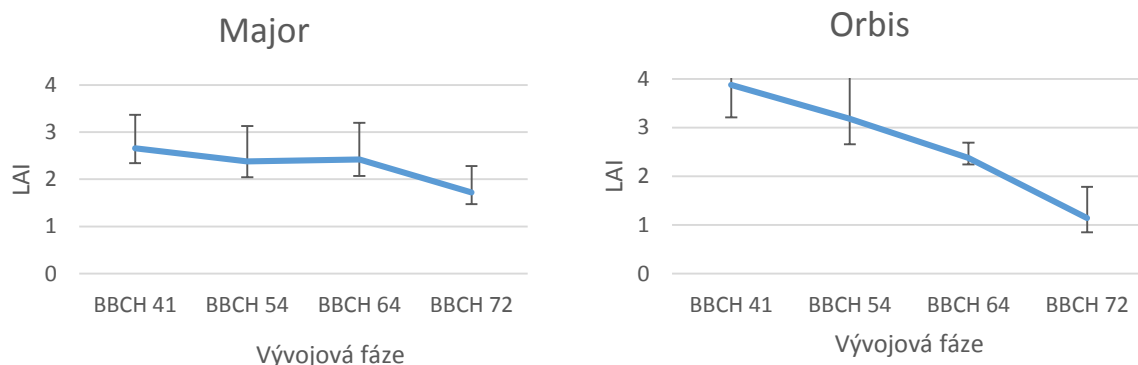
Nejvyšší průměrné LAI za období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky v kategorii raných odrůd má modrosemenná odrůda Marianne, jak dokazuje obr. 12. Průměrná hodnota LAI dosahuje 2,17. Naměřené hodnoty LAI se pohybují v intervalu hodnot od 3,28 (BBCH 54) do 0,92 (BBCH 72). Naopak nejnižší LAI 0,88 bylo zjištěno u modrosemenné odrůdy Postomi. U této odrůdy bylo nejvyšší LAI 1,16 stanoveno v BBCH 64 a nejnižší 0,56 na počátku měření v BBCH 41.



Obr. 12: Naměřené hodnoty LAI u raných odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

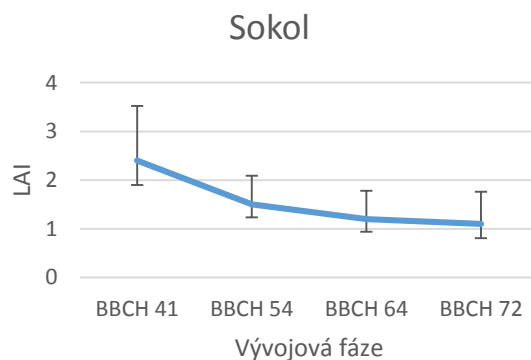
Jak dokládá obr. 13, nejvyšší průměrné LAI ze středně raných odrůd má modrosemenná odrůda Orbis s průměrným LAI 2,65. Naměřené hodnoty LAI se pohybují v intervalu hodnot od 3,88 (BBCH 41) do 1,14 (BBCH 72). Naopak nejnižší LAI bylo zjištěno u bělosemenné odrůdy Tatranský s průměrným LAI 0,85. U této odrůdy bylo nejvyšší LAI 1,08 stanoveno v BBCH 64 a nejnižší 0,44 v BBCH 41.





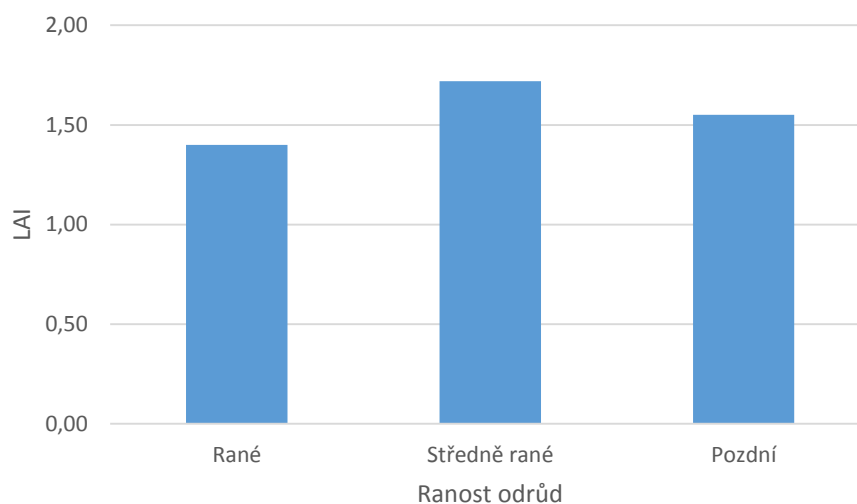
Obr. 13: Naměřené hodnoty LAI u středně raných odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Do pozdních odrůd máku patří pouze bělosemenná odrůda Sokol. Podle obr. 14, průměrné LAI se u této odrůdy pohybuje cca 1,55. Naměřené hodnoty LAI se pohybují od maxima 2,4 (BBCH 41) do minima 1,1 (BBCH 72).



Obr. 14: Naměřené hodnoty LAI u pozdní odrůdy máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Ve velikosti LAI mezi ranými, středně ranými a pozdními odrůdami máku setého v období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky nebyly potvrzeny průkazné statistické difference. Z obr. 15 je patrné, že nejvyšší průměrné LAI je zaznamenáno u středně raných odrůd s hodnotou 1,72. Nejnižší LAI je u raných odrůd s hodnotou 1,4, což je LAI nižší o cca 19 % ve srovnání se středně ranými odrůdami.



Obr. 15: Průměrné hodnoty LAI u máku setého ve vztahu k ranosti odrůd (rané, středně rané a pozdní odrůdy) v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

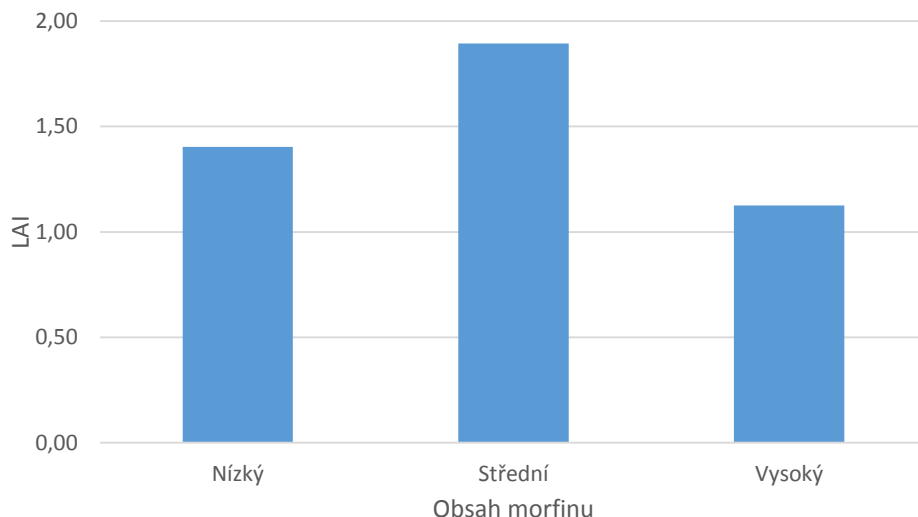
Odrůdy je možné rozdělit dle tabulky 3 – Morfologické a fenologické vlastnosti modrosemenných a bělosemenných odrůd máku setého podle obsahu morfinu na odrůdy s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu. Do odrůd s nízkým obsahem morfinu patří bělosemenné odrůdy Sokol, Albín, Tatranský, Korneuburger-Weisser a modrosemenné odrůdy Florian, Zeno, Marianne. Nejvyšší průměrné LAI z odrůd s nízkým obsahem morfinu má modrosemenná raná odrůda Marianne s maximálním LAI v BBCH 54 (3,28) a s minimálním v BBCH 72 (0,92). Nejnižší průměrné LAI má naopak modrosemenná raná odrůda Tatranský. Maximální LAI bylo zjištěno u této odrůdy v BBCH 64 (1,08) a minimální v BBCH 41 (0,44).

Do odrůd se středně vysokým obsahem morfinu patří modrosemenné odrůdy Lazur, Opal, Aplaus, Opex, Orfeus, Maraton, Major a Orbis. Nejvyšší LAI z odrůd se středně vysokým obsahem morfinu má modrosemenná středně raná odrůda Orbis s maximálním LAI v BBCH 41 (3,88) a s minimálním v BBCH 62 (1,14). Nejnižší LAI má modrosemenná odrůda Orfeus s maximem v BBCH 54 (1,24) a s minimem v BBCH 72 (0,88).

Do odrůd s vysokým obsahem morfinu patří pouze modrosemenné odrůdy Postomi a Buddha. Vyšší LAI má modrosemenná středně raná odrůda Buddha. Maximální hodnoty LAI byly zjištěny v BBCH 41 (2,08) a naopak minimální v BBCH 72 (0,6).

Ve velikosti LAI mezi odrůdami s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu v období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky nebyly potvrzeny průkazné statistické difference. Z obr. 16 je patrné, že nejvyšší průměrné LAI je zaznamenáno u odrůd

se středním obsahem morfinu s hodnotou LAI 1,89. Nejnižší LAI je u odrůd s vysokým obsahem morfinu s hodnotou LAI 1,13, což je snížení o cca 40 % ve srovnání s odrůdami se středním obsahem morfinu.



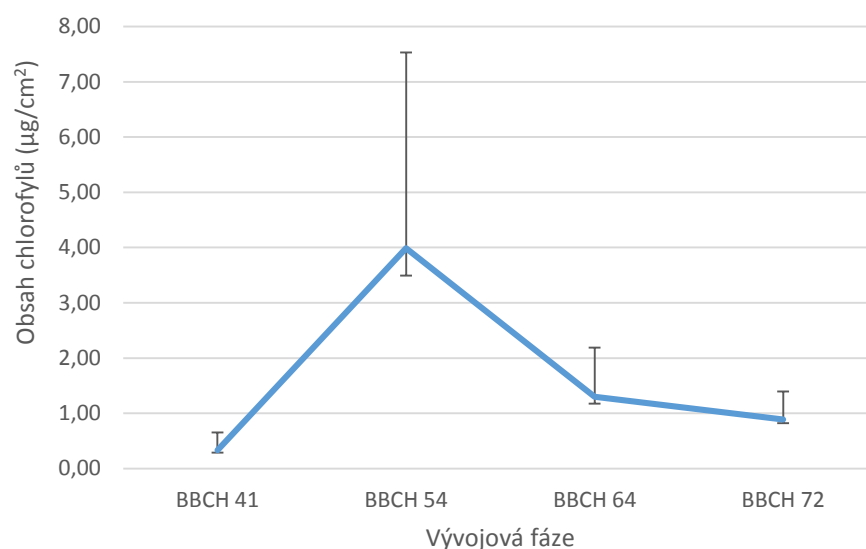
Obr. 16: Průměrné hodnoty LAI u máku setého ve vztahu k obsahu morfinu (nízký, střední, a vysoký obsah) v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

5.2 Fotosynteticky aktivní pigmenty

Celkový obsah chlorofylů (chlorofyl a + chlorofyl b)

V obsahu chlorofylů u sledovaných odrůd máku v období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky byly zjištěny významné statistické diference. Příčinnou těchto rozdílů je především postupný vývoj a růst rostliny během ontogenetického vývoje. Významné statistické diference nebyly nalezeny pouze mezi BBCH 41 a BBCH 72 (fáze stonkování a butonizace a fáze začátku žloutnutí tobolky) a mezi BBCH 64 a BBCH 72 (fáze zelené zralosti a fáze začátku žloutnutí tobolky).

Na obr. 17 je uveden vývoj obsahu chlorofylů u sledovaných odrůd máku od fáze stonkování a butonizace (BBCH 41) do fáze začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72).



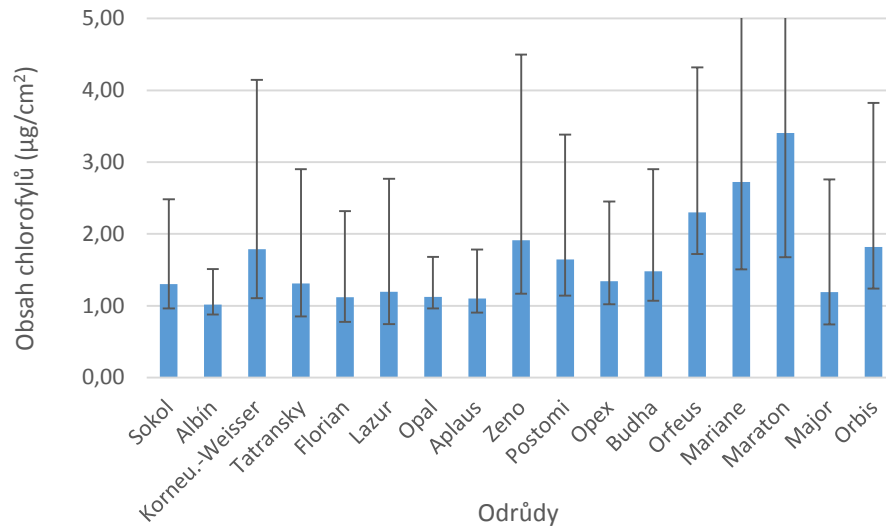
Obr. 17: Vývoj průměrného obsahu chlorofylů u sledovaných odrůd máku setého ve vztahu k ontogenezi v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Z uvedeného obr. 17 je patrné, že průměrný obsah chlorofylů je významně ovlivněn ontogenetickým vývojem. Chlorofyly dosáhly svého maxima v BBCH 54 (fáze plného kvetení máku). Obsah chlorofylů v této fázi byl $3,99 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Po dosažení maximálních chlorofylů byla zaznamenána jejich redukce, v důsledku postupného stárnutí listů. Nejvýraznějšího minima chlorofylů ve srovnání s maximem bylo zaznamenáno již na začátku sledovaného období v BBCH 41 (fáze stonkování a butonizace). Příčinou tohoto minimálního obsahu je nedostatečný vývin rostliny. V této fázi dosáhl průměrný obsah chlorofylů výše $0,33 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, což je úbytek o cca 92 % ve srovnání s maximálním obsahem.

Obsah chlorofylů byl vedle ontogenetického vývoje rostlin ovlivněn také odrůdou. Mezi sledovanými odrůdami byly nalezeny průkazné statistické difference např. mezi odrůdou Maraton (nejvyšší obsah chlorofylů) a odrůdami Albín, Aplaus, Major, Florian, Opal (nejnižší obsah chlorofylů). U odrůd Sokol, Korneuburger-Weisser, Florian, Lazur, Zeno a Postomi nebyly potvrzeny významné statistické difference, jelikož obsah chlorofylů dosáhl podobných hodnot.

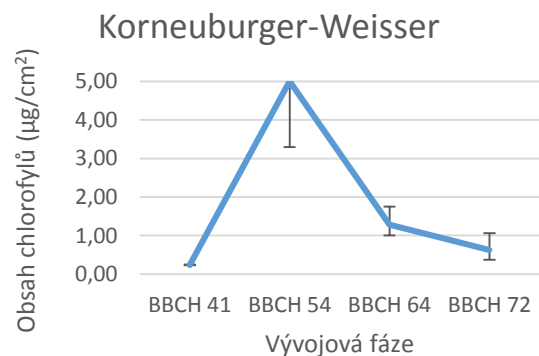
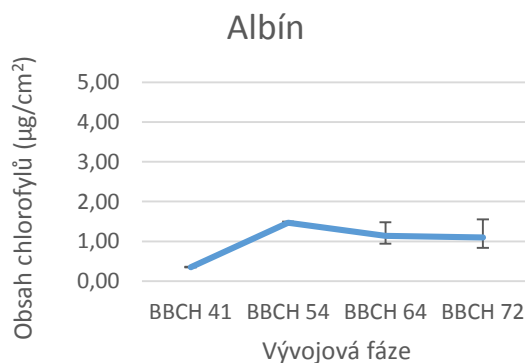
Na základě získaných průměrných obsahů chlorofylů se jednotlivé odrůdy máku vyprofilovaly do několika skupin. Z obr. 18 je možné sledované odrůdy rozdělit podle obsahu chlorofylů do tří skupin. Prvou skupinu zahrnují odrůdy s nízkým obsahem chlorofylů od $1,02$ do $1,20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Do této kategorie je možné zařadit odrůdy Albín, Aplaus, Major, Florian, Opal, Lazur. Další kategorii představují odrůdy se středním obsahem chlorofylů

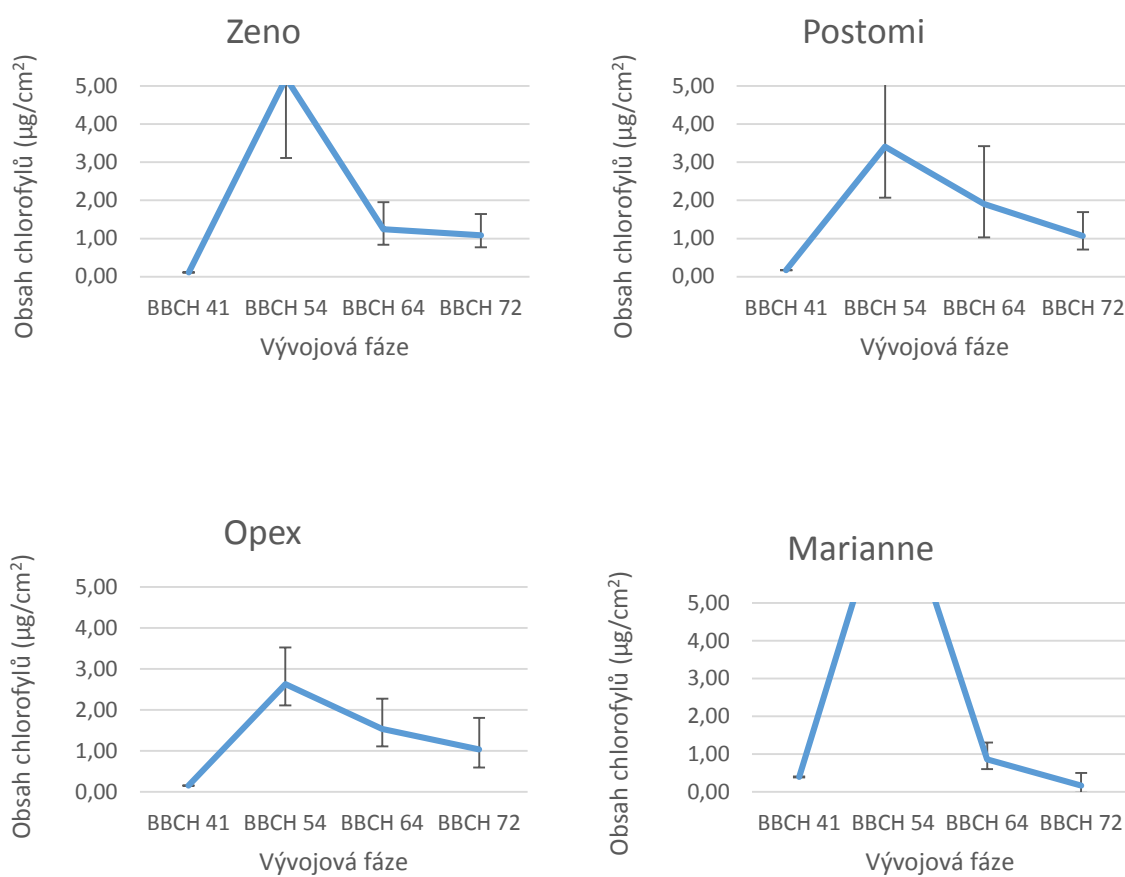
od 1,3 do 1,64 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Tuto kategorii představují odrůdy Sokol, Tatranský, Opex, Buddha, Orbis, Postomi. Vysoký obsah chlorofylů od 1,79 do 3,41 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ byly zjištěny u odrůdy Korneuburger-Weisser, Zeno, Orfeus, Marianne, Maraton.



Obr. 18: Průměrný obsah chlorofylů u sledovaných odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Podle obr. 19 nejvyšší průměrný obsah chlorofylů za období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky v kategorii raných odrůd máku má modrosemenná odrůda Marianne, kdy průměrný obsah chlorofylů dosahuje hodnoty 2,72 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Naměřené hodnoty chlorofylů se pohybují v intervalu hodnot od 8,46 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (BBCH 54) do 0,17 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (BBCH 72). Naopak nejnižší obsah chlorofylů byl zjištěn u bělosemenné odrůdy Albín při průměrném obsahu 1,02 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. U této odrůdy byl nejvyšší obsah chlorofylů 1,47 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ stanoven v BBCH 54 a nejnižší 0,35 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ na počátku měření v BBCH 41.

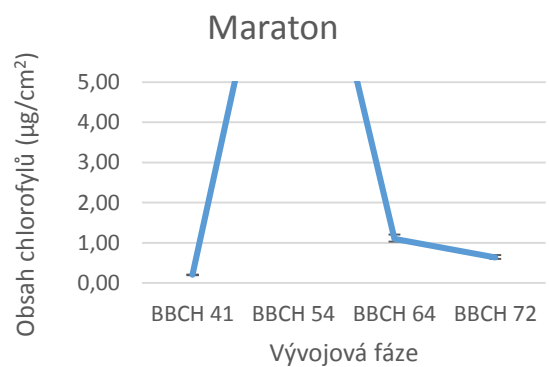
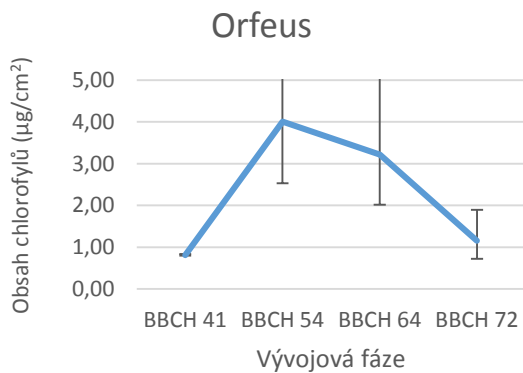
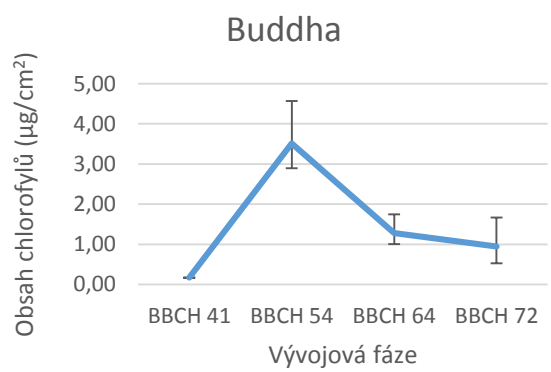
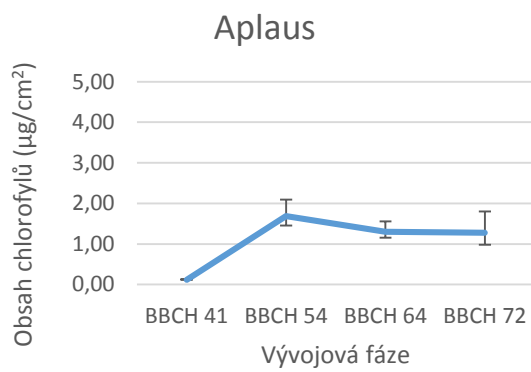
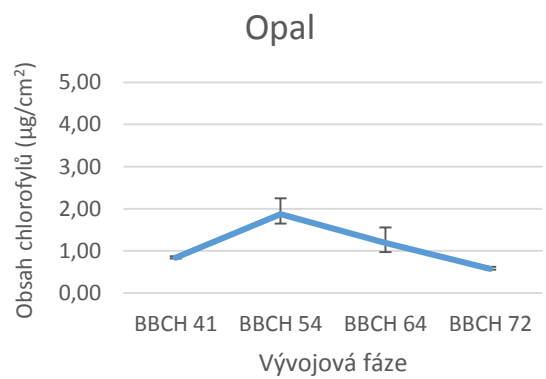
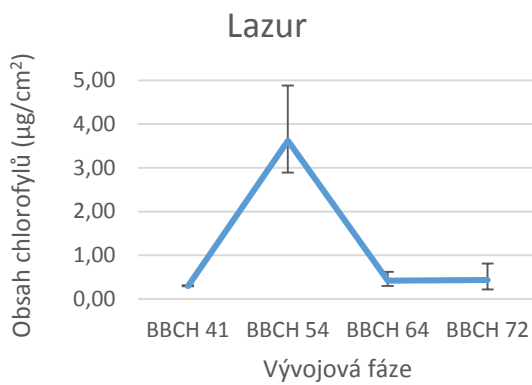
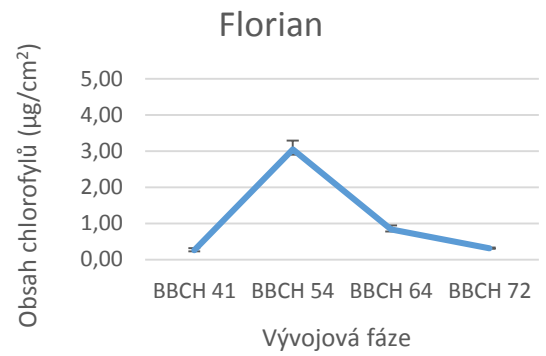
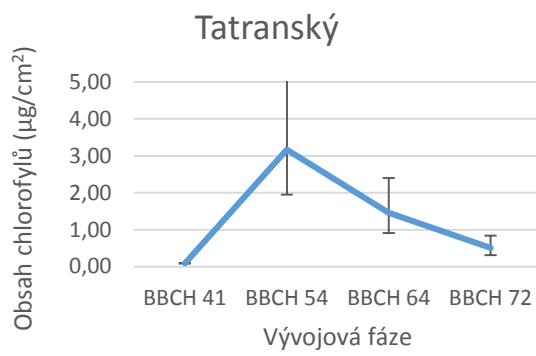


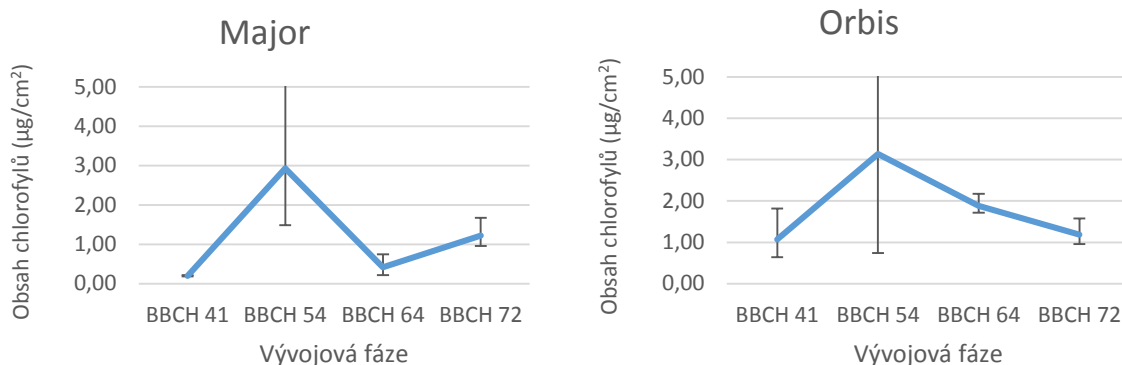


Obr. 19: Průměrný obsah chlorofylů u raných odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Pozn.: odrůda Marianne – BBCH 54 (8,46 µg/cm²), odrůda Zeno – BBCH 54 (5,20 µg/cm²),

Nejvyšší obsah chlorofylů ze středně raných odrůd má modrosemenná odrůda Maraton s průměrným obsahem 3,41 µg/cm², jak dokládá obr. 20. Naměřené hodnoty chlorofylů se pohybují v intervalu hodnot od 11,69 µg/cm² (BBCH 54) do 0,2 µg/cm² (BBCH 41). Naopak nejnižší obsah chlorofylů byl zjištěn u odrůdy Aplaus s průměrným obsahem 1,10 µg/cm². Obsah chlorofylů se pohyboval v intervalu od 1,69 µg/cm² (BBCH 54) do 0,12 µg/cm² (BBCH 41).

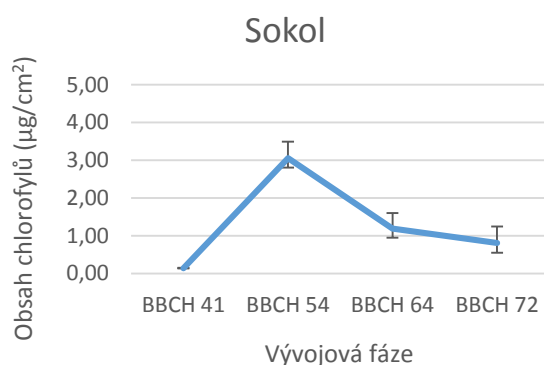




Obr. 20: Průměrný obsah chlorofylů u středně raných odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

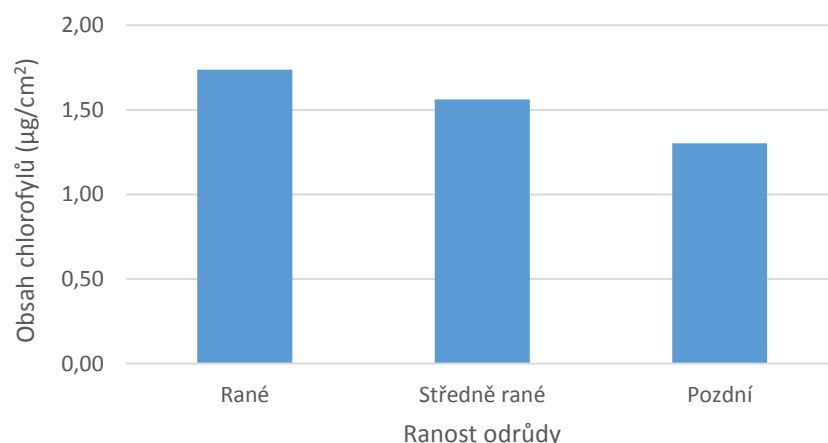
Pozn.: Maraton – BBCH 54 (11,69 µg/cm²)

Průměrný obsah chlorofylů u pozdní odrůdy Sokol se pohybuje okolo 1,3 µg/cm², jak dokládá obr. 21. Naměřené hodnoty se pohybují od maxima 3,06 µg/cm² (BBCH 54) do 0,14 µg/cm² (BBCH 41).



Obr. 21: Průměrný obsah chlorofylů u pozdní odrůdy máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

V obsahu chlorofylů mezi ranými, středně ranými a pozdními odrůdami máku setého v období od stonkování a butonizace do začátku zrání tobolky nebyly potvrzeny průkazné statistické difference. Z obr. 22 je patrné, že nejvyšší obsah chlorofylů je zaznamenán u raných odrůd s obsahem chlorofylů 1,74 µg/cm². Nejnižší obsah chlorofylů je naopak stanoven u pozdních odrůd s obsahem chlorofylů 1,3 µg/cm², což je snížení o cca 25 % ve srovnání s ranými odrůdami.



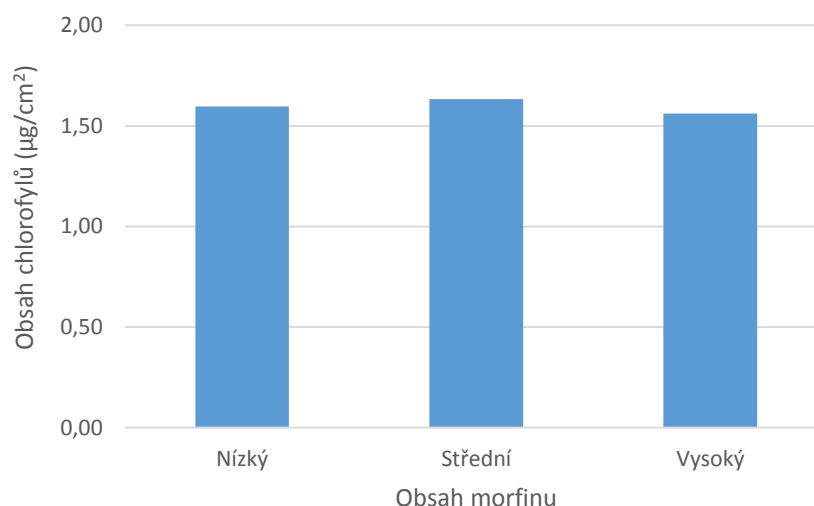
Obr. 22: Průměrné obsahy chlorofylů u máku setého ve vztahu k ranosti odrůd (rané, středně rané a pozdní odrůdy) v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Nejvyšší průměrný obsah chlorofylů z odrůd s nízkým obsahem morfinu má modrosemenná odrůda Marianne s maximálními chlorofyly v BBCH 54 ($8,46 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a s minimálními v BBCH 72 ($0,17 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Nejnižší obsah chlorofylů má bělosemenná odrůda Albín s maximálním chlorofylem v BBCH 54 ($1,47 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a s minimálním v BBCH 41 ($0,35 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Nejvyšší průměrný obsah chlorofylů z odrůd se středně vysokým obsahem morfinu má modrosemenná odrůda Maraton s maximálními chlorofyly v BBCH 54 ($11,69 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a s minimálními v BBCH 41 ($0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Nejnižší obsah chlorofylů má modrosemenná odrůda Aplaus s maximem v BBCH 54 ($1,69 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a s minimem v BBCH 41 ($0,12 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Vyšší obsah chlorofylů má modrosemenná odrůda Postomi. Maximální obsah chlorofylů byl zjištěn v BBCH 54 ($3,41 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a naopak minimální v BBCH 41 ($0,17 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

V obsahu chlorofylů mezi odrůdami s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu máku setého v období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky nebyly potvrzeny průkazné statistické difference. Z obr. 23 je patrné, že nejvyšší průměrný obsah chlorofylů je zaznamenán u odrůd se středním obsahem morfinu s hodnotou $1,63 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Naopak nejnižší obsah chlorofylů $1,56 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ je u odrůd s vysokým obsahem morfinu, což je snížení o cca 5 % ve srovnání s odrůdami se středním obsahem morfinu.

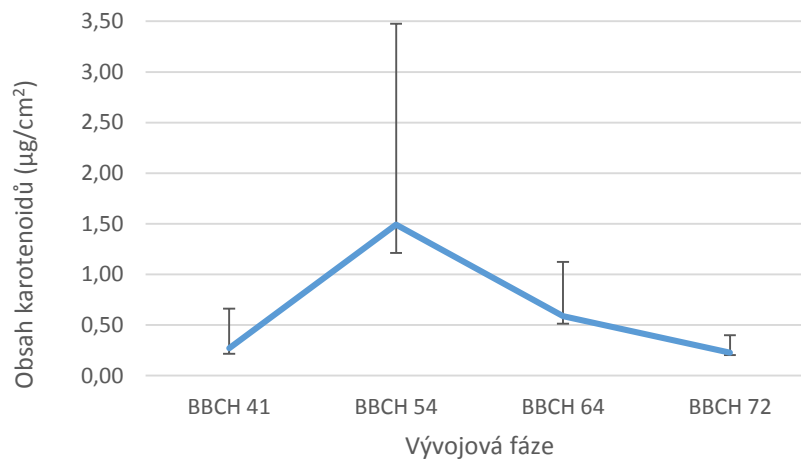


Obr. 23: Průměrné obsahy chlorofylů u máku setého ve vztahu k obsahu morfinu (nízký, střední, a vysoký obsah) v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Obsah karotenoidů

V obsahu karotenoidů u sledovaných odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky byly zjištěny významné statistické diference. Příčinnou těchto rozdílů je především postupný vývoj a růst rostliny během tohoto vývojového období. Významné statistické diference nebyly nalezeny pouze mezi BBCH 41 a BBCH 64, mezi fází stonkování a butonizace a fází zelené zralosti, dále mezi BBCH 41 a BBCH 72, mezi fází stonkování a butonizace a fází začátku žloutnutí tobolky a mezi BBCH 64 a BBCH 72, mezi fází zelené zralosti a fází začátku žloutnutí tobolky.

Na obr. 24 je uveden vývoj obsahu karotenoidů u sledovaných odrůd máku od fáze stonkování a butonizace (BBCH 41) do fáze začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72).

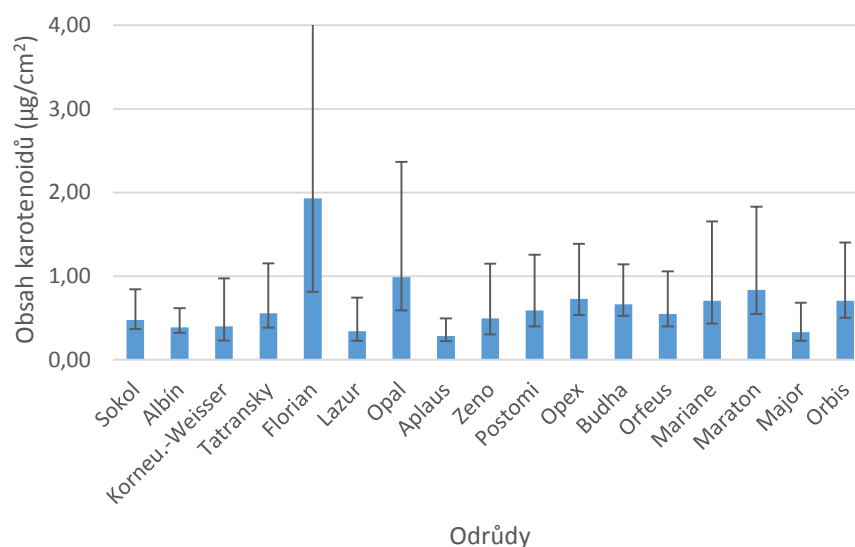


Obr. 24: Vývoj průměrného obsahu karotenoidů u sledovaných odrůd máku ve vztahu k ontogenezi v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Z uvedeného obr. 24 je patrné, že průměrný obsah karotenoidů dosáhl svého maxima v BBCH 54 (fáze plné kvetení). Obsah karotenoidů v této fázi byl $1,49 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Po dosažení maximálního obsahu karotenoidů byla zaznamenána redukce, v důsledku postupného stárnutí listů. Nejvýraznější snížení karotenoidů ve srovnání s maximálním obsahem karotenoidů bylo zaznamenáno na konci sledovaného období v BBCH 72 (fáze začátku žloutnutí tobolky). V této fázi dosáhl průměrný obsah karotenoidů výše $0,23 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, což je úbytek oproti maximálním karotenoidům cca o 85 %.

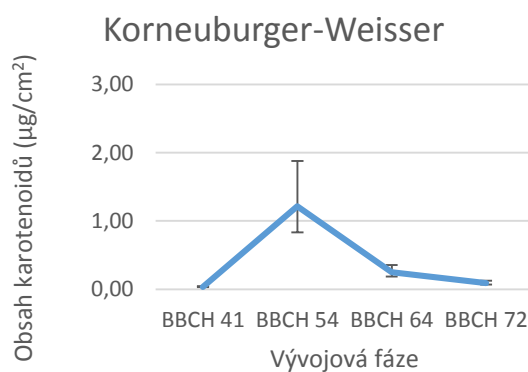
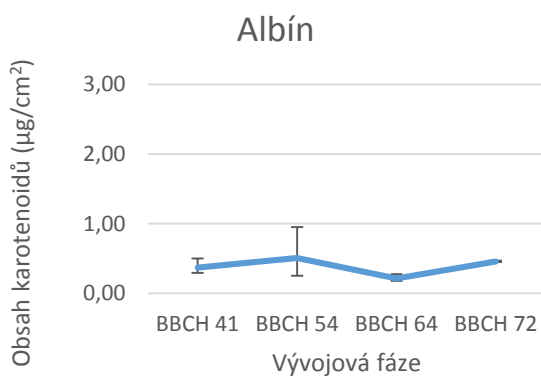
Obsah karotenoidů byl vedle ontogenetického vývoje rostlin ovlivněn také odrůdou. Mezi sledovanými odrůdami byly nalezeny průkazné statistické diference např. mezi odrůdou Florian (nejvyšší obsah karotenoidů) a odrůdami Aplaus, Major a Lazur (nejnižší obsah karotenoidů).

Na základě získaných průměrných obsahů karotenoidů se jednotlivé odrůdy máku vyprofilovaly do několika skupin. Z obr. 25 je možné sledované odrůdy rozdělit podle obsahu karotenoidů do tří skupin. Prvou skupinu zahrnují odrůdy s nízkým obsahem karotenoidů od $0,28$ do $0,40 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Do této kategorie je možné zařadit odrůdy Aplaus, Major, Lazur, Albín, Korneuburger-Weisser. Další kategorii představují odrůdy se středním obsahem karotenoidů od $0,47$ do $0,66 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Tuto kategorii představují odrůdy Sokol, Zeno, Orfeus, Tatranský, Postomi, Buddha. Vysoký obsah karotenoidů od $0,70$ do $1,93 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ byl zaznamenán u odrůdy Orbis, Marianne, Opex, Maraton, Opal, Florian.



Obr. 25: Průměrný obsah karotenoidů u jednotlivých odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

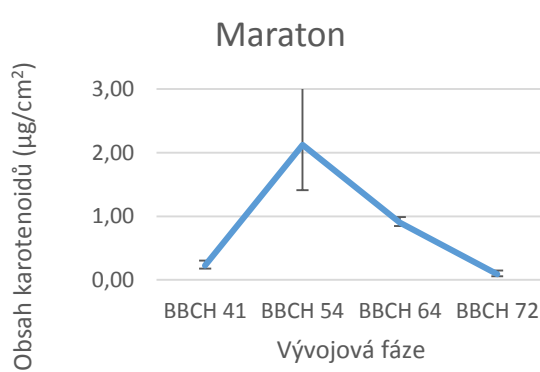
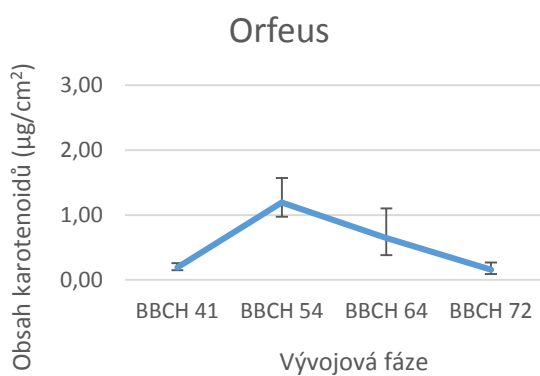
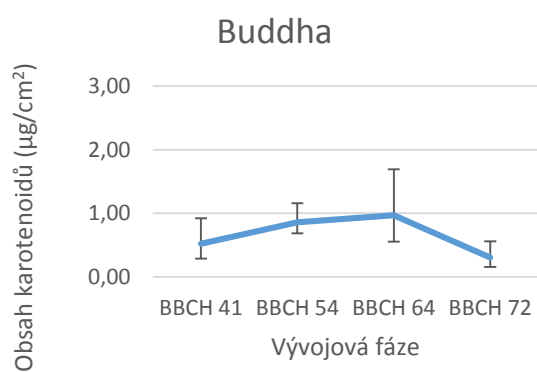
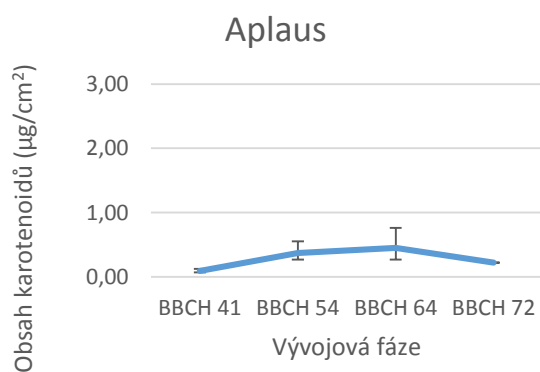
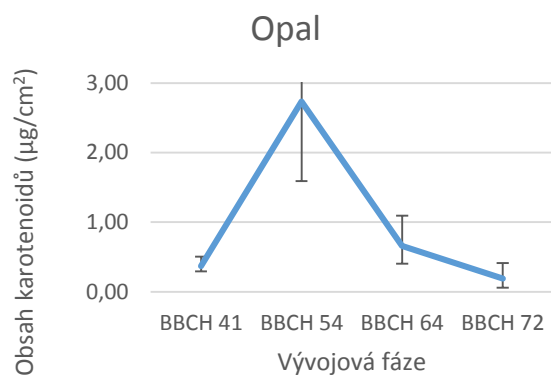
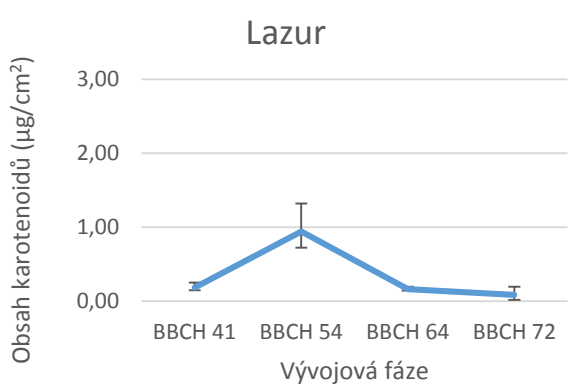
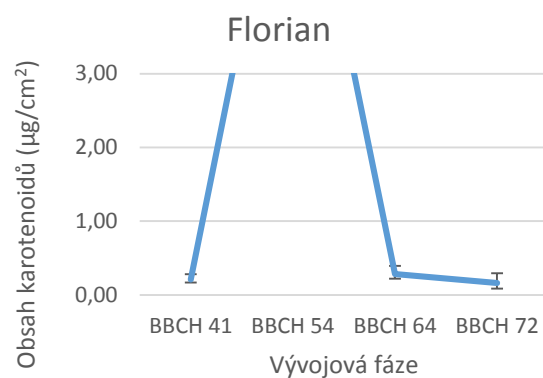
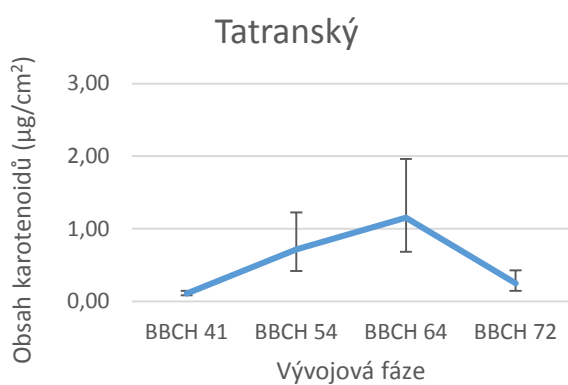
Podle obr. 26 nejvyšší průměrný obsah karotenoidů ze všech měření z raných odrůd má modrosemenná odrůda Opex, kdy průměrný obsah dosahuje hodnoty 0,73 µg/cm². Naměřené hodnoty karotenoidů se pohybují v intervalu hodnot od 1,33 µg/cm² (BBCH 54) do 0,15 µg/cm² (BBCH 41). Naopak nejnižší obsah chlorofylů byl zjištěn u bělosemenné odrůdy Albín, při průměrném obsahu 0,39 µg/cm². U této odrůdy byl nejvyšší obsah karotenoidů 0,51 µg/cm² stanoven v BBCH 54 a nejnižší 0,21 µg/cm² v BBCH 64.

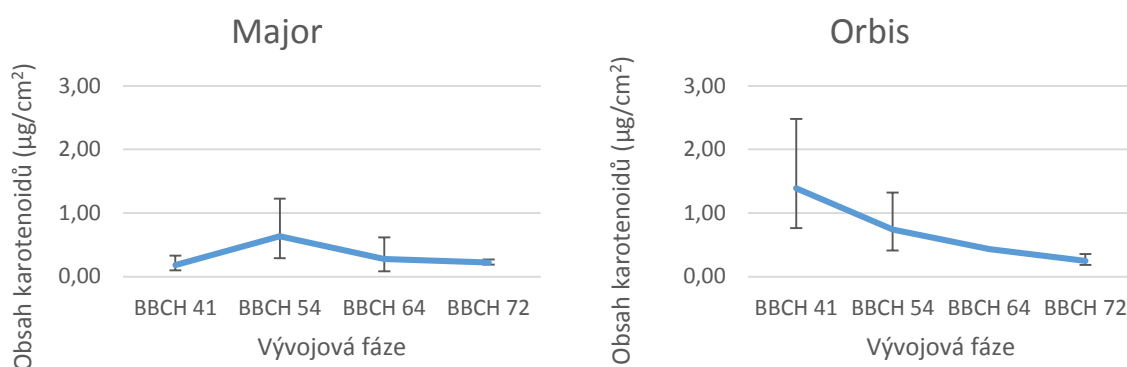




Obr. 26: Průměrné obsahy karotenoidů u raných odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Podle obr. 27, nejvyšší obsah karotenoidů ze středně raných odrůd má modrosemenná odrůda Florian s průměrným obsahem $1,93 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Naměřené hodnoty karotenoidů se pohybují v intervalu hodnot od $7,06 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (BBCH 54) do $0,16 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (BBCH 72). Naopak nejnižší obsah karotenoidů byl zjištěn u odrůdy Aplaus s průměrným obsahem $0,28 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. U této odrůdy byl nejvyšší obsah $0,45 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ stanoven v BBCH 64 a nejnižší $0,09 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ v BBCH 41.

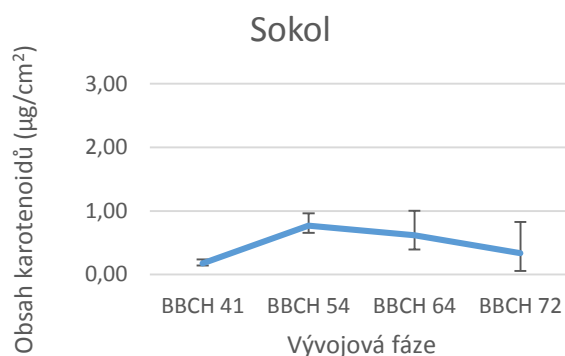




Obr. 27: Průměrný obsah karotenoidů u středně raných odrůd máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

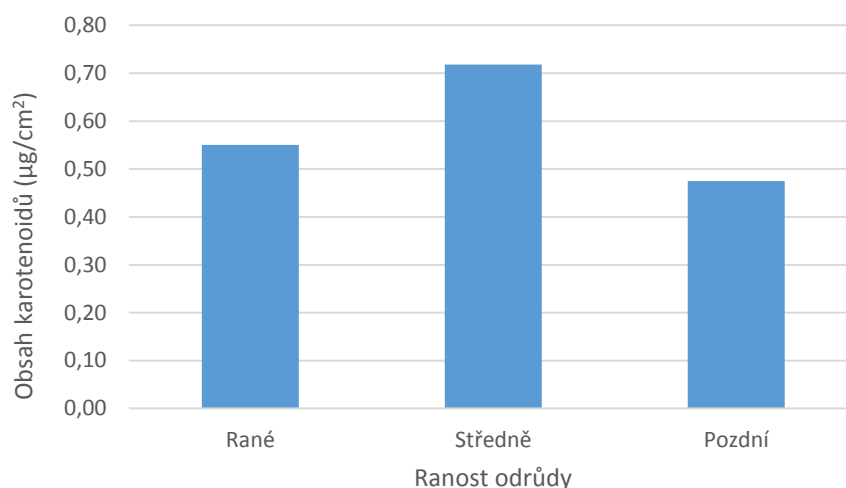
Pozn.: Florian – BBCH 54 (7,06 µg/cm²)

Průměrný obsah karotenoidů dle obr. 28 se u pozdní odrůdy Sokol pohybuje cca 0,47 µg/cm². Naměřené hodnoty se pohybují od maxima 0,77 µg/cm² (BBCH 54) do 0,18 µg/cm² (BBCH 41).



Obr. 28: Průměrný obsah karotenoidů u pozdní odrůdy máku setého v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

V obsahu karotenoidů mezi ranými, středně ranými a pozdními odrůdami v období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky nebyly potvrzeny průkazné statistické difference. Z obr. 29 je patrné, že nejvyšší obsah karotenoidů je zaznamenán u středně raných odrůd s průměrným obsahem 0,72 µg/cm². Nejnižší obsah karotenoidů je stanoven u pozdních odrůd s obsahem 0,47 µg/cm², což je snížení o cca 35 % ve srovnání s odrůdami středně ranými.



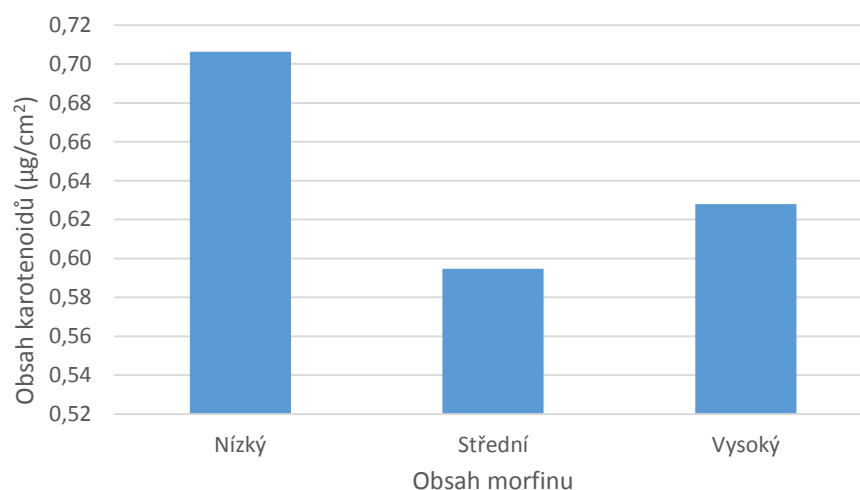
Obr. 29: Průměrné obsahy karotenoidů u máku setého ve vztahu k ranosti odrůd (rané, středně rané a pozdní odrůdy) v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

Nejvyšší průměrný obsah karotenoidů z odrůd s nízkým obsahem morfinu má modrosemenná odrůda Florian s maximálními karotenoidy v BBCH 54 ($7,06 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a s minimálními v BBCH 72 ($0,16 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Nejnižší obsah karotenoidů má bělosemenná odrůda Albín s maximálními karotenoidy v BBCH 54 ($0,51 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a s minimálními v BBCH 64 ($0,21 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Nejvyšší průměrný obsah karotenoidů z odrůd se středně vysokým obsahem morfinu má modrosemenná odrůda Opal s maximálními karotenoidy v BBCH 54 ($2,74 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a s minimálními v BBCH 72 ($0,19 \mu\text{g}/\text{cm}^2$). Nejnižší obsah karotenoidů má modrosemenná odrůda Aplaus s maximem v BBCH 64 ($0,45 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a s minimem v BBCH 41 ($0,09 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

Vyšší obsah karotenoidů má modrosemenná odrůda Buddha. Maximální hodnoty karotenoidů byly zjištěny v BBCH 64 ($0,97 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a naopak minimální v BBCH 72 ($0,30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$).

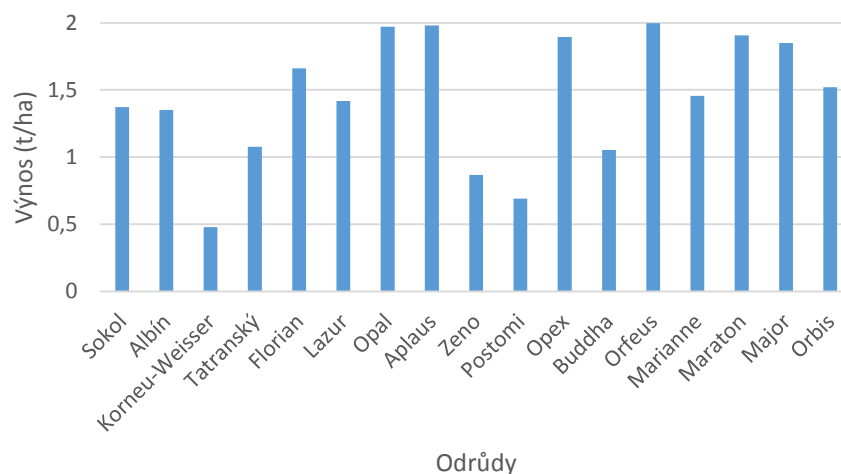
V obsahu karotenoidů mezi odrůdami máku setého s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu v období od stonkování a butonizace do začátku žloutnutí tobolky nebyly potvrzeny průkazné statistické diference. Z obr. 30 je patrné, že nejvyšší průměrný obsah karotenoidů je zaznamenán u odrůd s nízkým obsahem morfinu s obsahem $0,71 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Naopak nejnižší obsah karotenoidů je u odrůd se středním obsahem morfinu s hodnotou $0,59 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, což je snížení o cca 17 % ve srovnání s odrůdami s nízkým obsahem morfinu.



Obr. 30: Průměrné obsahy karotenoidů u máku setého ve vztahu k obsahu morfinu (nízký, střední, a vysoký obsah) v období od stonkování a butonizace (BBCH 41) do začátku žloutnutí tobolky (BBCH 72)

5.3 Výnos odrůd máku setého

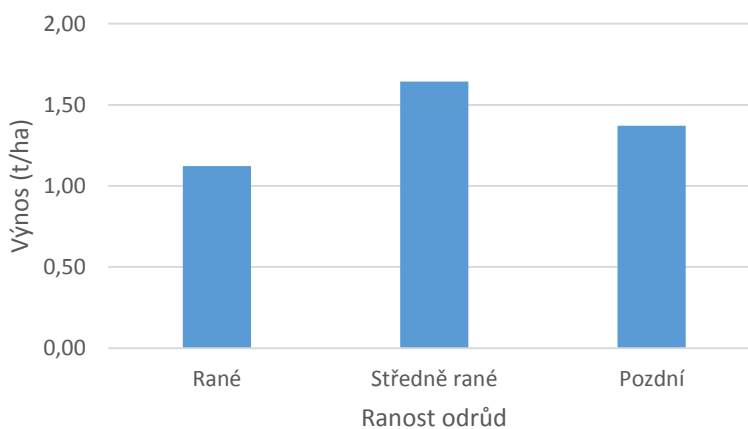
Na obr. 31 jsou znázorněny výsledky konečných výnosů jednotlivých odrůd máku setého. Nejvyššího výnosu dosáhla modrosemenná odrůda Orfeus s průměrným výnosem 1,99 t/ha. Velmi dobré výnosy byly zaznamenány i u odrůdy Aplaus (1,98 t/ha), Opal (1,97 t/ha), Maraton (1,91 t/ha) a Opex (1,89 t/ha). Nejnižší výnos byl dosažen u bělosemenné odrůdy Korneuburger-Weisser, s průměrným výnosem 0,48 t/ha.



Obr. 31: Výnos v t/ha u sledovaných odrůd máku setého

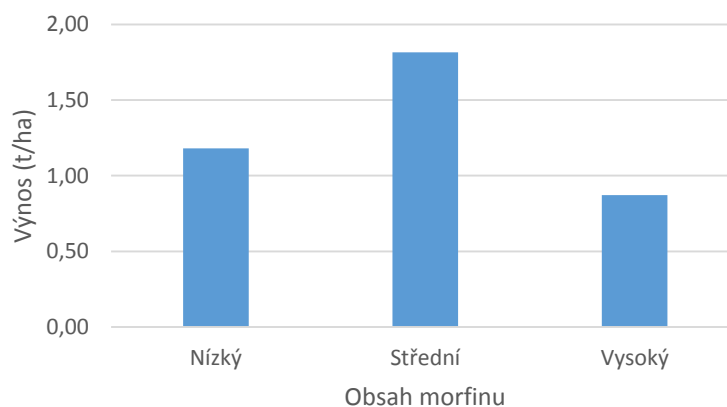
Ve výnosu mezi ranými, středně ranými a pozdními odrůdami máku setého nebyly potvrzeny průkazné statistické difference. Z obr. 32 je patrné, že nejvyšší výnos je zaznamenán

u středně raných odrůd s průměrným výnosem 1,64 t/ha. Nejnižší výnos 1,12 t/ha je stanoven u raných odrůd, což je snížení o cca 32 % ve srovnání s výnosem středně raných odrůd.



Obr. 32: Průměrný výnos (t/ha) ve vztahu k ranosti odrůd máku setého (rané, středně rané a pozdní odrůdy)

Ve výnosu mezi odrůdami máku setého s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu byly potvrzeny průkazné statistické difference, např. mezi výnosem u odrůd s nízkým a středním obsahem morfinu a u odrůd se středním a vysokým obsahem morfinu. Z obr. 33 je patrné, že nejvyšší výnos je zaznamenán u odrůd se středním obsahem morfinu s průměrným výnosem 1,82 t/ha. Naopak nejnižší výnos 0,87 t/ha je u odrůd s vysokým obsahem morfinu, což je snížení o cca 23 % ve srovnání s odrůdami s nízkým obsahem morfinu.



Obr. 33: Průměrný výnos (t/ha) u odrůd máku setého ve vztahu k obsahu morfinu (nízký, střední, a vysoký obsah)

6 Diskuze

6.1 Pokryvnost listoví (LAI)

Pokryvnost listoví (LAI) je důležitým klíčovým parametrem vegetační struktury porostů. LAI se používá především k predikci fotosyntetické kapacity rostlin a pro monitoring růstu rostlin (Zhao et al., 2016). LAI je úzce spojené se zachycením světelného záření listy, dýcháním, transpirací a dalšími procesy probíhající v rostlině (Li et al., 2017).

Průměrné LAI u máku setého v období od stonkování a butonizace do začátku zrání tobolky se pohybovalo od 0,85 (odrůdy s nízkou pokryvností listoví) do 1,87 (odrůdy s vysokou pokryvností listoví). U pšenice ozimé se LAI pohybovalo od 1,8 do 3,8 (Bavec et al., 2007), u odrůd ječmene bylo zjištěno maximální průměrné LAI od 3,2 do 4 (Ferus, 2009). González-Sanpedro et al. (2008) uvádí, že např. u brambor se průměrné LAI pohybuje v hodnotě 5,4 a u česneku 0,56. Dále al. (2009) dodává, že průměrné LAI u sóje je 1,19, u bavlny 1,37 a u pšenice ozimé 1,65 (Hansen a Schjoerring, 2003). U listnatých lesů se LAI pohybuje okolo průměrné hodnoty 3,8, u jehličnanů 3,4 (Mohammed et al., 2017).

Průměrné LAI u máku se snižovalo v závislosti na ontogenetickém vývoji, kdy maximální LAI 1,94 bylo dosaženo ve fázi stonkování a butonizace. Nejvýraznějšího minima LAI ve srovnání s maximálním LAI bylo potvrzeno na konci sledovaného období, ve vývojové fázi zrání tobolky máku. V této fázi byla průměrná hodnota LAI 1,07, což je snížení o 45 % ve srovnání s maximálním LAI. Gitelson et al. (2003) uvádí, že nejvyšší maximum LAI u kukuřice bylo dosaženo v hodnotě 6 a na konci měření bylo LAI 5,6, tj. snížení pouze o 7 % ve srovnání s maximem. U máku je snížení LAI velmi razantní. Zeng et al. (2016) dodává, že LAI se u slunečnice zvyšovalo do období butonizace a poté se postupně v závislosti na ontogenetickém vývoji snižovalo. S tímto tvrzením souhlasí i Tyagi et al. (2000), který také potvrdil u slunečnice výrazné snížení LAI v závislosti na ontogenetickém vývoji. Dreccer et al. (2000) potvrzuje u řepky ozimé na konci fáze kvetení dramatickou redukci LAI. Pokryvnost listoví u řepky zvyšovala především růst šesulí a růst stonku. U pšenice LAI rostlo až do fáze kvetení, poté klesalo (Lunagaria and Shekh, 2006). Průměrná hodnota LAI u máku setého ve fázi kvetení byla 1,82. Goksoye et al. (2004) zjistil u slunečnice, že ve fázi kvetení má LAI 2,49.

Mezi sledovanými odrůdami máku setého byly potvrzeny průkazné difference ve velikosti LAI. Bavec et al. (2007) zjistil významné difference v listové ploše u pšenice ozimé mezi jednotlivými odrůdami. Hunková et al. (2011) také potvrdila, že pozorované genotypy

řepky ozimé jsou charakterizovány významnými rozdíly v listové ploše. Výrazné diference byly prokázány i u odrůd ječmene (Ferus, 2009). Hao et al. (2016) zjistil, že významné statistické diference v LAI nebyly potvrzeny mezi hybridy v podmínkách dobře zásobených vodou, zatímco v podmínkách suchu byly potvrzeny. Ačkoliv byly potvrzeny rozdíly v LAI mezi sledovanými odrůdami, mezi ranými, středně ranými a pozdními odrůdami máku nebyly potvrzeny průkazné diference. Z výsledků je patrné, že nejvyšší LAI bylo zaznamenáno u středně raných odrůd a nejnižší u raných odrůd máku. Mezi odrůdami s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu také nebyly potvrzeny významné statistické diference. Odrůdy se středním obsahem morfinu vykazovaly nejvyšší LAI, naopak odrůdy s vysokým obsahem morfinu nejnižší LAI.

Na velikost LAI mají vliv různé vnitřní faktory (vývojová fáze, stáří rostliny, počet listů), ale i vnější faktory (pěstební podmínky, hnojení, vodní deficit). Na velikost LAI má pozitivní vliv dusíkaté hnojení u zemědělských plodin. Amunullah et al. (2007) potvrdil pozitivní vliv dusíkatého hnojení na rozvoj listové plochy a maximalizaci zachycení světelného záření. U dusíkatého hnojení u kukuřice je zjištěno minimální LAI 3,66 při hnojení 60 kg N a maximální LAI 4,59 při hnojení 160 kg N. Toto tvrzení je ve shodě s De-yang et al. (2016) a Wasaya et al. (2017), kteří také potvrdili pozitivní efekt dusíkatého hnojení u kukuřice na LAI. Shahrokhnia a Sepaskhah (2017) zkoumali efekt dusíkatého hnojení na LAI i u světlice barvířské. Dusíkaté hnojení přispělo především k rozsáhlejšímu nárůstu listové ploše. Boegh et al. (2002) naopak potvrzuje, že mezi obsahem dusíku a LAI není významná korelace. Mahdavi-Damghani et al. (2010) potvrdil pozitivní vliv zavlažování na LAI u máku setého, kdy průměrné LAI se pohybovalo od 10,63 do 11,53. U zavlažovaného pokusu s fazolemi se pohybovalo LAI okolo 2,23 (48. den po zasetí – konec května), 3,13 (64. den po zasetí – konec června) a 1,05 (92. den po zasetí) (Mathobo et al., 2017).

Stres u rostliny např. vodní deficit nebo nedostatek živin má výrazně negativní vliv na velikost LAI. Mahdavi-Damghani et al. (2010) potvrdil negativní vliv účinku vodního deficitu před kvetením a zkráceného vegetativního období (prodlužující se fotoperioda) na mák setý v jižním Španělsku. Zeng et al. (2016) potvrdil negativní vliv se stresovým zasolením u slunečnice. Mathobo et al. (2017) dále potvrzuje, že vodní stres má vliv i na redukci listové plochy u fazolí. U nezavlažovaných pokusů bylo nejnižší LAI 0,36, což je snížení o cca 90 % ve srovnání s maximálním LAI. Plénet et al. (2000) dodává, že podstatné snížení LAI během raných fází způsobuje i deficit fosforu. Wasaya et al. (2017) zjistili při pokusu u kukuřice, že zpracování půdy orební technologií způsobilo snížení LAI.

Velikost LAI u máku setého je ve srovnání s ostatními zemědělskými plodinami podstatně nižší. Hodnoty LAI u máku nejsou v průběhu ontogenetického vývoje konstantní, ale mění se v závislosti na ontogenetickém vývoji. Velikost LAI stoupá u máku až do fáze stonkování a butonizace, kdy dosáhne maximálních hodnot LAI. Rostlina má vytvořenou rozsáhlou listovou plochu, a to je předpokladem pro maximální zachycení dopadajícího fotosynteticky aktivního záření listy a tvorbu výnosu plodiny. Směrem k vývojové fázi zrání se LAI výrazně snižuje, což je příčinnou především postupného stárnutí listů. Na velikost LAI mají pozitivní i negativní vliv různé vnitřní i vnější faktory.

6.2 Fotosynteticky aktivní pigmenty

Fotosyntetické pigmenty zahrnují především chlorofyly a karotenoidy. Jejich fotosyntetická funkce je nezbytná pro rostliny a pro přežití všech savců (Blackburn, 2002). Uvnitř chloroplastů se chlorofyly skládají z chlorofylu *a* a chlorofylu *b*, které zastupují hlavní skupinu pigmentů zodpovědných pro zachycení světleného záření ve fotosyntéze (Nobel, 2005). Karotenoidy zahrnují karoteny a xantofyly, tedy druhou hlavní skupinu rostlinných pigmentů (Blackburn, 2007).

Obsah chlorofylů se u odrůd máku v období od stonkování a butonizace do začátku zrání tobolky pohyboval od 1,02 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (odrůdy s nízkým obsahem chlorofylů) do 3,41 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (odrůdy s vysokým obsahem chlorofylů) a obsah karotenoidů od 0,28 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (odrůdy s nízkým obsahem karotenoidů) do 1,93 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (odrůdy s vysokým obsahem karotenoidů). Podle Khan et al. (2011) v rámci pokusu u máku setého, byl průměrný obsah chlorofylů u 0,95 mg/g a průměrný obsah karotenoidů 0,09 mg/g. Trivedi et al. (2006) zkoumal obsah chlorofylů u třiceti pěti genotypů máku setého. Zjistil, že průměrný obsah chlorofylů v listech v máku je 1,73 mg/g. Hansen a Schjoerring (2003) ve svých pokusech u pšenice ozimé potvrdili, že průměrný obsah chlorofylů je 2,05 mg/g. U listnatých stromů je obsah chlorofylů až 8,2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Maire et al., 2008). Kunderlikova et al. (2016) zjistili, že obsah chlorofylů u pšenice jarní se pohybuje průměrně od 128 mg/m² až do 372 mg/m². Daughtry et al. (2000) dodává, že při měření chlorofylů u kukuřice byl obsah 18,3 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. U pšenice se obsah chlorofylů ve fázi odnožování pohyboval mezi 4 až 4,5 mg/dm² (Sid'ko et al., 2017).

Průměrný obsah pigmentů se měnil v závislosti na ontogenetickém vývoji. Maximální obsah chlorofylů i karotenoidů byl nejvyšší ve fázi plného kvetení, a naopak minimální obsah chlorofylů byl dosažen ve fázi stonkování a butonizace a minimální obsah karotenoidů ve fázi zrání tobolky. V rámci měření obsahu chlorofylů u slunečnice byl potvrzen postupný

množstevní nárůst chlorofylů s maximálním obsahem ve vývojové fázi kvetení (Kováčik et al., 2010). Herchi et al. (2011) zkoumal obsahy pigmentů u odrůd lněného semínka a zjistil, že obsah karotenoidů se měnil v závislosti na ontogenetickém vývoji. V počátečních fázích byl zaznamenán silný nárůst v množství karotenoidů a k blížícímu se zrání se obsah dramaticky snižoval. Manivannan et al. (2007) potvrdili, že ve fázi stonkování a butonizace se průměrný obsah chlorofylů u slunečnice pohyboval u odrůd v obsahu od 1,43 mg/g do 1,69 mg/g a obsah karotenoidů od 1,01 mg/g do 1,42 mg/g. Obsah chlorofylů u máku byl v této fázi 0,33 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ a obsah karotenoidů 0,27 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Manivannan et al. (2007) dále dodávají, že v 70. dni po zasetí (fáze kvetení) byl významně zaznamenán nárůst obsahu pigmentů. Obsah chlorofylů se pohyboval od 1,81 mg/g do 2,04 mg/g a obsah karotenoidů od 1,12 mg/g do 1,68 mg/g. Obsah chlorofylů u máku byl v této fázi 3,99 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ a obsah karotenoidů 1,49 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$. Mathobo et al. (2017) zjistili, že minimum chlorofylů u fazolu bylo naměřeno na začátku měření ve vývojové fázi stonkování. Obsah chlorofylů se u kukuřice pohyboval během dosažení nejvyšší hodnoty LAI cca 60 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, zatímco u sóje mezi 30 a 40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Houborg et al., 2015).

Mezi sledovanými odrůdami máku byly zjištěny průkazné difference v obsahu pigmentů. Taran et al. (2017) zjistili ve svých pokusech se suchem, že existují průkazné difference v obsahu chlorofylů a karotenoidů mezi odrůdami ozimé pšenice. V rámci obsahu chlorofylů u řepky ozimé byly zjištěny také statisticky průkazné difference mezi odrůdami, ale v rámci obsahu karotenoidů nebyly zjištěny žádné difference mezi odrůdami (Hunková et al., 2009). Mezi ranými, středně ranými a pozdními odrůdami nebyly prokázány průkazné statistické difference v obsahu pigmentů. Nejvyšší obsah chlorofylů byl zaznamenán u raných odrůd a nejnižší u pozdních odrůd máku. Naopak nejvyššího obsahu karotenoidů dosáhly středně rané odrůdy. V rámci sledování diferencí mezi odrůdami s různým obsahem morfinu také nebyly zaznamenány průkazné difference v obsahu pigmentů. Nejvyšší obsah chlorofylů byl potvrzen u odrůd se středním obsahem morfinu a nejnižší u odrůd s vysokým obsahem. Naopak nejvyšší obsah karotenoidů u odrůd s nízkým obsahem a nejnižší u odrůd se středním obsahem morfinu.

Na obsah pigmentů, podobně jako na LAI, má vliv řada faktorů. Jedná se jak o faktory vnitřní (stáří rostliny, vývojová fáze), tak i o vnější faktory (pěstební podmínky, hnojení). Pozitivní vliv na zvýšení obsahu pigmentů má především dusíkaté hnojení. Boegh et al. (2002) potvrzují významnou korelaci mezi dusíkatým hnojením a obsahem chlorofylů, kromě vegetační fáze zrání, kdy obsah chlorofylů v listech se výrazně snižuje. Daughtry et al. (2000)

a Wasaya et al. (2017) také potvrzují pozitivní efekt hnojení dusíku u kukuřice. Dále zjistili, že obsah chlorofylů se při dusíkatém hnojení více než dvojnásobně zvyšuje ve srovnání s kontrolní nehnojenou variantou. Nejvyšší nárůst chlorofylů byl potvrzen např. u hnojení 180 kg/ha (obsah chlorofylů 52,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$). Mathobo et al. (2007) potvrdili pozitivní efekt zavlažování na výrazné zvýšení obsahu chlorofylů.

Stresové podmínky u rostlin negativně působí na snížení obsahu pigmentů. Perveen et al. (2013) potvrdil, že obsah chlorofylů se u pšenice významně snižoval v podmínkách zasolení. Odrůda tolerantní vůči zasolení vykazovala vyšší obsah chlorofylů při srovnání s citlivou odrůdou na zasolení. Např. při aplikaci na list přípravku TRIA, se značně zvýšil obsah chlorofylů u obou odrůd. Mathobo et al. (2017) zjistili, že obsah chlorofylů se u fazolí vlivem vodního stresu také významně snižoval. Vysoký tlak ani vysoká teplota při zpracování zeleniny neměly žádný vliv na obsah karotenoidů. Na snížení obsahu chlorofylů měla vliv především vysoká teplota při zpracování. Při teplotě 70 °C byl chlorofyl *b* více stabilnější než chlorofyl *a*. Při teplotě 117 °C byly oba dva typy chlorofylů silně degradovány (Sánchez et al., 2014).

Obsah pigmentů u máku setého je ve srovnání s ostatními zemědělskými plodinami nižší. Obsah není v průběhu ontogenetického vývoje konstantní, ale mění se v závislosti na ontogenetickém vývoji. Pigmenty stoupají u máku až do fáze plného kvetení, kdy dosáhnou maximálních hodnot. Rostlina obsahuje v této fázi maximálních obsahů pigmentů, což je předpokladem pro maximální zachycení dopadajícího světelného záření listy a tvorbu výnosu plodiny. Směrem k vývojové fázi zrání se obsah výrazně snižuje, což je příčinou především postupného stárnutí a odumírání listů. Na obsah pigmentů mají pozitivní i negativní vliv různé vnitřní i vnější faktory.

7 Závěr

Cílem této práce bylo zjistit, zda existují rozdíly ve velikosti LAI a obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů v závislosti na ranosti odrůd a obsahu morfinu u máku setého. Dále určit vhodné genotypy máku, které poskytují dobré fotosyntetické předpoklady pro navýšení tvorby výnosu.

Na základě získaných výsledků lze konstatovat, že:

- Velikost LAI a obsah pigmentů se měnily v závislosti na ontogenetickém období. LAI dosáhlo v průměru za všechny odrůdy svého maxima ve fázi stonkování a butonizace (1,97) a poté se postupně snižovalo. Minimum bylo dosaženo ve fázi začátku žloutnutí tobolky v důsledku postupného stárnutí rostliny (1,07).
- Průkazné rozdíly byly zjištěny mezi některými sledovanými odrůdami, např. mezi odrůdou Orbis (nejvyšší hodnota LAI) a odrůdou Tatranský (nejnižší hodnota LAI).
- Mezi skupinami odrůd, rozdělených dle ranosti na rané, středně rané a pozdní, nebyly zjištěny statistické rozdíly v hodnotách LAI.
- Také nebyly potvrzeny průkazné difference ve velikosti LAI mezi odrůdami s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu.
- Obsah pigmentů dosáhl v průměru za všechny odrůdy svého maxima ve fázi plného kvetení (chlorofyly 3,99 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, karotenoidy 1,49 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$). Minimum bylo dosaženo u chlorofylů již na počátku měření ve fázi stonkování a butonizace (0,33 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) a u karotenoidů ve fázi začátku žloutnutí tobolky (0,23 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$).
- Průkazné rozdíly byly také zjištěny mezi některými sledovanými odrůdami. U chlorofylů mezi odrůdou Maraton (nejvyšší obsah chlorofylů) a odrůdou Albín (nejnižší obsah chlorofylů), u karotenoidů mezi odrůdou Florian (nejvyšší obsah karotenoidů) a odrůdou Aplaus (nejnižší obsah karotenoidů).
- Mezi skupinami odrůd, rozdělených dle ranosti na rané, středně rané a pozdní, nebyly zjištěny statistické rozdíly v obsahu pigmentů. Také nebyly potvrzeny průkazné difference v obsahu pigmentů mezi odrůdami s nízkým, středním a vysokým obsahem morfinu.
- Nejvyšší výnos se projevil u středně raných odrůd (1,64 t/ha) a naopak nejnižší u raných odrůd (1,12 t/ha). Ve výnosu byly zjištěny statistické rozdíly mezi odrůdami

s rozdílným obsahem morfinu. Nejvyšší výnos byl dosažen u odrůd se středním obsahem morfinu, a naopak nejnižší u odrůd s vysokým obsahem morfinu.

Na základě výsledků nebylo možné potvrdit stanovené hypotézy o závislosti LAI a obsahu fotosynteticky aktivních pigmentů na ranosti odrůd a obsahu morfinu u máku setého. Z výsledků vyplývá, že je vhodnější pěstovat odrůdy máku středně rané nebo rané, s nízkým nebo se středním obsahem morfinu Modrosemenné odrůdy Maraton, Opex, Orbis a Marianne měly vysoké hodnoty LAI a obsahu pigmentů a zároveň dosáhly i vysokých výnosů v rozmezí od 1,91 do 1,45 t/ha. I odrůdy, které dosáhly pouze průměrných hodnot LAI a obsahu pigmentů, tak dosáhly velmi vysokých výnosů, např. odrůda Orfeus, Aplaus a Opal.

8 Seznam literatury

- Amunullah, Hassan, J. M., Nawab, K. Ali, A. 2007. Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ratio (LAR) of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. *World applied sciences journal*. 2 (3). 235 – 243.
- Andrade, F. H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field crops research*. 41 (1). 1 – 12.
- Anonym. 2014. Genetické zdroje rostlin a zdravá výživa. Ministerstvo zemědělství. Praha. 70 s. ISBN: 978-80-7434-174-8.
- Bavec, M., Vukovič, K., Mlakar, G., Rozman, Č., Bavec, F. 2007. Leaf area index in winter wheat: response on seed rate and nitrogen application by different varieties. *Journal central european of agriculture*. 8 (3). 337 – 342.
- Beale, S. I. 2005. Green genes gleaned. *Trends Plant Science*. 10 (7). 309 – 312.
- Bechyně, M. 1993. Základy pěstování máku. Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství ČR v Praze. Praha. 36 s. ISBN: 80-7105037-7.
- Bechyně, M., Novák, J. 1987. Biologie máku a systém jeho produkce. Vysoká škola zemědělská Praha. Praha. 92 s.
- Bernáth, J. 1998. Poppy, The genus *Papaver*. *Medicinal and Aromatic Plants – Industrial profiles*. Harwood Academic Publishers. Amsterdam. p. 352. ISBN: 0-203-30418-7.
- Blackburn, G. A. 2002. Remote sensing of forest pigments using airborne imaging spectrometer and LIDAR imagery. *Remote sensing of environment*. 82 (2). 311 – 321.
- Boegh, E., Soegaard, H., Broge, N., Hasager, C. B., Jensen, N. O., Schelde, K., Thomsen, A. 2002. Airborne multispectral data for quantifying leaf area index, nitrogen concentration, and photosynthetic efficiency in agriculture. *Remote sensing of environment*. 81. 179 – 193.
- Bouma, D. 2016. Letošní jaro máku neprospělo. *Zemědělec*. 24 (22). 23.
- Bradley, R. L., Long, K. M., Frasc, W. D. 1991. The involvement of photosystem II – generated H₂O₂ in photoinhibition. *FERBS Letters*. 286 (1). 209 – 213.
- Bréda, J. J. N. 2003. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany*. 54. 2403 – 2417.

Ciccarone, D., Unick, G. J., Kraus, A. 2009. Impact of South American heroin on the US heroin market 1993 – 2004. *International Journal of Drug Policy*. 20. 392 – 401.

Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Výzkumná stanice Červený Újezd [online]. 2016. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <<http://www.af.czu.cz/cs/?r=2093>>.

Česko. Vyhláška č. 151/2005 Sb. ze dne 26. dubna 2004, kterou se stanovily vzory formulářů pro hlášení osob pěstujících mák setý nebo konopí. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka 57. s. 3502. [cit. 2016-20-12]. Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-151>> .

Česko. Vyhláška č. 172/2015 Sb. ze dne 10. července 2015 o informační povinnosti příjemce potravin v místě určení. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka: 70. s. 2150. [cit. 2016-20-12]. Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-172>> .

Česko. Zákon č. 167/1998 Sb. ze dne 11. června 1998 o návykových látkách a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. 1998. částka 57. s. 6770–6800. [cit. 2016-20-12]. Dostupné z: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1998-167>> .

Česko. Zákon č. 219/2003 Sb. ze dne 31. července 2003 o uvádění do oběhu osiva a sadby pěstovaných rostlin a o změně některých zákonů (zákon o oběhu osiva a sadby). In: *Sbírka zákonů České republiky*. Částka 79. s. 4053. [cit. 2016-20-12]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-2003-219-viceoblasti.html> .

Český statistický úřad. Ceny výrobců – časové řady [online]. 16. března 2017. [cit. 2017-20-03]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/ipc_cr>.

Český statistický úřad. Soupis ploch osevů – k 31. květnu 2016 [online]. 4. července 2016. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: <<https://www.czso.cz/csu/czso/soupis-ploch-osevu-k-31-kvetnu-2016>>.

Daughtry, C. S. T., Walthall, C. L., Kim, M. S., Colstoun, E., McMurtrey, J. E. 2000. Estimating Corn Leaf Chlorophyll Concentration from Leaf and Canopy Reflectance. *Remote Sensing of Environment*. 74 (2). 229 – 239.

De Filippis, L. F., Pallaghy, C. K. 1976. In: Parvaiz A., Prasad M. N. V. 2012. Abiotic Stress Responses in Plants. Springer New York Dordrecht Heidelberg London. p. 473. ISBN: 978-1-4614-0633-4.

Deng, F., Chen, M. J., Plummer, S., Chen, M., Pisek, J. 2006. Algorithm for Global Leaf Area Index Retrieval Using Satellite Imagery. *Ieee transactions on geoscience and remote sensing*. 44 (8). 2219 – 2229.

Dewick, P. M. 2001. Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach. John Wiley, and sons. New York. p. 493. ISBN: 0-471-49641-3.

De-yang, S., Yan-hong, L., Ji-wang, Z., Peng, L., Bin, Z., Shu-ting, D. 2016. Increased plant density and reduced N rate lead to more grain yield and higher resource utilization in summer maize. *Journal of integrative agriculture*. 15 (11). 2515 – 2528.

Dreccer, M. F., Schapendonk, A. H. C. M., Slafer, G. A., Rabbinge, R. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: Absorption and utilisation efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. *Plant and soil*. 220. 189 – 205.

Fábry, A., Bartoška, J., Bechyně, M., Janovec, J., Kadlec, T., Kosek, Z., Kováčik, A., Kohout, V., Kutina, J., Novák, J., Malěř, J., Pawlica, R., Schreier, J., Souček, J., Sýkora, L., Šedivý, J., Škaloud, V., Táborský, V., Vašák, J., Vincenc, J., Voškeruša, J., Zbuzek, B., Zukalová, H. 1992. Olejniny. Ministerstvo zemědělství. Praha. 419 s. ISBN: 80-7084-043-9.

Fábry, A., Bechyně, M., Blažek, F., Derco, M., Hannich, K., Korda, J., Kováčik, A., Kratochvíl, V., Kurzová, E., Kutina, J., Liška, O., Martinek, V., Schreier, J., Voškeruša, J., Zakopal, J., Zukalová, H. 1975. Řepka, hořčice, mák a slunečnice. Státní zemědělské nakladatelství. Praha. 358 s. ISBN: 07-095-75.

Facchini, P. J., Park, S. U. 2003. Developmental and inducible accumulation of gene transcripts involved in alkaloid biosynthesis in opium poppy. *Phytochemistry*. 64. 177 – 186.

Ferruzzi, M. G., Blakeslee, J. 2007. Digestion, absorption and cancer preventative activity of dietary chlorophyll derivatives. *Nutrition research*. 27 (1). 1 – 12.

Ferus, P. 2009. Radiation use efficiency in spring barley under drought: A crosstalk between survival strategy and canopy structure. *Journal central european of agriculture*. 11 (1). 83 – 92.

Fialová, Z. 2017. Dovozy máku do Česka se zvýšily. *Zemědělec*. 25 (4). 9.

Gajdaš, V. D., Gurinovič S. J., Mazur V. O., Pasičnik P. K., Moskvič S. O., Roškovan V. V., Juchimčuk G. V. 2002. Mak. Ukrajinská akademie agrárních nauk. Ivano Frankovský institut APV, Luck. p. 127.

Gitelson, A. A., Viña, A., Arkebauer, T. J., Rundquist, D. C., Keydan, G., Leavitt, B. 2003. Remote estimation of leaf area index and green leaf biomass in maize canopies. *Geophysical research letters*. 30 (5). 1 – 4.

Goksoy, A. T., Demir, A. O., Turan, Z. M., Dagustu, N. 2004. Responses of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to full and limited irrigation at different growth stages. *Field crops research*. 87. 167 – 178.

González-Sanpedro, M. C., Toan, T., Moreno, J., Kergoat, L., Rubio, E. 2008. Seasonal variations of leaf area index of agricultural fields retrieved from Landsat data. *Remote sensing of environment*. 112. 810 – 824.

Griffith, W. 1993 *Opium poppy garden*. Ronin Publishing, Berkeley. California. p. 77. ISBN: 978-0-914171-67-6.

GRINCzech. [cit. 2017-20-01]. Dostupné z: <<https://grinczech.vurv.cz/gringlobal/search.aspx>>

Hansen, P. M., Schjoerring, J. K. 2003. Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. *Remote sensing of environment*. 86. 542 – 553.

Hao, B., Xue, Q., Marek, T. H., Jessup, K. E., Hou, X., Xu, W., Bynum, E. D., Bean, B. W. 2016. Radiation-Use Efficiency, Biomass Production, and Grain Yield in Two Maize Hybrids Differing in Drought Tolerance. *Journal of agronomy and crop science*. 202. 269 – 280.

Harvest, T., Brown, P. H., Fist, A. Gracie, Gregory, D., Koutoulis, A. 2009. The latex capacity of opium poppy capsules is fixed early in capsule development and is not a major determinant in morphine yield. *Annals of applied biology*. 154. 251 – 258.

Havel, J. 2005. Výskyt makovic bez semen na Opavsku v roce 2004 a možné příčiny tohoto jevu. 120 – 121. *Řepka, mák, slunečnice a hořčice*. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN: 80-213-1289-0.

- Hejný, S., Slavík, B. 1988. Květena 1. Academia. Praha. 560 s.
- Herchi, W., Sakouhi, F., Kallel, H., Pepe, C. 2011. Changes in Fatty Acids, Tocochromanols, Carotenoids and Chlorophylls Content During Flaxseed Development. *Journal of the American oil chemist society*. 88 (7). 1011 – 1017.
- Houborg, R., McCabe, M., Cescatti, A., Gao, F., Schull, M., Gitelson, A. 2015. Joint leaf chlorophyll content and leaf area index retrieval from Landsat data using a regularized model inversion system (REGFLEC). *Remote sensing of environment*. 159. 203 – 221.
- Hunková, E., Živčák, M., Ferencová, J., Malovcová, L., Brestič, M. 2009. The dynamics of assimilative pigments contents in selected genotypes of oilseed rape (*brassica napus* subsp. *Napus*). 72 – 75. *Nové poznatky z genetiky a šlachtenia poľnohospodárskych rastlín*. ISBN: 978-80-89417-04-9.
- Hunková, E., Živčák, M., Olšovská, K. 2011. Leaf area duration of oilseed rape (*Brassica napus* subsp. *Napus*) varieties and hybrids and its relationship to selected growth and productivity parameters. *Journal of Central European Agriculture*. 12 (1). 1 – 15.
- Chen, J. M., Pavlic, G., Brown, L., Cihlar, J., Leblanc, S. G., White, H. P., Hall, R. J., Peddle, D. R., King, D. J., Trofymow, J. A., Swift, E., Sander, J., Pellikka, P. K. E. 2002. Derivation and validation of Canada-wide coarse-resolution leaf area index maps using high-resolution satellite imagery and ground measurements. *Remote Sensing of Environment*. 80. 165 – 184.
- Chuinsiri, S., Blasco, F., Bellan, M. F., Kergoat, L. 1997. A poppy survey using high resolution remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*. 18. 393 – 407.
- Jaszberenyi, C. and E. Nemeth. 2012. Connection of frost tolerance and alkaloid accumulation potential in poppy (*Papaver somniferum* L.). *Journal Applied Botany Food Quality*. 85. 116 – 119.
- Kapoor, L. D. 1995. *Opium poppy – botany, chemistry and Pharmacology*. Haworth Press Inc. New York. p. 329. ISBN: 1-56024-923-4.
- Keskin, H., Kucuktuvek, M., Guru, M. 2015. The potential of poppy (*Papaver somniferum* L.) husk for manufacturing wood-based particleboards. *Construction and building materials*. 95. 224 – 231.

- Khan, Z. H., Masroor, M. A., Aftab, T., Idrees, M., Naeem, M. Influence of alginate oligosaccharides on growth, yield and alkaloid production of opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Frontiers of agriculture in China*. 5 (11). 122 – 127.
- Kováčik, P., Kozánek, M., Takáč, P., Galliková, M., Varga, L. 2010. The effect of pig manure fermented by larvae of house flies on the yield parameters of sunflowers (*Helianthus Annus* L.). *Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis*. 58 (2). 147 – 155.
- Kun, J., Bingfang, W., Yichen, T., Qiangzi, L., Xin, D. 2011 An effective biophysical indicator for opium yield estimation. *Computers and electronics in agriculture*. 75. 272 – 277.
- Kunderlikova, K., Brestic, M., Zivcak, M., Kusniarova, P. 2016. Photosynthetic responses of sun- and shade-grown chlorophyll b deficient mutant of wheat. 17 (4). 950 – 956.
- Lan, Y., Zhang, H., Lacey, R., Hoffman, W. C., Wu, W. Development of an Integrated Sensor and Instrumentation System for Measuring Crop Conditions. *Agricultural engineering international*. 20 (2). 55 – 59.
- Larcher, W. 1988, *Fyziologická ekologie rostlin*. Academia. Praha. 368 s.
- Larcher, W. 2001. *Physiological plant ecology*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Germany. p. 513. ISBN: 3-540-43516-6.
- Li, O., Chen, Z., Jiang, Z., Wu, W., Ren, J., Liu, B., Tuya, H. 2017. Comparative analysis of GF-1, HJ-1, and Landsat-8 data for estimating the leaf area index of winter wheat. *Journal of integrative agriculture*. 16 (2). 266 – 285.
- Lohr, V. 2016. Kvalita máku a obchod. 70 – 73. *Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2015“*. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN: 978-80-213-2623-1.
- Lohr, V. 2017. Mák v roce 2016. 6 – 12. *Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2017“*. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN: 978-80-213-2729-9.
- Lunagaria, M. M., Shekk, A. M. 2006. Radiation interception, light extinction coefficient and leaf area index of wheat (*Triticum aestivum* L.) crop as influenced by row orientation and row spacing. *The journal of agricultural sciences*. 2 (2). 43 – 54.
- Mahdavi-Damghani, A., Kamkar, B., Al-Ahmadi, M. J., Testi, L., Munoz-Ledesma, F. J., Vollalobos, F. J. 2010. Water stress effects on growth, development and yield of opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Agricultural water management*. 97. 1582 – 1590.

- Maire, G., Francois, Ch., Soudani, K., Berveiller, D., Pontailier, J., Bréda, N., Genet, H., Davi, H., Dufréne, E. 2008. Calibration and validation of hyperspectral indices for the estimation of broadleaved forest leaf chlorophyll content, leaf mass per area, leaf area index and leaf canopy biomass. *Remote Sensing of Environment*. 112. 3846 – 3864.
- Manivannan, P., Jaleel, Ch. A., Somasundaram, R., Panneerselvam, R. 2008. Osmoregulation and antioxidant metabolism in drought-stressed *Helianthus annuus* under triadimefon drenching. *Compters rendus biologiques*. 331 (6). 418 – 425.
- Mathobo, R., Marais, D., Steyn, M., J. 2017. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agricultural water management*. 180. 118 – 125.
- Mishra, B. K., Mishra, R., Jena, S. N., Shukla, S. 2016. Gene actions for yield its attributes and their implications in the inheritance pattern over there generations in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Journal of genetic*. 95. 705 – 717.
- Mohammed, A. A., Darvishzadeh, R., Skidmore, A. K., Duren, I. 2017. Specific leaf area estimation from leaf and canopy reflectance through optimization and validation of vegetation indices. *Agricultural and forestry meteorology*. 236. 162 – 174.
- Monteith, J. L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. *Philosophical transactions of the royal society biological sciences*. 281. 277 – 294.
- Morariu, A., Caulet, R. P. 2011. Morphine content variation in *Papaver somniferum* L. During phenological development. *Agronomie series of scientific research*. 54. 40 – 43.
- Muška, F., Muška, A., Mušková, A. 2016. Střípky z historie ochrany máku setého proti živočišným škůdcům. *Úroda*. 64 (9). 33 – 36.
- Nobel, P. S. 2005. *Physicochemical and Environmental Plant Physiology*. Elsevier, Canada. 582 s. ISBN: 978-0-12520026-4.
- Novák, J. 1990. Genetické zdroje *Papaver somniferum* L. a příbuzných druhů. Vysoká škola zemědělská v Praze. Praha. 74 s. ISBN: 80-213-0062-0.
- Novák, J., Bechyně, M., Kováčik, A. 1991. Genetické zdroje, biologie a produkce jarních olejnin. Vysoká škola zemědělská Praha. Praha. 78 s. ISBN: 80-213-0113-3.

- Novák, J., Preininger, V. 1981. Taxonomické a fytochemické hodnocení rodu *Papaver* (*Papaveraceae*). Vysoká škola zemědělská v Praze. Praha. 157 s.
- Özcan, M. M., Atalay, C. 2006. Determination of seed and oil properties of some poppy (*Papaver somniferum* L.) varieties. *Grasasy Aceites* 57. 169 – 174.
- Parvaiz, A., Prasad, M. N. V. 2012. *Abiotic Stress Responses in Plants*. Springer New York Dordrecht Heidelberg London. p. 473. ISBN: 978-1-4614-0633-4.
- Pelikán, V. Akvariijní rostliny, fotosyntéza, světlo a CO₂ [online]. 2002. Dostupné z: http://planta.aquariana.cz/fotosynt_01.htm#text.
- Perveen, S., Shahbaz, M., Ashraf, M. 2013. Influence of foliar-applied triacontanol on growth, gas Exchange characteristics, and chlorophyll fluorescence at different growth stages in wheat under saline conditions. *Photosynthetica*. 51 (4). 541 – 551.
- Petr, J., Černý, V., Hruška, L. 1980. *Tvorba výnosu hlavních polních plodin*. Státní zemědělské nakladatelství v Praze. Praha. 448 s.
- Petr, J., Černý, V., Hruška, L. 1988. *Yield formation in the main field crops*. Elsevier Science Publishing Company. The Netherlands. p. 336. ISBN: 0-444-98954-4.
- Plénet, D., Mollier, A., Pellerin, S. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant and soil*. 224. 259 – 272.
- Porra, R. J., Thompson, W. A., Kridemann, P. E. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et biophysica acta*. 975. 384 – 394.
- Rebeiz, C. A., Yaghi, M., Abou-Haidar, M. 1970. Protochlorophyll Biosynthesis in Cucumber (*Cucumis sativus*, L.) Cotyledons. *Plant Physiol*. 57 – 63.
- Salisbury, F. B., Ross, C. W. 1992. *Plant Physiology and Plant Cells*. In *Plant 88 Physiology*, Wadsworth, Inc., Belmont, CA. 3 – 26.
- Sánchez, C., Baranda, A. B., Maranon, I. M. 2014. The effect of high pressure and high temperature processing on carotenoids and chlorophylls in some vegetables. 163. 37 – 45.

- Sehnal, V. 2016. Český modrý mák o sobě. 1 – 3. Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2015“. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN: 978-80-213-2623-1.
- Shabanov, N. V., Huang, D., Yang, W. 2005. Analysis and optimization of the MODIS leaf area index algorithm retrievals over broadleaf forests. *IEEE Trans Geosci Remote Sens.* 43. 1855 – 1865.
- Shahrokhnia, M. H., Sepaskhah, A. R. 2017. Physiologic and agronomic traits in safflower under various irrigation strategies, planting methods and nitrogen fertilization. *Industrial crops and products.* 95. 126 – 139.
- Schwanitz, F. 1969. Vývoj kulturních rostlin. SZN Praha.
- Sid'ko, A. F., Botvich, I., Pisman, T. I., Shevymogov, A. P. 2017. Estimation of chlorophyll content and yield of wheat crops from reflectance spektra obtained by ground-based remote measurements. *Field crop research.* 207. 24 – 29.
- Singh, S. P., H. K. Yadav, S. Shukla and A. Chatterjee. 2003. Studies on different selection parameters in opium poppy (*Papaver somniferum*). *Jounal medicine aromatic plant science.* 25. 8 – 12.
- Skalicky, M., Hejnak, V., Novak, J., Hejtmankova, A., Stranska, I. 2014. Evaluation of selected poppy (*Papaver somniferum* L.) cultivars: industrial aspect. *Turkish journal of field crops.* 19 (2). 189 – 196.
- Stranska, I., Skalicky, M., Novak, J., Matyasova, E., Hejnak, V. 2013. Analysis of selected poppy (*Papaver somniferum* L.) cultivars: Pharmaceutically important alkaloids. *Industrial crops and products.* 41. 120 – 126.
- Šesták, Z., Čatský, J. 1966. Metody studia fotosynthetické produkce rostlin. Nakladatelství československé akademie věd. Praha. 396 s.
- Šesták, Z., Čatský, J., Jarvis, P. G. 1971. Plant photosynthetic production, manual of methods. Dr W. Junk N. V., Publishers. The Hague. p. 817.
- Šesták, Z., Čatský, J., Tichá, I., Hodáňová, D., Kutík, J., Solárová, J., Pospíšilová, J., Zima, J., Kaše, M. 1985. Photosynthesis during leaf development. Academia Praha. Praha. p. 400.
- Tang, S., Chen, J. M., Zhu, Q., Li, X., Chen, M., Sun, R., Zhou, Y., Deng, F., Xie, D. 2007. LAI inversion algorithm based on directional reflectance kernels. 85 (3). 638 – 648.

Taran, N., Storozhenko, V., Svetlova, N., Batsmanova, L., Shvartau, V., Kovalenko, M. 2017. Effect of zinc and copper nanoparticles on drought resistance of wheat seedlings. *Nanoscale research letters*. 12 (1). 1 – 6.

Trivedi, M., Tiwari, R. K., Dhawan, O. P. 2006. Genetic parameters and correlations of collar rot resistance with important biochemical and yield traits in opium poppy (*Papaver somniferum* L.). *Journal of applied genetics*. 47 (1). 29 – 38.

Tyagi, N. K., Sharma, D. K. Luthra, S. K. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. *Agricultural water management*. 45. 41 – 54.

Vašák a kolektiv autorů. 2010. Mák. Powerprint. Praha. 352 s. ISBN: 978-80-904011-8-1.

Vašák, J., Honsová, H., Pšenička, P., Cihlář, P. 2016. Výzkum máku pro lepší výnosy semen a ekonomiku produkce. 14 – 19. Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2015“. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN: 978-80-213-2623-1. 66 s.

Výzkumný ústav zemědělské techniky. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <<http://www.vuzt.cz/>>

Wasaya, A., Tahir, M., Ali, H., Hussain, M., Yasir, A. T., Sher, A., Ijaz, M., Sattar, A. 2017. Influence of varying tillage systems and nitrogen application on crop allometry, chlorophylls content, biomass production and net returns of maize (*Zea mays* L.). *Soil and tillage research*. 170. 18 – 26.

Webb, N., Nichol, Ch., Wood, J., Potter, E. 2008. SunScan Canopy Analysis System User Manual SS1- UM-1.05. Copyright. UK.

Wikipedia. Mák setý [online]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/M%C3%A1k_set%C3%BD>

Yadav, H. K., S. Shukla, A. Rastogi and S. P. Singh. 2007. Assessment of diversity in new genetic stock of opium poppy (*Papaver somniferum*). *Indian Journal Agriculture Science*. 77. 537 – 539.

Zehnálek, P. 2015. Pokusy s registrovanými odrůdami máku setého. *Úroda*. 63 (2). 62 – 63.

Zehnálek, P. 2016. Ověřování registrovaných odrůd máku setého. *Úroda*. 64 (1). 37 – 38.

Zeng, W., Xu, Ch., Wu, J., Huang, J. 2016. Sunflower seed yield estimation under the interaction of soil salinity and nitrogen application. *Field crops research*. 198. 1 – 15.

- Zenk, M. H., Juenger, M. 2007. Evolution and current status of the phytochemistry of nitrogenous compounds. *Phytochemistry*. 68. 2757 – 2772.
- Zhao, J., Wang, Y., Zhang, H., Zhang, Z., Guo, G., Yu, S., Du, W., 2016. Spatially and temporally continuous LAI datasets based on the mixed pixel decomposition method. *Springer Plus*. 5. 1 – 13.
- Zhao, S., Long, W., Wang, Y., Liu, L., Wang, Y., Nie, M., Zheng, M., Wang, D., Wan, J. 2016. A rice White-stripe leaf3 (wsl3) mutant lacking an HD domain-containing protein affects chlorophyll biosynthesis and chloroplast development. *Journal of Plant Biology*. 59 (3). 282 –292.
- Zukalová, H., Cihlář, P., Pšenička, P., Vašák J. 2008. Kvalita máku a makoviny v roce 2008. 95 – 100. Sborník odborných seminářů „Mák v roce 2008“. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN: 978-80-213-1471-3.
- Zukalová, H., Cihlář, P., Vašák, J. 2007. Kvalita máku a makoviny v roce 2007. 93 – 96. Sborník z konference „Prosperující olejniný 2007“. Česká zemědělská univerzita. Praha. ISBN 978-80-213-1715-4.
- Zukalová, H., Doležalová, J., Vašák, J. Odbyt máku limituje jeho kvalita. *Úroda*. 2010. 58 (1). 19 – 21.

9 Seznam použitých zkratek

BBCH – vývojová fáze

BFS – Beam Fraction Sensor, senzor SunScanu

ČSÚ – Český statistický úřad

ČZU – Česká zemědělská univerzita

FAO – Faostat

FAR – využití fotosynteticky aktivního záření

FP – fotosyntetický potenciál

HTS – hmotnost tisíce semen

CHKO – Chráněné zeměpisné označení

LAD – integrální listová plocha

LAI – pokryvnost listoví, index listové plochy

RUE – efektivita využití záření

10 Přílohy

Příloha 1: Odrůda Zeno (Foto Hlídková, 2016)



Příloha 2: Fáze stonkování a butonizace máku setého (Foto Hlídková, 2016)



Příloha 3: Fáze plné kvetení máku setého (Foto Hlídková, 2016)



Příloha 4: Fáze zelené zralosti tobolky máku setého (Foto Hlídková, 2016)



Příloha 5: Fáze začátku zrání tobolek máku setého (Foto Hlídková, 2016)

