

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra botaniky a fyziologie rostlin



Změny obsahu energie stanovené spalnou kalorimetrií v průběhu klíčení

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Hnilička František, Ph.D.

Autor práce: Vojtěch Pokorný

2010

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Změny obsahu energie stanovené spalnou kalorimetrií v průběhu klíčení“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Františkovi Hniličkovi, Ph.D. za odbornou pomoc a vedení při zpracování této bakalářské práce.

Souhrn

Ječmen je zkulturněn nejméně osm tisíc let. Původem je z Přední Asie - ječmen dvouřadý a z východní Asie - ječmen víceřadý. Na území českých zemí se šířil už s Kelty, kdy měl po pšenici druhé nejvýznamnější místo. Používal se na výrobu chleba a piva. Pro Čechy byl již v devátém století spolu s prosem a nahými pšenicemi nejvýznamnější plodinou.

V bakalářské práci bylo cílem zjistit reakci jednotlivých odrůd ječmene na různé působení vnějších faktorů (zejména teploty) při klíčení a určit, jak se tento vliv odrazí na obsahu energie v klíčících obilkách.

Teoretická část se zabývá historií ječmene, jeho rozšířením a pěstováním v České republice a jeho uplatněním v rostlinné produkci. Velká část je zaměřena na sladování, pro které je ječmen jarní dvouřadý v České republice nejvíce pěstován, a operace s touto výrobou spojené, zejména klíčení.

V praktické části bakalářské práce se snažím prokázat změny obsahu spalného tepla v průběhu klíčení a změny klíčivosti v závislosti na teplotě. Jako rostlinný materiál bylo vybráno pět odrůd ječmene. Hlavní zastoupení měly odrůdy ječmene jarního, používané v současné době pro sladovnické účely. K porovnání sloužila jedna ozimá a jedna historická sladovnická odrůda.

Pokus byl založen v laboratorních podmínkách. Osivo vybraných odrůd (Xanadu, Jersey, Tolar, Norimberk a Luran) klíčilo při třech různých teplotách, dvou konstantních 10 °C a 25 °C (v praxi více energeticky náročné) a jedné vzestupné (tento způsob se využívá při klíčení v klasických humnových sladovnách pro svoji menší energetickou náročnost, způsobenou zahříváním hromady v průběhu klíčení). Odběr se uskutečnil u každé odrůdy ve třech termínech a vždy s trojím opakováním. Hodnoty spalného tepla byly zjištěny i u neklíčených obilék. Ke zjištění spalného tepla byla použita metoda spalné kalorimetrie, jejíž pomocí se přímo stanovuje obsah energie v biomase. Tato metoda patří v termodynamice mezi nejpropracovanější. Změny obsahu energie vyprodukované biomasy zjišťujeme na základě tepleného skoku.

Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že obsah energie v klíčících obilkách nejvýrazněji stoupal při působení vyšší konstantní teploty, a to u všech sledovaných odrůd ječmene, které po šesti dnech klíčení dosahovaly hodnot v intervalu od 17,50 kJ.g⁻¹ (Xanadu) do 16,30 kJ.g⁻¹ (Tolar). Podstatně menší nárůst netto energie se prokázal u varianty vzestupné, kdy docházelo k pomalejšímu nárůstu energie a při posledním odběru, krom historické odrůdy Norimberk

(17,62 kJ.g⁻¹) došlo k poklesu nebo k zastavení nárůstu energie. Na působení nižší konstantní teploty reagovala nejvyšším nárůstem spalného tepla ozimá odrůda Luran s obsahem netto energie 16,90 kJ.g⁻¹. Jarní odrůdy po delším působení nižších teplot výrazně snižovaly množství energie v klíčících obilkách. Nejvýraznější pokles byl zaznamenán u odrůdy Norimberk o 13,32 %.

Při testu klíčivosti klíčily obilky výše zmíněných odrůd při stejných podmínkách jako při zjišťování obsahu netto energie.

V hodnocení klíčivosti reagovaly výrazně lépe na působení vyšších teplot současné sladovnické odrůdy Xanadu, Jersey a Tolar s hodnotami přesahujícími 90 %. Naopak při klíčení vzestupnou teplotou klíčila nejlépe ozimá odrůda Luran (92 %) na rozdíl od jarních odrůd, u nichž se pohybovala klíčivost v intervalu od 70 % (Jersey) do 78 % (Tolar). Klíčení za nízkých teplot neprokazovalo ani u jedné z odrůd vyšší hodnoty klíčivosti.

Klíčová slova: ječmen, klíčení, teplota, netto energie

Summary

Barley has been grown for at least 8000 years. It originally came from Southwest Asia (two-row barley) and Eastern Asia (multi-row barley). It was spread by Celts in the territory of Czech countries, having the second most important role next to wheat. Barley was used for the production of bread and beer. It was the most important cultivated plant for Czechs in the 9th century, together with millet and naked wheat.

The objective of the Bachelor's thesis was to examine the influence of different extrinsic factors (namely the temperature) on various types of barley during the germination process, and determine the effect on the energy content of germinating cereal grains.

The theoretical part of the thesis deals with the history of barley, its spread and cultivation in the Czech Republic, and its use in plant production. A significant part is focused on malting, for which spring two-row barley is mostly grown in the Czech Republic, and operations connected with the malting production, particularly the germination.

The practical part of the Bachelor's thesis aims to verify the changes in the combustion heat value during the germination and the changes in germinability depending on the temperature. Five types of barley were chosen as a plant material. The principal ones were the spring barley varieties, currently used for malting purposes. A winter and a historical malting barley variety served for comparison.

The experiment was carried out in laboratory conditions. Seeds of the selected varieties (Xanadu, Jersey, Tolar, Norimberk, and Luran) were germinating at three different temperatures, two constant 10 °C and 25 °C (the more energy consuming ones) and one increasing (this method is used for germinating in the typical floor malt houses because of its lower energy consumption, caused by the warming during the germination). The sampling of each variety was conducted in three different terms, always by triple repetition. The combustion heat values were also identified in ungerminated cereal grains. The determination of the combustion heat was based on the method of combustion calorimetry, through which the energy content of biomass can be directly provided. This is one of the most sophisticated methods in thermodynamics. The changes in the energy content of the biomass produced are being determined on the basis of a temperature shift.

The measured values showed that the most significant increase in the energy content of germinating cereal grains was caused by the action of higher constant temperatures. This concerns all types of barley examined, values of which varied between 17,50 kJ.g⁻¹ (Xanadu)

and 16,30 kJ.g⁻¹ (Tolar) after the six-day germination. A substantially lower increase in the energy content was observed in the case of increasing temperature, when a slower rise in energy was noticed and, in the course of the last sampling, with one exception of a historical variety Norimberk (17,62 kJ.g⁻¹), a decrease or stagnation of energy occurred. As for the action of lower constant temperature, the largest increase in combustion heat belonged to the winter variety Luran with the energy content of 16,90 kJ.g⁻¹. The spring varieties considerably reduced the amount of energy in germinating cereal grains after a longer action of lower temperatures. The most substantial decrease was observed in the variety Norimberk (13,32 %).

In the course of the germinability test, the particular cereal grains were germinating under the same conditions as in the case of the energy content determination.

As for the germinability evaluation, the significantly better reaction to the action of higher temperatures was typical of current malting varieties Xanadu, Jersey and Tolar with the values of more than 90 %. On the contrary, the best germinating variety at increasing temperatures was the winter variety Luran (92 %) with a relatively big difference from all spring varieties, the germinability of which varied from 70 % (Jersey) to 78 % (Tolar). The germination in low temperatures did not show higher levels of germinability in any of the varieties.

Key words: germination, barley, temperature, net energy

Obsah

1. Úvod.....	3
2. Literární přehled	4
2.1. Ječmen	4
2.1.1. Botanická charakteristika ječmene	4
2.1.2. Historie.....	5
2.2. Nároky na pěstování	6
2.2.1. Ječmen v rostlinné produkci	6
2.2.2. Agrotechnika.....	7
2.2.3. Výživa ječmene jarního	7
2.2.4. Posklizňová úprava a skladování ječmene.....	8
2.3. Pěstební plocha	9
2.4. Kvalita semen	11
2.4.1. Technologická jakost ječmene.....	11
2.4.2. Semenářství.....	12
2.4.3. Semenářství obilnin	12
2.4.4. Klíčivost.....	12
2.5. Klíčení.....	13
2.6. Faktory ovlivňující klíčení.....	14
2.6.1. Vnitřní faktory	14
2.6.2. Vnější faktory	15
2.7. Sladařství a sladování	17
2.7.1. Máčení	18
2.7.2. Klíčení.....	19
2.7.3. Hvozďení.....	20
2.8. Kalorimetrické stanovení obsahu energie.....	21
3. Cíl.....	23

4. Metodika	24
4.1. Rostlinný materiál	24
4.1.1. Charakteristika odrůd – ječmen jarní	25
4.1.2. Charakteristika odrůd – ječmen ozimý	27
4.2. Metody kultivace	27
4.4. Vyhodnocení výsledků pokusů	29
5. Výsledky a diskuse	30
5.1. Změny hodnot spalného tepla v závislosti na teplotě	30
5.2. Změny hodnot spalného tepla v závislosti na genotypu	35
5.3. Rychlost klíčení	43
6. Závěry	45
7. Použitá literatura	47

1. Úvod

Ječmen jarní má v České republice nezastupitelné místo. V rostlinné produkci je za poslední století ze všech plodin nejstabilnější ve srovnání s jinými obilovinami. Po pšenici je v ČR druhou nejrozšířenější obilovinou a z hlediska ekonomiky, kde se spojují jeho vysoké ceny a poměrně nízké náklady, je po máku, bramborách a cukrovce plodinou s nejvyšší rentabilitou.

Značná nabídka nových, hlavně krátkostébelných odrůd umožňuje vyšší rozsah jeho pěstování. Patří k plodinám vhodným k velkovýrobním formám pěstování, kde je zajištěna produkce větších a vyrovnaných partií zrna pro další technologické zpracování.

Nejčastějším zpracováním jarního ječmene je jeho využití pro sladovnické a pivovarnické účely. Současnými světovými a evropskými požadavky na kvalitu sladovnického ječmene jsou odrůdy s vysokou enzymatickou aktivitou, s vysokým obsahem extraktu a vysokými hodnotami dosažitelného stupně prokvašení. Tento trend vedl ke změně sensorického charakteru evropských piv. Naproti tomu pro výrobu „Českého piva“ jsou záměrně vybírány odrůdy, které dosahují nižšího stupně rozluštění. Stupeň rozluštění je jedním z hlavních ukazatelů kvality sladu, na které má mimo jiné velký význam máčení a klíčení ječmene a teploty při těchto operacích.

Je tedy důležité zabývat se zkoumáním a pěstováním jednotlivých odrůd při působení různých vnějších i vnitřních vlivů a snažit se zajistit co nejvyšší kvalitu finálních výrobků.

Cílem mé bakalářské práce je proto u vybraných odrůd jarního ječmene, a pro srovnání jedné odrůdy ozimého ječmene, stanovit změny rychlosti klíčení, klíčivé energie a obsahu energie, který je následkem látkové přeměny. Uvedené sledované charakteristiky byly sledovány v závislosti na změnách teploty. Snahou je zjistit genotypové rozdíly v rychlosti klíčení a změny obsahu energie v závislosti na změnách teploty a tyto výsledky využít při sladování ječmene.

2. Literární přehled

2.1. Ječmen

2.1.1. Botanická charakteristika ječmene

Ječmen (*Hordeum* sp.) patří do říše Rostliny, oddělení semenných rostlin (*Spermatophyta*), pododdělení krytosemenných (*Angiospermae*), třídy jednoděložných (*Monocotyledonae*), čeledi lipnicovité (*Poaceae*), viz. obr. 1. (Dostál, 1989). Rod *Hordeum* L. podle počtu chromozomů ($n = 7$) rozdělujeme na diploidní, tetraploidní a hexaploidní, přičemž i v rámci druhu se mohou vyskytovat rozdílné stupně ploidity (Zimolka a kol., 2006).

Podle způsobů růstu se ječmeny dělí na divoce rostoucí plané ječmeny, z nichž je u nás nejrozšířenější ječmen myší (*Hordeum murinum*) a ječmen setý (*Hordeum vulgare*), které se vyskytují v kultuře a jsou jednoletou jarní nebo ozimou trávou. Kulturní ječmeny se dále ještě dělí na ječmeny jednořadé a víceřadé. Dvouřadé ječmeny se dělí do tří skupin: nicí, vzpřímené a paví. Hlavní skupinu sladovnických ječmenů tvoří ječmeny nicí. Podle taxonomického hlediska se pro dvouřadý ječmen nicí používá označení *H. vulgare* var. *nutans*. Obilky takových ječmenů jsou přirostlé ke klasovému vřetenu, takže osiny jsou souběžné. Klas během zrání háčkuje, na rozdíl od ječmene vzpřímeného. Ječmeny paví mají vějířovitě uspořádané osiny (Kosař a kol., 2000).

Hordeum vulgare convar. *distichon* – ječmen setý dvouřadý tvoří tři jednokvěté klásky na každém článku klasového vřetene, dva z nich (okrajové) jsou sterilní, vyvíjí se výjimečně nebo jalově s pluchou a pluškou a jsou bez osin. Prostřední klásek je plodný (nejčastěji s osinou). V době zralosti má zploštělé klasy, tvořené dvěma řadami vyvinutých obilek, mezi nimi je z každé strany dvojité řada bezosinných, sterilních klásků (Zimolka a kol., 2006).

2.1.2. Historie

Ječmen dvouřadý pochází z Přední Asie a ječmen víceřadý z východní Asie. V těchto oblastech byl ječmen zkulturněn před 8 tis. lety.

Obr. 1. *Hordeum vulgare* (www.ukzuz.cz)



Podle Kosaře a kol. (2000) se ječmen dostal do Evropy asi 7000 – 4000 let před naším letopočtem pravděpodobně z oblasti mezi Egyptem a Íránem. Jeho rozšíření patrně souvisí s migrací obyvatel ze severní Afriky přes Gibraltar do západní Evropy a přes Sicílii a Itálii do střední Evropy. Podle Hajnalové (1999) existuje mimo tzv. jižní cesty i tzv. severní cesta ze Sibiře přes jižní Rusko a Podunají do střední Evropy.

Na území českých zemí se ječmen šířil už s Kelty, kdy měl po pšenici druhé nejvýznamnější místo. Používal se na chléb a pivo. Pro Čechy byl v již devátém století spolu s prosem a nahými pšenicemi nejvýznamnější plodinou (Černý a kol., 2007). Planý druh

ječmene (*Hordeum spontaneum* C. Koch) byl popsán roku 1848. V současné době existují dvě teorie původu a rozšíření ječmene. První teorie hovoří o tom, že *Hordeum spontaneum* je prarodičem dvouřadého a víceřadého ječmene. Zastánci druhé teorie jsou přesvědčeni, že *Hordeum spontaneum* jako planý druh má vztah pouze k dvouřadým formám kulturního ječmene a otázka předchůdce šestiřadých forem zůstává nevyřešena (Kosař a kol., 2000).

V roce 1965 byla zaregistrována odrůda Diamant, detekována jako pozitivní mutace po ozáření rentgenovými paprsky odrůdy Valtický. V období let 1972 – 1990 bylo v Československu vyšlechtěno celkem 28 odrůd diamantového typu a od roku 1990 bylo uznáno celkem 114 odrůd, včetně zahraničních, které mají ve svém rodokmenu genotyp Diamant (Zimolka a kol., 2006).

2.2. Nároky na pěstování

2.2.1. Ječmen v rostlinné produkci

Po určitém období stagnace se díky extrémnímu roku 2006 sladovnický ječmen zase jeví jako ekonomicky zajímavá a perspektivní plodina, do které se vyplatí investovat. Je ověřeno, že spolehlivou návratnost mají prostředky investované do kvalitní ochrany a výživy porostů (Peza, 2007).

Jeho místo v rostlinné produkci posledního století je ze všech plodin nejstabilnější, jak i ukazuje porovnání s jinými obilovinami. Po pšenici přináší české rostlinné výrobě nejvyšší hrubé tržby a předstihuje řepku. Z hlediska ekonomiky, kde se spojují jeho vysoké ceny a poměrně nízké náklady, je po máku, bramborách a cukrovce plodinou s nejvyšší rentabilitou. Nárůst jeho ceny, při skokové změně v roce 2007 proti předchozím rokům, je ze všech rostlinných komodit nejvyšší (Černý a kol., 2007).

Značná nabídka nových, hlavně krátkostébelných odrůd umožňuje vyšší rozsah jeho pěstování. Patří k plodinám vhodným k velkovýrobním formám pěstování, kde je zajištěna produkce větších a vyrovnaných partií zrna pro další technologické zpracování (Vaněk a kol., 2007).

2.2.2. Agrotechnika

Při hodnocení vlivu jednotlivých agrotechnických opatření na výnos zrna jarního ječmene se obvykle popisuje, že zpracování půdy je agrotechnické opatření, které možná nejméně ovlivňuje výnos zrna. Výrazněji působí odrůda, ochrana, výživa, předplodina, případně závlaha. Většina ukazatelů půdní úrodnosti a především pak fyzikální stav půdy v různých letech nevykazuje výrazné rozdíly mezi variantami zpracování půdy. Změny sice byly předvídatelné, ale málo významné a v žádném případě neznamenal zásadní ovlivnění podmínek pro růst, vývoj a hlavně výnos hlavního produktu (Šuškevič, 2008a).

Ječmen jarní je plodinou, která nejvíce reagovala zvýšením výnosu zrna na snížení hloubky a intenzity zpracování půdy a na utužování půdy při zpracování půdy, přípravě půdy k setí a po zasetí (Šuškevič, 2008b).

Obilniny jsou zhoršující plodinou pro půdy, protože odčerpávají pohotové živiny z povrchové vrstvy, mají nekvalitní organickou hmotu, špatný poměr C:N přibližně 80:1, dochází k odebírání N z půdy na rozklad této organické hmoty, dochází k dusíkové depresi (Vavera, 2007).

2.2.3. Výživa ječmene jarního

Z obilnin má ječmen horší osvojovací schopnost živin a také nejhůře snáší kyselejší půdy a nevyrovnanost pozemku. Značnou předností je jeho vyšší tolerance k předplodině. U sladovnického ječmene je výnosem okolo 5 t zrna z hektaru odčerpáno z půdy okolo 110 kg dusíku, 24 kg fosforu, 90 kg draslíku, 30 kg vápníku a 9 kg hořčíku (Vaněk a kol., 2007). Vzhledem ke kratší vegetační době a nižší schopnosti osvojování živin z půdy ve srovnání s ozimou pšenicí je pro pěstování jarního ječmene důležitá dobrá zásobenost přijatelných živin v půdě a celková vysoká úrodnost půdy. Příjem živin u jarního ječmene je velmi rychlý a převážnou část živin rostliny přijímají v rozmezí asi šesti týdnů. Důležité je zohlednit, že vyšší odběr dusíku mají ječmeny pro krmné využití a nižší ječmeny sladovnické. Od počátku vegetace je příjem dusíku a draslíku vyrovnaný a ve druhé polovině vegetace převažuje příjem draslíku, který má význam především při tvorbě zrna. Příjem fosforu je rovnoměrný po celou dobu vegetace (Pišanová a Klír, 2008).

Organické hnojení se k jarnímu ječmeni běžně nepoužívá. Ovšem v osevních postupech s vysokým obsahem zastoupení obilnin, kdy ječmen následuje po obilnině, lze využít organické hnojení. Velmi se osvědčuje zelené hnojení v kombinaci se zaorávkou slámy, které působí zároveň jako přerušovač osevního sledu mezi více obilninami.

Pro vápnění platí stejné zásady jako u pšenice. Jelikož se do ječmene často podsévají jeteloviny, je nutné vápnit již k ječmeni, aby následné pícniny měly vhodné podmínky pro růst a tvorbu hlízkových bakterií (Vaněk a kol., 2007).

2.2.4. Posklizňová úprava a skladování ječmene

Cílem posklizňové úpravy a skladování je docílit co nejmenších ztrát na hmotnosti a škod na jakosti a odborným skladováním hodnotu produktů nejen uchovat, ale ještě ji zvýšit v hodnotách klíčivé energie a klíčivé rychlosti. Jde o snahu dosáhnout při pozdější výrobě sladu jednotného a rychlého klíčení.

Sklizený ječmen obsahuje zrno různé velikosti a kolísavý podíl příměsí a nečistot. Můžeme mít vyšší až vysoký obsah vody v závislosti na průběhu povětrnosti, proto je třeba ihned provést posklizňovou úpravu ječmene, a to předčištěním a tříděním. Vlhčí až vlhké zrno je nutné urychleně přesušit, nebo alespoň se zrnem opatrně manipulovat, aby nedošlo k zapaření a následným nevratným škodám na technologické jakosti ječmene (Kosař a kol., 1997).

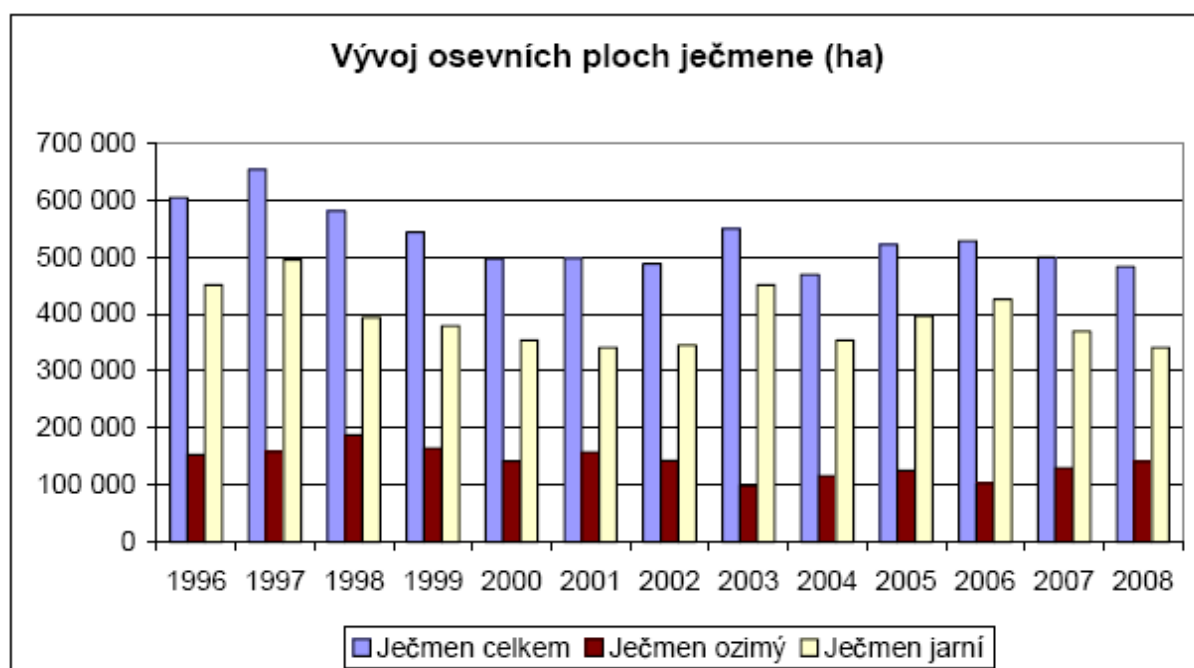
Žádoucí je zrno předčistit a upravit jeho vlhkost (pokud je potřeba) na 14–15 %, avšak pouze aktivním nepředehřátým vzduchem, aby se zabránilo nežádoucímu zvýšení teploty. U neupraveného hrubého materiálu obsahujícího příměsí, vyšší podíl prachu, úlomky rostlin, semena plevelů a další nečistoty hrozí během krátké doby kritické zvýšení teploty, která výrazně snižuje klíčivost. Kritické hodnoty teplot, zapříčiňující biologické poškození zrna, jsou již v rozmezí 35 až 45 °C. K bezpečnému snížení vlhkosti se nejlépe hodí roštové sušárny s aktivní ventilací studeným vzduchem, popřípadě s možností promíchávání. Při uskladnění obilí na velkých hromadách po delší dobu je vhodné čas od času použít aktivní provětrání studeným vzduchem, i když není potřeba regulovat vlhkost. Hromady takzvané “prodýchnou” a zamezí se tak možnosti rozvoje plísní i hromadění nežádoucích plynů podporujících jejich rozvoj a zachová se vysoká klíčivost zrna (Černý a kol., 2007).

Sladovnický ječmen by měl být skladován podle jednotlivých odrůd a kvalitativních parametrů (vlhkost, obsah bílkovin). Skladovací prostory mají být pevné, chráněné před škůdci a nepříznivými povětrnostními vlivy. Nemělo by docházet k dopadání přímého slunečního záření na zrna. Suché zrna lze skladovat ve vyšší vrstvě než vlhká zrna. Je nutná soustavná kontrola teploty uskladněného ječmene a výskytu skladištních škůdců (Polák a kol., 1998).

2.3. Pěstební plocha

Severní hranice rozšíření ječmene dosahují až 70° severní šířky (tj. severozápadní Rusko a Norsko), jižní hranice sahá až k 42° jižní šířky (Nový Zéland). Nejvyšší nadmořská výška pěstování byla zaznamenána ve středním Tibetu a v Andách (nad 4200 m n.m.). V závislosti na zeměpisné šířce se ječmen seje a dozrává po všechny měsíce v roce. Značné rozšíření ječmene není dáno pouze jeho předurčením jako hlavní pivovarské suroviny a celosvětovým stoupajícím výstavem piva, ale i jeho výbornými vlastnostmi jako jaderného krmiva s kratší vegetační dobou než pšenice, což umožňuje i v podmínkách kontinentálního klimatu nižší kolísání výnosu (Kosař a kol., 2000).

Graf 1. Vývoj osevních ploch ječmene v ČR (1996 – 2008) (MZe, 2008)



Obilovin je obvykle v osevním postupu kolem 50 % a na předplodiny jsou náročnější ozimy než jařiny. Dlouhodobé opakování obilnin je problematické a většinou způsobuje snížení výnosu (Elen, 2002).

Podle soupisu ploch osevů, jak vyplývá z grafu 1., dosáhla celková osevní plocha ječmene pro rok 2008 výměry 482,4 tis. ha. Ve srovnání se skutečností předchozího roku mírně poklesla o 16,3 tis. ha (tj. o 3,3 %). Důvodem tohoto poklesu bylo snížení osevních ploch jarního ječmene o 28,0 tis. ha (tj. o 7,6 %) na 341,2 tis. ha, zatímco osevní plocha ozimého ječmene mírně vzrostla o 11,7 tis. ha (tj. o 9,0 %) na 141,2 tis. ha. Příčiny poklesu osevních ploch jarního ječmene lze hledat jednak ve zvýšení osevních ploch ozimé pšenice a kukuřice na zrno a dále v minimu jarních zaorávek ozimých obilovin (MZe, 2008).

Zastoupení ječmene na osevní ploše obilnin celkem v ČR v roce 2007 činilo 31,6 %, z toho 23,4 % připadá na ječmen jarní. Z produkčního hlediska zaujímá ječmen 26,5 % celkové sklizně obilnin, z toho 17,8 % ječmen jarní (Kohoutová, 2008).

Tab. 1. Bilanční tabulka ječmene (MZe, 2008)

Bilanční tabulka ječmene							
Ukazatel	Jedn.	2003/ 2004	2004/ 2005	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008 ^(*) / 2009
Osevní plocha	tis. ha	550,0	469,0	521,5	528,1	498,7	482,4
Výnos	t/ha	3,76	4,97	4,21	3,59	3,80	4,76
Výroba	tis. t	2 068,7	2 330,6	2 195,4	1 897,7	1 893,4	2 297,0
Počáteční zásoby	tis. t	212,1	300,3	493,0	266,3	221,3	287,5
Dovoz celkem	tis. t	9,9	5,6	4,6	199,3	105,1	30,0
Celková nabídka	tis. t	2 290,7	2 636,5	2 693,0	2 363,3	2 219,8	2 614,5
Domácí spotřeba celkem ¹⁾	tis. t	1 791,0	1 795,0	1 907,4	1 738,4	1 712,0	1 714,0
z toho - potraviny	tis. t	606,0	600,0	600,0	600,0	600,0	600,0
- osiva	tis. t	105,0	95,0	105,0	115,0	109,0	104,0
- krmiva	tis. t	1 080,0	1 100,0	1 200,0	1 020,0	1 000,0	1 000,0
- techn. užití	tis. t	0,0	0,0	2,4	3,4	3,0	10,0
Vývoz celkem	tis. t	199,4	262,9	363,3	403,6	220,3	365,0
Intervenční nákup	tis. t	0,0	85,6	176,0	1,5	0,0	0,0
Prodej intervenčních zásob	tis. t	-	0,0	20,0	1,5	0,0	0,0
Zůstatek intervenčních zásob	tis. t	-	85,6	156,0	0,0	0,0	0,0
Celkové užití	tis. t	1 990,4	2 143,5	2 426,7	2 142,0	1 932,3	2 079,0
Konečné zásoby	tis. t	300,3	493,0	266,3	221,3	287,5	535,5
Konečné zásoby/celkové užití	%	15,09	23,00	10,97	10,33	14,88	25,76
Konečné zásoby/domácí spotřeba	%	16,82	27,46	13,96	12,73	16,79	31,24

Jak vyplývá z tab. 1., dosáhl ječmen průměrný hektarový výnos ve sklizňovém roce 2008 podle odhadu ČSÚ hodnoty 4,76 t.ha⁻¹, přičemž u ječmene ozimého činil 4,75 t.ha⁻¹ a u jarního 4,76 t.ha⁻¹. Na výrazné zvýšení hektarového výnosu u jarního ječmene mělo vliv

především chladné a deštivé počasí v rozhodujícím vegetačním období – v dubnu a květnu 2008. Proti předchozímu roku je výrazný vzestup hektarového výnosu ječmene celkem o 0,96 t.ha⁻¹ (tj. o 25,3 %). Na toto zvýšení má vliv především nárůst výnosu jarního ječmene o 1,32 t.ha⁻¹ (tj. o 38,4 %).

Dále z tabulky 1 vyplývají počáteční zásoby minulých let, jejichž úroveň výrazně kolísala od příliš vysoké v období let 1997 až 1999 až po příliš nízkou v letech 2000 až 2001. Od marketingového roku 2002/2003 vykazovala trend částečné stabilizace s mírným, postupným navýšením v marketingovém roce 2004/2005. Na počátku marketingového roku 2005/2006 zásoby prudce vzrostly a dosahovaly rekordní výše 493,0 tis. tun. Po tomto velmi výrazném meziročním navýšení se v ročníku 2006/2007 opět snížily na úroveň 266,3 tis. tun a v marketingovém roce 2007/2008 došlo k dalšímu, ale mírnějšímu snížení o 45,0 tis. tun. Ve výhledu marketingového roku 2008/2009 se očekává navýšení těchto zásob do výše 287,5 tis. tun (MZe, 2008).

2.4. Kvalita semen

2.4.1. Technologická jakost ječmene

Kvalita obilok (zrna) ječmene ovlivňuje proces jeho zpracování i výslednou kvalitu finálního výrobku. U sladovnického ječmene jsou kvalitou zrna ovlivněny nejen sensorické vlastnosti piva (chuť, barva, pěna, koloidní stabilita, plnost, pitelnost), které spolurozhodují o úspěchu finálního výrobku na trhu, ale také ekonomické aspekty jednotlivých fází výroby piva. Kvalitu výrobků z ječmene tedy ovlivňuje celý zpracovatelský řetězec počínaje šlechtitelem, přes pěstitele až po finálního výrobce.

Přestože je v současné době možno charakterizovat kvalitu sladu velice podrobně, dochází k situacím, kdy se slady se stejnou specifikací chovají ve stejném pivovaru odlišně. To znamená, že mají určité nedefinované, skryté vlastnosti. Nelze je identifikovat stávajícími metodami, projevují se zcela nepředvídatelně až při práci ve sladovně nebo v pivovaru (Prugar a kol., 2008).

2.4.2. Semenářství

Genetický potenciál nových odrůd se neuplatní, pokud je osivo těchto odrůd nekvalitní. Proto se s rozvojem šlechtění rozvíjí také semenářství. Hodnocení a zkoušení osiva a sadby má u nás dlouhou tradici. Semenářská legislativa ze šedesátých let minulého století rovněž pozitivně ovlivnila úroveň československého zemědělství. V současné legislativě se klade důraz spíše na osivo a sadbu, než na odrůdy. Hlavním smyslem těchto předpisů je totiž ochrana spotřebitele, tj. zemědělce (Chloupek, 2008).

2.4.3. Semenářství obilnin

Osivo obilnin vypěstované v podmínkách, kde se dosahuje nejlepších pěstitelských výsledků jak v kvantitě, tak i v kvalitě, poskytuje i nejvyšší výnosy v následné generaci. Pšenice by proto měla být množena v oblastech, kde se produkuje kvalitní potravinářská pšenice, ječmen v oblasti pěstování sladovnického ječmene. Ozimý ječmen lze množit i v horších podmínkách (Chloupek, 2008).

Pro semenářství obilnin jsou vhodné roviny nebo mírné svahy obrácené k jihu, které nesousedí s lesními a vodními plochami, ty zvyšují vlhkost mikroklimatu a rozvoj houbových chorob. Množení obilnin je možné jen na pozemcích, na kterých v předchozím roce nebyla pěstována obilnina a dva roky tentýž druh. Rovněž jiné druhy obilnin jsou jako předplodiny nevhodné, protože může dojít k druhové příměsi vyklíčením z půdní zásoby. V takovém případě dochází k vyššímu napadení stéblolamem, zvláště pokud se posklizňové zbytky nestačily do nástupu zimy rozložit (Chloupek, 2008).

2.4.4. Klíčivost

Přehled kvalitativních parametrů ječmene a sladu je nutné začít klíčivostí, která je s klíčivou energií rozhodujícím ukazatelem kvality sladovnického ječmene. Nedostatečná klíčivost ječmene se projevuje ve špatně rozluštěném sladu a ovlivňuje prakticky všechny kvalitativní parametry sladu. Vedle klíčivé energie je důležitým ukazatelem i klíčivá rychlost.

Produkce vysoce kvalitního sladu vyžaduje, aby ječmen klíčil rychle, úplně a vyrovnaně.

U komerčních partií ječmene se požaduje, aby byla klíčivost 98 %. Tato hodnota však pouze garantuje, že obilky začnou klíčit v průběhu sladování, ale neříká nic o sladovnickém chování ječmene. Z těchto důvodů se vedle energie klíčení (počet vyklíčených obilek za 72 hodin) zjišťuje i index klíčení, což je vlastně míra rychlosti klíčení (Basařová a kol., 1985).

Energie i index klíčení jsou výrazně ovlivněny odrůdou a agroekologickými podmínkami v období mezi oplozením a sklizní. Po sklizni je klíčení ovlivněno především kvalitou posklizňové úpravy a skladováním. Dojde-li k nevratnému poškození energie a indexu klíčení, je daná partie sebekvalitnější odrůdy pro sladování ztracena (Kosař a kol., 1997).

2.5. Klíčení

Termín klíčení je používán ve fyziologii rostlin, v rostlinné výrobě i ve sladařství. Každý z uvedených oborů definuje tento termín odlišným způsobem.

Klíčení jako fyziologický proces začíná příjmem vody do semene, popřípadě obilky, a končí počátkem prodlužování kořínku. Do klíčení je tedy zahrnována řada procesů od hydrolyzy škrobu, bílkovin a dalších zásobních látek přes subcelulární strukturální změny, dělení buněk, respiraci makromolekulární syntézy až po zvětšování buněk. Kombinace všech těchto změn vede k přeměně dehydratovaného embrya se silně utlumeným metabolismem v embryo, které má mohutný metabolismus promítající se do jeho růstu a následně celé rostliny. Klíčení ve fyziologickém slova smyslu již tedy nezahrnuje počáteční růst klíčící rostliny (Kosař a kol., 2000).

Agronomové zahrnují do pojmu klíčení i počáteční etapy zvětšování embrya, neboť právě toto umožňuje spolehlivě poznat, zda proces klíčení v daném semeni, popřípadě obilce, došel ke svému naplnění.

Při sladování probíhají v obilce ječmene obdobné pochody jako při klíčení v půdě. Cílem klíčení ve sladovně je však aktivními zásahy sladaře uvést do souladu dva protichůdné životní projevy klíčení obilky: vytvořit optimální podmínky pro aktivaci enzymatického aparátu a zároveň omezit růst embrya a dýchání klíčící obilky (Psota, Šebánek, 1999).

2.6. Faktory ovlivňující klíčení

2.6.1. Vnitřní faktory

Fytohormony

Fytohormony jsou nízkomolekulární, v rostlinách syntetizované organické sloučeniny, které při velmi nízkých koncentracích regulují různé, zejména růstové a vývojové procesy, aniž by se při tom chemicky měnily. Působí v místě svého vzniku nebo i v jiných částech rostliny, do kterých jsou transportovány (Luštinec, Žárský, 2003).

Plní dvojí funkci:

1. Významně se podílejí na koordinaci vztahů mezi buňkami, pletivy a orgány a na vývojové integraci rostlin.
2. Fungují jako přenašeče signálu z vnějšího prostředí do rostlin.

Oplození vaječné buňky zavádí impuls spojený se zvýšením fytohormonální aktivity ve vajíčku. Vzniká tzv. sink, to je metabolické přetahování živných látek do rostoucí obilky v klasech. Do obilky se tak translokují asimiláty vytvořené fotosyntézou klasu a z velké části i prvního a druhého nejvyššího listu na stéble. Výskyt vysokých koncentrací fytohormonů (hlavně auxinů, giberelinů a cytokininů) ve vyvíjejících se obilkách podnítil časté studie sledující vztah fytohormonů k vývinu obilek (Psota, Šebánek, 1999).

Významným endogenním regulátorem klíčení semen jsou gibereliny. V embryu vyvíjejícího se semene se hromadí ve vázané formě. Po nabobtnání semen se gibereliny uvolní z vázané formy a embryo začíná gibereliny syntetizovat *de novo*. U obilky ječmene, kde byl tento proces nejpodrobněji prostudován, difundují pak volné gibereliny do aleuronové vrstvy, ve které indukují tvorbu α -amylázy a dalších hydrolytických enzymů, např. zvýšení aktivity fosfatázy. Předpokládá se, že lipáza, která iniciuje odbourávání glyceridů, se přemísťuje z aleuronových zrněk do sférozomů v reakci právě na gibereliny. Giberelin je tedy tvořen nejprve ve štítku embrya a později je pravděpodobně vytvářen již v celém embryu. Avšak takto vytvořená kyselina giberelová není podstatná pro indukce enzymů v aleuronu (Fernandez, 1987).

Uvnitř obilek jsou gibereliny rozloženy nerovnoměrně. V embryu může být obsah giberelinů mnohonásobně vyšší než v endospermu (Bewley, Black, 1994).

Kyselina abscisová (ABA) brzdí syntézu α -amylázy, indukovanou kyselinou gibberelovou v aleuronové vrstvě obilek ječmene. K úplnému potlačení účinku gibberelinu je zapotřebí asi dvanáctinásobek koncentrace ABA. Mimo potlačení vlivu gibberelinů na indukci α -amylázy ABA indukuje syntézu proteinového inhibitoru α -amylázy a snižuje stabilitu mRNA pro α -amylázu (Procházka a kol., 1998).

Boivin et al. (1995) zjistil v obilkách ječmene čtyři přirozené cytokininy (Zeantinribosid, zeatin, izopentenyladenosin, izopentenyladenin).

Cytokininy ve spojení s gibbereliny hrají aktivní úlohu při klíčení. Základní formou cytokininů v endospermu obilek jsou pravděpodobně cytokiniglukosidy. Ty jsou transportovány do embrya pro využití v růstu klíčící rostliny. Radikula je podle toho závislá na zdroji cytokininů v endospermu (Psota a Šebánek, 1999)

2.6.2. Vnější faktory

Vliv ročníku na výnos

Na tvorbu výnosu jarního ječmene má silný vliv charakter ročníku, neboť v důsledku kratší vegetační doby a slabšího kořenového systému se hůře vyrovnává s výkyvy počasí, zhoršeným fyzikálním stavem půdy a chybami v agrotechnice. Tvorbu výnosu můžeme definovat jako vliv interakce půdně-klimatických podmínek, genotypu, technologie na syntézu, transport a hromadění asimilátů v zrně ječmene. Kolísání výnosů jarního ječmene v závislosti na průběhu povětrnostních podmínek se pohybuje kolem 25 % a projevuje se rozdílně silně v interakci s pestrými šálami agroekologických podmínek, úrovní agrotechniky a zdravotním stavem odrůdy (Bláha, 2009).

Teplota

Růstové a vývojové procesy rostlin jsou silně závislé na teplotě vnějšího prostředí, neboť rostliny jsou schopné regulovat teplotu svého těla jen velmi málo a jen za určitých podmínek (snižovat transpirací, zvyšovat dýcháním). Patří mezi organismy poikiloternní. Nepřekvapuje proto, že teplota je hlavním ekologickým faktorem ovlivňujícím rozšíření

rostlinných druhů na zemském povrchu a že rostliny jsou adaptovány na teploty svého přirozeného stanoviště (Hale and Orcutt, 1987).

Teplota se uplatňuje při klíčení semen podobně jako při růstu vůbec. Opět tu rozlišujeme kardinální teplotní body (minimum, optimum a maximum). Teplomilné rostliny mají tyto body posunuty výše. U ječmene jsou to tyto hodnoty:

- minimum 3 – 4 °C,
- optimum 20 °C,
- maximum 28 – 30 °C.

Uvedené hodnoty mohou kolísat i podle odrůdy, provenience a stáří osiva. Většina semen klíčí v laboratorních podmínkách při konstantních teplotě. Semena některých druhů však nejsou schopna klíčit bez kolísání teplot, které je v přírodě obvyklé. Na minimální teplotě závisí doba setby, která je různá podle prohřátí půdy. Optimum a maximum klíčení leží obvykle o něco níže než optimum a maximum růstu (Procházka a kol., 1998).

Dormantní semena, tedy semena v klidovém stavu, jsou odolná, ale již klíčící semena a vzcházející rostliny tuto vlastnost ztrácejí. Kořeny a podzemní části stonku jsou citlivější na oba teplotní extrémy. Pupy v porovnání s listy zase vykazují vyšší odolnost (Bláha a kol., 2003).

Voda

Voda je nezbytná pro zbobtnání semen, jež předchází jejich klíčení. Testa je pro vodu nejvíce prostupná kolem pupku semene. Rychlost absorpce vody je největší hned poté, co semena přišla v půdě do styku s vodou. Příjem vody v této první etapě nezávisí na životních pochodech a zvyšuje se vzestupem teploty (Procházka a kol., 1998).

Teplo, chlad, sucho a zasolení jsou stresory, které ovlivňují hospodaření rostliny s vodou a na makroskopické i na buněčné úrovni vedou k různým specifickým a nespecifickým reakcím, spočívajícím v adaptaci rostlin, anebo častěji vedoucím k jejich poškození (Wahid et al., 2007).

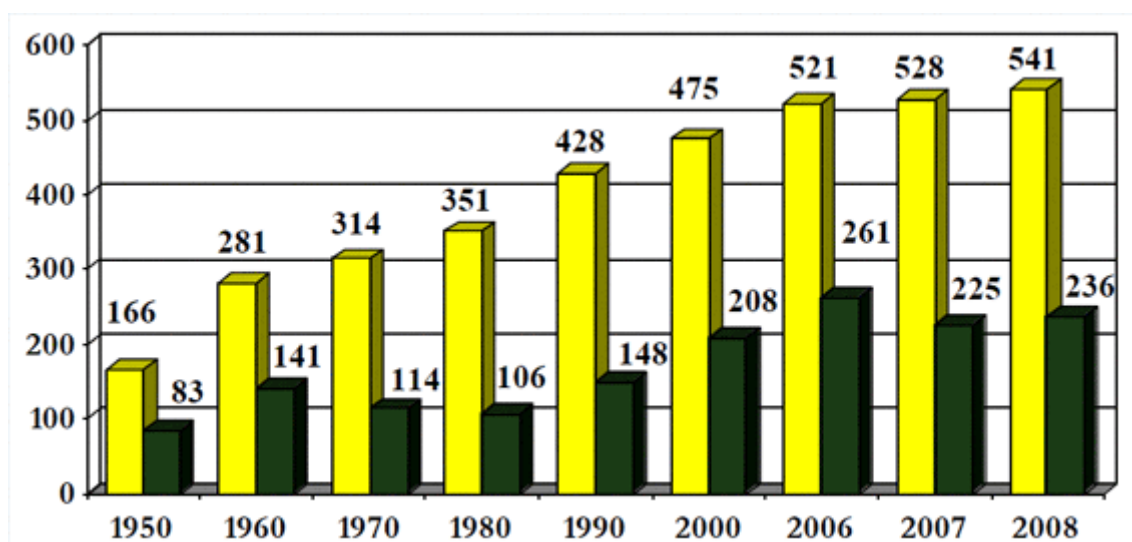
Absorpce vody do semen je nezbytným krokem k rehydrataci pletiv osiva a zahájení metabolických procesů v semenu. Množství vody potřebné pro klíčení závisí na genomu semene (Benech-Arnold, 1984).

Největší úroveň hydratace je v embryu. Jakmile v něm stoupne obsah vody nad 60 %, počnou se v semeni aktivovat metabolické systémy, a tím započne i příprava na objemový

růst embryonálních buněk. Příjem vody do embrya pak souvisí také s transportem organických sloučenin ze zásobních částí semen (Procházka a kol., 1998)

2.7. Sladařství a sladování

Graf 2. Výroba a vývoz sladu v letech 1950 – 2008 (v tisících tun) (MZe, 2008)



Obchodní i pivovarské sladovny v České republice vyrobily v roce 2008 540 510 t sladu, o téměř 2,5 % více než v roce 2007. Jedná se již podruhé za sebou o rekordní produkci v dosavadní historii existence sladoven. Ze 33 činných sladoven je mezi 16 obchodními sladovnami největším producentem českého sladu společnost Sladovny Soufflet ČR, a. s. Jak je patrné z grafu 2, celkem bylo v roce 2008 exportováno 236 048 t sladu neboli téměř 44 % domácí produkce. Je to o 11 302 t (o 5 %) více ve srovnání s rokem 2007 (Mze, 2008).

Pro výrobu sladu jsou základními surovinami ječmen a voda, pro výrobu piva navíc chmel, chmelové výrobky, případně náhražky sladu. Teoreticky lze sladovat více druhů obilí, prakticky se však používá pouze sladovnický ječmen a v zahraničí v malé míře i pšenice k výrobě pšeničného sladu, určeného pro výrobu pšeničných piv. V České republice se prakticky výhradně vyrábí několik druhů ječných sladů, z nichž naprosto převažuje výroba světlého sladu plzeňského typu (Basařová a kol., 1985).

Cílem sladování je přeměnit ječmen na slad bohatý na enzymy, a to za minimálních nákladů a ztrát.

Proces výroby sladu lze z jednotlivých výrobních fází rozdělit na tři úseky:

1. máčení;
2. klíčení;
3. hvoždění.

Tomuto rozdělení pak odpovídají i tradiční názvy jednotlivých technologických úseků – máčírna, klíčírna a hvozdy.

2.7.1. Máčení

Cílem máčení je zvýšení obsahu vody v ječném zrně z 12 – 15 % na 42 – 48 %. Řízeným způsobem se zvýší obsah vody v zrně pro zahájení enzymatických reakcí a pro klíčení zrna. Při únosné spotřebě vody se odstraní splavky a lehké nečistoty, umyje zrna a ze zrna se vyplaví nežádoucí látky. Máčení dnes považujeme za nejdůležitější úsek výroby sladu, který rozhoduje o jeho budoucí kvalitě. Dosažený obsah vody se nazývá stupeň domočení a liší se podle typu vyráběného sladu (Basařová a kol., 1985).

V dobře uskladněném ječmeni je činnost enzymů, důležitých při sladování, výrazně utlumena, některé skupiny enzymů jsou syntetizovány později. Zvýšení obsahu vody v zrně vede k zahájení projevů života – ke klíčení. Podmínkou pro správný průběh klíčení je dostatek vody a vzduchu u namáčeného ječmene. Rychlost příjmu vody zrnem ovlivňuje řada faktorů, z nichž nejvýznamnější jsou: teplota vody, velikost zrna, struktura zrna a provětrávání ječmene. V současnosti se nejčastěji používá proces vzdušného máčení. Použití technologie vzdušného máčení je nutné při sladování čerstvých, neodleželých ječmenů. Z dalších technologií máčení se používá záplavové máčení, opakované máčení, sprchové máčení a klasické máčení. Klasické máčení je opakem moderního vzdušného máčení, neboť doby namočení ječmene pod vodou jsou dlouhé a vzdušné přestávky jsou krátké. Tento způsob máčení poskytuje vysoce kvalitní slady, avšak pouze u ječmenů fyziologicky zdravých, dokonale vyžralých a odleželých. Vyráběné slady jsou sladovány s vyšší výtěžností, neboť ztráty dýcháním během máčení jsou minimální. Nižší jsou i provozní náklady, neboť odsávání oxidu uhličitého se prakticky neprovádí (Kosař a kol., 2000).

2.7.2. Klíčení

Cílem sladařského klíčení je aktivace a syntéza enzymů a docílení požadovaného rozluštění (vnitřní přeměny) zrna při minimálních nákladech a únosných sladovacích ztrátách. V průběhu klíčení rozlišujeme: tvorbu enzymů a přeměnu látek, růstové změny a projevy růstu. S výjimkou α -amylasy, která není v ječmeni obsažena, jsou ostatní enzymy v malém množství již v ječmeni přítomny. Nárůst aktivity, resp. syntéza nových enzymů, jsou iniciovány prostřednictvím činnosti fytohormonů. Úloha fytohormonů v klíčení obilek je dána již jejich podílem na růstu a zrání obilek v klasech. Akumulaci ve vyvíjecích se obilkách dal do souvislosti s fytohormonální hladinou již Dörffling (1977) v obecné rovině při hodnocení role fytohormonů v procesu tvorby zásobních orgánů rostlinných. Ač jsou gibereliny, cytokininy, auxiny, etylen a kyselina abscisová v různém množství stanovovány v průběhu vývinu obilek ječmene, jejich role v růstovém procesu je nejistá. Nelze přesně stanovit, zda tu fytohormony navozují příslušné růstové změny a jsou tedy jejich příčinou, nebo zda jsou pouze následkem růstových změn (Psota a kol., 1999).

Hormony skládající se z giberelinové kyseliny a dalších příbuzných látek putují přes endosperm do aleuronové vrstvy. Zde vznikají nové volné aminokyseliny a enzymy (např. α -amylasa). Během klíčení neprobíhá jen tvorba a zvýšení obsahu enzymů, nýbrž i to, že nízkomolekulární produkty štěpení jsou za součinnosti enzymů v omezeném množství spotřebovány pro výživu zárodku a pro výstavbu nových buněk – kořínků a klíčku. Tyto látky jsou ovšem pro sladaře nevratně ztraceny. Uměním sladaře je, že dokáže proces dýchání, vnitřní přeměnu zrna a současně výstavbu nových buněk řídit v požadovaných mezích. Z látkových přeměn zajímají sladaře zvláště procesy, které se označují celkově jako „rozluštění“ (rozštěpení vysokomolekulárních látek na jejich štěpné produkty). Jedná se především o rozrušení buněčných stěn a následně o rozštěpení škrobových zrn a bílkovinných řetězců. Buněčné stěny endospermu se skládají převážně z kostry tvořené molekulami hemicelulos a bílkovin. Během klíčení jsou buněčné stěny odbourány (rozrušeny) činností enzymů patřících do komplexu cytas. Tím je umožněno proniknutí dalších specifických enzymů a jejich činnost ve vnitřní části buněk endospermu (Luštinec a kol., 2003).

Základní technologie klíčení

Z hlediska teplotního průběhu rozeznáváme podle Kosaře a kol. (2000): Klíčení při konstantní teplotě – teplota při klíčení je po celou dobu konstantní a může být nízká (např. při zpracování porostlých ječmenů), střední nebo vysoká, která se používá při zpracování vysokobílkovinných ječmenů.

- Klíčení při vzestupné teplotě – teplota při klíčení se zvyšuje v průměru denně asi o 1 °C. Tato technologie odpovídá přirozenému klíčení na humně, je méně energeticky náročná.
- Klíčení při sestupné teplotě – teplota se od druhého dne postupně snižuje při současném zvyšování obsahu vody v zrně.
- Klíčení při vzestupně-sestupné teplotě – technologie sladování, při níž se vzájemně využívá zpočátku efektu zvýšení teploty k rychlejšímu nástupu klíčení, ve druhé polovině klíčení se postupným ochlazením hromady dosáhne přijatelnějších sladovacích ztrát.

Z hlediska hodnot teploty při klíčení rozeznáváme dle Basařové a kol. (1985): Klíčení studené – teplota nepřekročí 12 °C.

- Klíčení při střední teplotě – teplota se pohybuje v rozmezí 14 – 18 °C.
- Klíčení teplé – při vyšší teplotě, která nepřesahuje 22 °C.

Sladovací zařízení lze rozdělit na klasická a moderní. Do klasických sladoven řadíme humna a moderní systémy (pneumatické) rozdělujeme na bubnové, skříňové a věžové (Kosař a kol., 2000).

2.7.3. Hvozdění

Cílem hvozdění je snížení obsahu vody ve sladu, zastavení vegetačních pochodů při zachování požadované enzymové aktivity a vytvoření chuťových, barevných a oxidoredukčních látek, tvořících charakter sladu. Dosahuje se toho nejprve řízeným šetrným způsobem sušení v nadbytku vzduchu při teplotách 20 – 60 °C a v další fázi hvozděním ve slabém proudu horkého vzduchu při teplotách 60 – 80 °C u světlého a 60 – 105 °C u tmavého

sladu. Tím se hvozďení liší od normálního sušení, které by jinak bylo dosažitelné rychleji a levněji, ale získaný slad a z něj vyrobené pivo by postrádaly požadované vlastnosti. Zelený slad má vysoký obsah vody a není na rozdíl od hotového sladu skladovatelný (Basařová a kol., 1985).

Při sušení a hvozďení se rozeznávají z hlediska chemických a biochemických změn tři fáze:

- Růstová fáze – obsah vody nad 20 %, teplota do 40 °C, zrna je schopné dále klíčit (růst kořínků a střílky);
- enzymová fáze – obsah vody poklesl pod 20 %, teploty mezi 40 až 60 °C, zastavení vegetačních procesů, ale pokračují enzymové reakce;
- chemická fáze – obsah vody pod 10 %, teploty nad 60 °C, zastaveny enzymové reakce, probíhají chemické reakce vedoucí k tvorbě barevných a chuťových látek

2.8. Kalorimetrické stanovení obsahu energie

Metoda spalné kalorimetrie patří mezi nejpropracovanější odvětví termodynamiky, neboť její základy byly položeny ve druhé polovině 18. století, i přesto, že fenomén tepla byl předmětem zájmu již antických filosofů. Ze všech metod, které řadíme do termodynamických, je nejpropracovanější kalorimetrickou technikou právě spalná kalorimetrie, jejíž pomocí se přímo stanovuje energetický obsah v palivech či biomase. Na základě těchto zkušeností má tato metoda své nezastupitelné místo také v biologických vědních disciplínách (Hnilička a kol. In. Bláha a kol., 2010).

Kalorická hodnota sušiny rostlin je určena jejím chemickým složením. Oproti biochemické analýze je to rychlá, na obsluhu nenáročná fyziologická metoda, umožňující hodnocení produkční a fotosyntetické výkonnosti rostlin v průběhu vegetace a ve vztahu k podmínkám vnějšího prostředí (Hejnák, 2003).

Energie vázaná v hmotě se stanovuje z reprezentativních vzorků. Velký obsah energie odpovídá velkému obsahu uhlíku v organické sušině. Obsah uhlíku se liší podle druhu orgánu a podle ročního období (Larcher, 1988).

Energetickou hodnotu jednotlivých látek obsažených v rostlinách uvádí tabulka 2. (Larcher, 1995).

Tab. 2. Obsah energie v sušině rostlin

Stavební látka	Obsah energie (kJ.g⁻¹)
Glycin	8,9
Glukóza	15,4
Sacharóza	16,5
Škrob	17,4
Celulóza	17,6
Proteiny	23,7
Lipidy	39,6
Ligniny	26,3
Terpeny	46,9

Touto metodou se zjišťuje změna obsahu energie vyprodukované biomasy na základě tepelného skoku. Z hodnoty tepelného skoku se stanovuje obsah brutto (množství energie přepočtené na 1 g sušiny s popelovinami) a netto energie (množství energie přepočtené na 1 g sušiny bez popeloviny) v jednotlivých orgánech rostlinného těla (Hnilička a kol. In. Bláha a kol., 2010).

3. Cíl

Klíčení sladovnického ječmene je jeden z nejdůležitějších pracovních postupů při výrobě sladu. Jedním z problémů klíčení je udržet optimální teplotu v celé hromadě tak, aby rovnoměrně klíčila. Sladaři zkouší vedení hromady při teplotách konstantních, vzestupných a vzestupně sestupných.

Cílem předkládané práce je zjistit změny rychlosti klíčení a obsahu energie obilek při rozdílných konstantních teplotách a při teplotě vzestupné.

Pro splnění uvedených cílů byly stanoveny následující hypotézy :

- existuje genotypový rozdíl v obsahu energie při klíčení různými teplotami,
- existují genotypové rozdíly v rychlosti klíčení,
- existují rozdíly ve fyziologické odezvě na jednotlivé teploty.

Zkoušené odrůdy ječmene byly vybrány tak, aby došlo k porovnání současných sladovnických odrůd, které jsou stále na trhu (Xanadu, Jersey, Tolar), odrůdy historické (Norimberk) a jedné odrůdy ozimé (Luran).

4. Metodika

Pokusným materiálem jsou 4 odrůdy jarního ječmene a 1 odrůda ozimého ječmene. Osivo vybraných odrůd bylo získáno ze Zemědělského výzkumného ústavu, s.r.o. z Kroměříže. Uvedené osivo bylo klíčeno ve dvou konstantních teplotách – 15 °C a 25 °C a při vzestupné teplotě – zvyšování teploty o 1 °C z teploty 15 °C na teplotu 21 °C.

4.1. Rostlinný materiál

Jako rostlinný materiál bylo vybráno pět odrůd ječmene (čtyři odrůdy sladovnického jarního ječmene dvouřadého a jedna odrůda víceřadého ozimého ječmene). Zkoušeným materiálem bylo osivo těchto odrůd:

Ječmen jarní:

- moderní odrůda Jersey,
- tradiční česká odrůda Tolar,
- historická odrůda Norimberk,
- Xanadu, odrůda zapsaná v roce 2006.

Ječmen ozimý:

- raná víceřadá odrůda Luran.

4.1.1. Charakteristika odrůd – ječmen jarní

Jersey

Jersey je odrůda momentálně vykupovaná v největším podílu Sladovnyami Soufflet ČR. Při správné agrotechnice a vyšší intenzitě dokazuje v provozech, že stále patří k nejvýnosnějším odrůdám. Registrována byla v roce 2000. Výška porostu přibližně 70 cm ji zařazuje k odrůdám jako Prestige nebo Malz. Z hlediska fungicidní ochrany je výhodou, že v sobě obsahuje gen Mlo, a tím je chráněna před padlím trávním. Tato nejzávažnější choroba ječmene způsobuje ve fázi odnožování redukcii odnoží, přičemž počet odnoží u ječmene je jeden z důležitých výnosotvorných prvků. Proto má napadení ječmene padlím ve fázi odnožování větší vliv na snížení výnosu než napadení pšenice.

Na druhé straně je odrůda Jersey více náchylná na hnědou skvrnitost. Proto je třeba přistupovat k preventivnímu fungicidnímu ošetřování porostu na plochách, kde byl předplodinou ječmen. Tato odrůda je také dost náročná na rez ječnou, což je v posledních letech méně rozšířená choroba. V ročnících se silným infekčním tlakem ale může výrazně snížit hmotnost tisíce zrn, a tím i podíl předního zrna, a další parametry sladovnické jakosti. Odrůda Jersey má velmi dobrou schopnost odnožovat a při dodržení správné hloubky setí jsou možné i nižší výsevky, a to pod 3 MKS.ha⁻¹. Obsah dusíkatých látek je většinou na úrovni, která za léta 2001 – 2004 dosahovala v tomto ukazateli nejnižšího podílu ze všech preferovaných odrůd (www.ukzuz.cz).

Tolar

Tolar je tradiční česká odrůda, s níž mají tuzemští pěstitelé dostatek zkušeností. Je charakteristická nejvyšším obsahem dusíkatých látek v znu za posledních šest let. Přestože to je starší odrůda, drží krok ve výnosech, ale nepřesahuje výnosy nově registrovaných odrůd. Její výška (asi 80 cm) je nad průměrem preferovaných odrůd. Z toho vyplývá potřeba ošetřovat ji morforegulátory, i když nepatří k poléhavým odrůdám. Povolena byla v roce 1997.

Odrůda Tolar se vyznačuje dlouhým klasem s vyšším počtem zrn v klasu. Hmotnost tisíce zrn převyšuje průměr, ale výtěžnost předního zrna je pod průměrem preferovaných odrůd. V posledních šesti letech je na úrovni odrůdy Jersey. Výsevek by se měl pohybovat nad 3,5 MKS.ha⁻¹, přičemž výnos by měl být tvořen hlavně počtem klasů. Z hlediska chorob je

tato odrůda náchylná k napadení padlím trávám, ale má větší odolnost vůči hnědé a rhynchosporiové skvrnitosti (www.ukzuz.cz).

Xanadu

Xanadu je plastická odrůda rychle se rozšiřující napříč celou Evropou. Odrůda je již registrována nebo před registrací v těchto zemích: Česká republika, Francie, Německo, Rakousko, Maďarsko, Polsko, Rusko, Ukrajina, Norsko a Finsko. Odrůda je bez vyhraněných nároků na podmínky pěstování. Vyšší odnožovací schopnost umožňuje relativně pozdnější termíny setí. Díky své ranosti dříve nalévá zrna a dobře tak zvládá i přísuškové lokality a lehčí pozemky s rychlým závěrem vegetace. Registrována byla v roce 2006.

Xanadu je sladovnická středně raná odrůda. Rostliny středně vysoké, odrůda středně odolná proti poléhání, středně odolná proti lámání stébla. Zrna středně velké až velké, podíl předního zrna vysoký. Odolná proti napadení padlím trávám, středně odolná proti napadení rzí ječmene, středně odolná proti napadení komplexem hnědých skvrnitostí, středně odolná proti napadení rhynchosporiovou skvrnitostí. Výnos zrna ve všech zemědělských výrobních oblastech vysoký. Výsevek 3 – 4 MKS.ha⁻¹ (www.ukzuz.cz).

Norimberk

Norimberk (historická odrůda z roku 1832) - první srovnávací pokusy v roce 1970 – 1972 prokázaly oproti tehdy pěstovaným odrůdám Jantaru, Denáru, Dvoranu a Diamantu významné rozdíly ve výšce rostlin. To se projevilo u Norimberku větším sklonem k poléhání a horším zdravotním stavem (padlí trávní, hnědá skvrnitost, silný výskyt sněti prašné). Nejzávažnější však byla změna v produkčních procesech. Nárůst listové plochy a též i sušiny byl hned z počátku růstu podstatně rychlejší, než u současných odrůd a zejména než u Diamantu a později odrůd diamantové řady. Rostliny této staré odrůdy rychle zakryly půdu, což se projevilo i na jistém potlačení plevelů. Po vymetání a při tvorbě obilky však byly hodnoty listové plochy menší, než u současných odrůd. Proti odrůdám diamantové řady byla průkazně menší produktivita odnožování (velká produkce založených odnoží), a tím i celkově nižší počet klasů. Počet a velikost obilek v klasu byl stejný jako u současných odrůd. O výnosech rozhodovalo hlavní stéblo a nikoli odnože, jako je tomu u dnešních, nosných odrůd (Lekeš, 1997).

4.1.2. Charakteristika odrůd – ječmen ozimý

Luran

Luran je raná víceřadá odrůda. Výnos zrna má středně vysoký. Rostliny středně vysoké. Zrno středně velké až velké, výtěžnost předního zrna vysoká. Předností je ranost a vysoký podíl předního zrna. Nedostatkem je menší odolnost proti poléhání, napadení hnědou skvrnitostí a rhynchosporiovou skvrnitostí.

Tato odrůda byla zapsána v roce 1997 (www.ukzuz.cz).

4.2. Metody kultivace

Klíčení obilek vybraných odrůd ječmene se uskutečnilo na základě metodických postupů vycházejících z ISTA (International Rules for Seed Trstiny – edition 2004). Obilky klíčily na Petriho miskách při třech různých teplotách na filtračním papíru dostatečně zásobeném vodou. Složení papíru byla 100% bělená buničina. Papír nesmí obsahovat plísně, bakterie a jedovaté fyto toxické látky, které by mohly záporně ovlivnit klíčení semen a ztěžovat tak jejich hodnocení. Voda používaná k navlhčení papíru má být bez organických a anorganických nečistot. Lůžko bylo potřeba udržovat v dostatečně vlhkém stavu, ale nesmělo být natolik vlhké, aby se kolem obilek vytvářel vodní film, který by zamezoval přístupu vzduchu k semení.

Počet obilek na Petriho misku byl 50 kusů. A počet opakování byl 4. Semena se položila na vlhké lůžko přímo v takových rozestupech, aby se vzájemně nedotýkala a nepřekážela si při klíčení, aby docházelo co nejméně ke křížení kořenů klíčících rostlin a aby semeny přenosné choroby pokud možno nevyvolávaly sekundární infekci (Trnka, 2004).

Schéma pokusu zahrnovalo tři varianty. V první variantě pokusu byly obilky nakličovány při teplotě 10 °C. Druhá varianta představovala teplotu 25 °C. V poslední variantě pokusu se teplota postupně zvyšovala z 15 °C až na konečnou teplotu 21 °C, přičemž teplotní gradient byl 1 °C za den. Klíčení vzestupnou teplotou probíhalo v termostatu Conviron.

Odběry vzorků se uskutečnily ve třech termínech, první, třetí a šestý den po založení pokusu.

4.3. Kalorimetrické stanovení obsahu energie

Brutto a netto energie se stanovila pomocí kalorimetru, kdy v kalorimetrické nádobě dochází k úplnému spálení vzorku. Pro měření spalného tepla byl použit automatický adiabatický spalný kalorimetr MS 10 A německé firmy LAGET (obr.3).

Obr. 3. Suchý adiabatický spalný kalorimetr LAGET MS 10 A



LAGET MS 10A je klasický vodní, suchý adiabatický spalný kalorimetr s izotermálním pláštěm, s automatickým řízením pokusu a automatickým výpočtem korekce na výměnu tepla. Vodní nádoba je zabudována v plášti kalorimetru. Teplota uvnitř pláště, jímž je vodní nádoba obklopena, je 28 °C s odchylkou $\pm 0,0005$ °C. Kalorimetr pracuje v rozmezí teplot 20 – 30 °C. Z tohoto důvodu nesmí teplota v laboratoři překročit 25 °C. Součástí kalorimetru je spalná bomba o objemu 300 ml s maximálním přetlakem 30 MPa. Počáteční tlak v bombě je maximálně 4 MPa. Spodní část bomby pojme 5 ml destilované vody. Bomba je plněna kyslíkem pomocí stativu, který je vybaven sdruženou dvojicí kulových ventilů, manometrem a tryskou pro škrcení průtoků kyslíku. Příklad pracuje v sedmi volitelných pracovních

režimech, kterými jsou kalibrační a kontrolní 32 minutové měření, adjustování (kontrola zabudovaných teploměrů), 24 minutové měření, klasické 16 minutové měření až do rovnováhy a zkrácené 5 a 8 minutové měření.

Vzorky byly po vysušení do konstantní hmotnosti při teplotě 80 °C (teplota, při níž nedochází k degradaci energeticky bohatých látek) homogenizovány v mlýnku a poté spáleny v kalorimetru ve 100 % kyslíkové atmosféře. Hodnota tepelného skoku byla poté přepočtena na hodnoty brutto a netto energie na jednotku hmotnosti sušiny kJ.g^{-1} . Zjištěná brutto energie byla podle normy ČSN ISO 1928 přepočtena na netto energii.

Pro výpočet energie byl použit následující vztah:

$$Q = \frac{(C \cdot Dt) - c}{m}$$

Q – spalné teplo analytického vzorku (J.g^{-1}),

C – tepelná kapacita kalorimetru ($\text{J.}^\circ\text{C}^{-1}$),

Dt – celkový vzestup teploty v hlavním úseku ($^\circ\text{C}$),

c – součet oprav (J),

m – hmotnost navážky analytického vzorku.

Doplněním potřebných údajů do vzorce byla netto energie vypočítána podle vztahu:

$$\text{Netto energie} = \frac{(9768,3 \cdot \text{teplotní skok} - 1673,45)}{m}$$

Navážka – navážka popelovin

9768,3 – tepelná kapacita kalorimetru (J),

1673,45 – spalné teplo drátku (J).

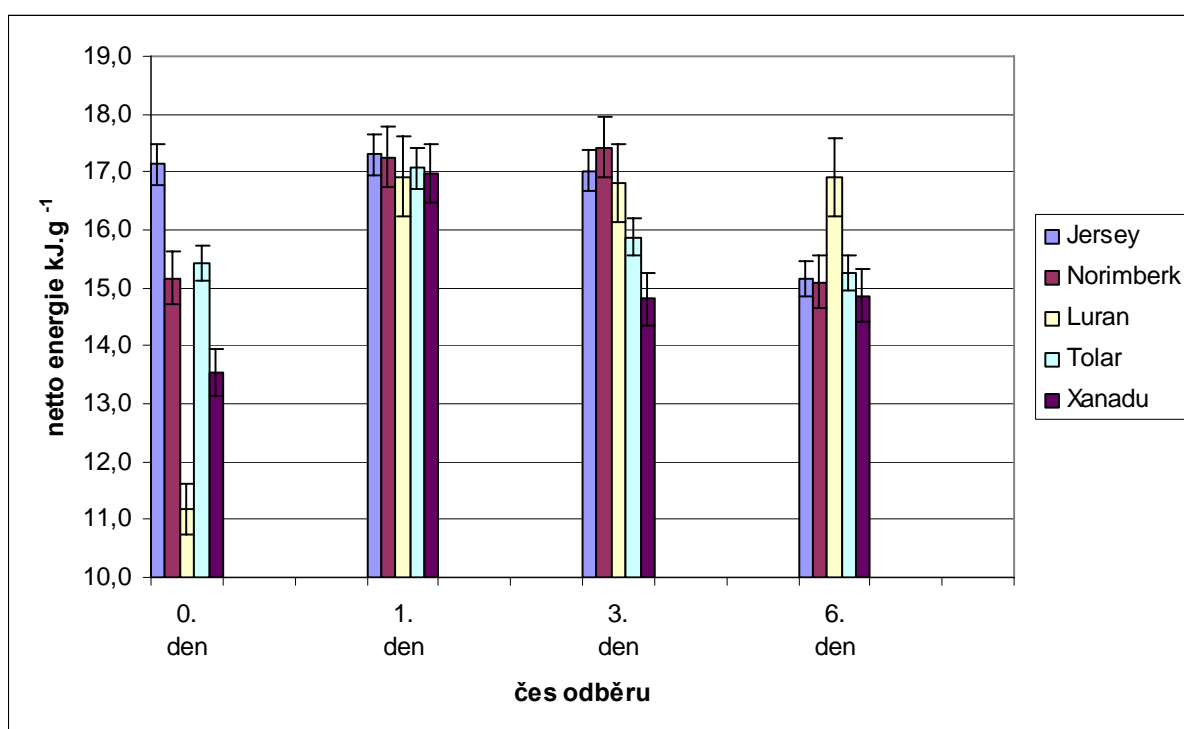
4.4. Vyhodnocení výsledků pokusů

Získané výsledky byly statisticky vyhodnoceny vícefaktorovou Anovou na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Pro test homogenity rozptylu byl vybrán Cochran, Hartley, Bartlettův test. Tukeyův HSD test byl použit pro stanovení homogenních skupin. Naměřené hodnoty byly zpracovány pomocí statistického systému StatSoft, Inc. (2001) - STATISTICA Cz [Software system for data analysis], version 9.0.

5. Výsledky a diskuse

5.1. Změny hodnot spalného tepla v závislosti na teplotě

Graf 3. Změny hodnot netto energie ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) při klíčení konstantní teplotu $10\text{ }^{\circ}\text{C}$



Z grafu 3. vyplývá rozdíl v hodnotách netto energie klíčících obilek sledovaných odrůd ječmene. Při založení pokusu bylo naměřeno rozpětí hodnot netto energie od $11,18\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ u odrůdy Luran do $17,13\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, která byla naměřena u odrůdy Jersey. Historická odrůda Norimberk měla obsah energie ve výši $15,16\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, kdežto u moderní odrůdy Jersey, která byla povolena v roce 2000, byla hodnota spalného tepla $17,13\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. V procentickém vyjádření o 13,7 % vyšší v porovnání s historickou odrůdou Norimberk. Tyto odchylky, jak říká Larcher (1995), jsou způsobeny odlišným obsahem energeticky bohatých látek.

První den klíčení byl obsah energie v rámci jednotlivých testovaných odrůd relativně vyrovnaný, neboť průměrný obsah energie činil $17,11\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Přičemž u odrůdy Luran se obsah energie klíčících obilek zvýšil nejvýrazněji v porovnání s neklíčícími obilkami o $5,74\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (51,3 %). Hodnoty naměřené dle Kumara (1994) u jarního ječmene se zvyšují

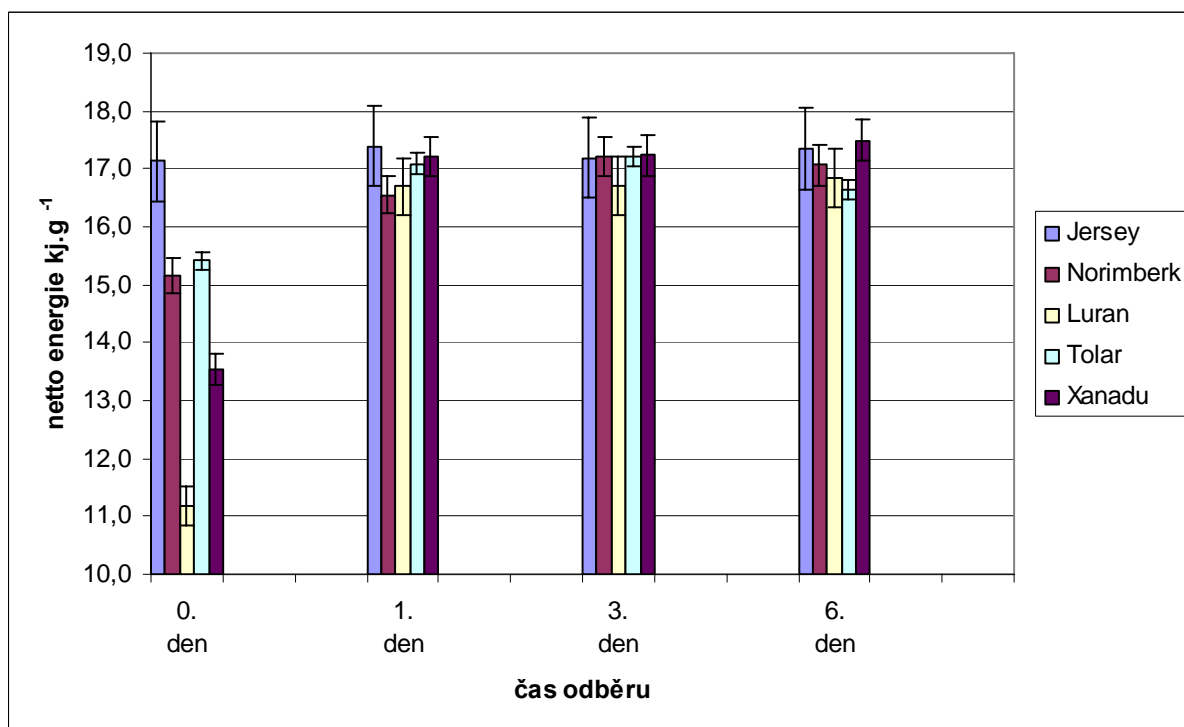
v důsledku spotřeby energeticky chudších látek a zbytky obilek vykazují vyšší hodnotu netto energie, než obilky před klíčením. Tento výsledek je potvrzen u všech odrůd s výjimkou Jersey. U té nebyly zaznamenány průkazné diference mezi neklíčovými obilkami a obilkami klíčovými 1. den při teplotě 10 °C.

V následném termínu hodnocení (3. den) nebyly zaznamenány výraznější změny v obsahu netto energie u odrůd Jersey, Norimberk a Luran. U těchto odrůd se obsah energie zvýšil v průměru o 2,57 %, kdy stanovený interval hodnot byl od 17,42 kJ.g⁻¹ (Norimberk) do 16,80 kJ.g⁻¹ (Luran). Naopak u odrůd Tolar a Xanadu byl zaznamenán pokles spalného tepla na 15,87 kJ.g⁻¹, a 14,80 kJ.g⁻¹, jak dokumentuje graf 3., což je zřejmě způsobeno vyšší náchylností na dlouhodobější působení nižších teplot.

Po šesti dnech klíčení byla nejvyšší hodnota netto energie stanovena u odrůdy Luran (16,90 kJ.g⁻¹), zatímco u odrůdy Xanadu se obsah energie statisticky průkazně nezměnil. U odrůd Jersey, Norimberk a Tolar se naopak obsah energie snížil. Nejvýraznější pokles byl zjištěn u odrůdy Norimberk (15,10 kJ.g⁻¹) o 13,32 %, a na straně druhé nejnižší u odrůdy Tolar (15,27 kJ.g⁻¹) o 3,78 %.

Změny obsahu netto energie jsou dány látkovými přeměnami při klíčení, kdy není pouze tvorba a zvýšení obsahu enzymů, nýbrž i to, že nízkomolekulární produkty štěpení jsou za součinnosti enzymů v omezeném množství spotřebovány pro výživu zárodku a pro výstavbu nových buněk, kořínků a klíčků. Z látkových přeměn jsou při sladování důležité především procesy, které se označují jako rozluštění (rozštěpení vysokomolekulárních látek na jejich štěpné produkty). Jedná se především o rozrušení buněčných stěn a následně o rozštěpení škrobových zrn a bílkovinných řetězců (Kosař a kol., 2000).

Graf 4. Změny hodnot netto energie ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) při klíčení konstantní teplotou $25\text{ }^\circ\text{C}$



V grafu 4 jsou uvedeny změny obsahu energie klíčících obilek ječmene při teplotě $25\text{ }^\circ\text{C}$. V den založení pokusu byl obsah energie v rozpětí $11,18\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (u ječmene ozimého odrůda Luran) až po hodnoty $17,13\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Jersey). Tyto difference energetické hodnoty se shodují s tvrzením Golleye (1961), který tvrdí, že odchylky v obsahu energie jsou dány funkcí genotypu a závisí na podmínkách prostředí.

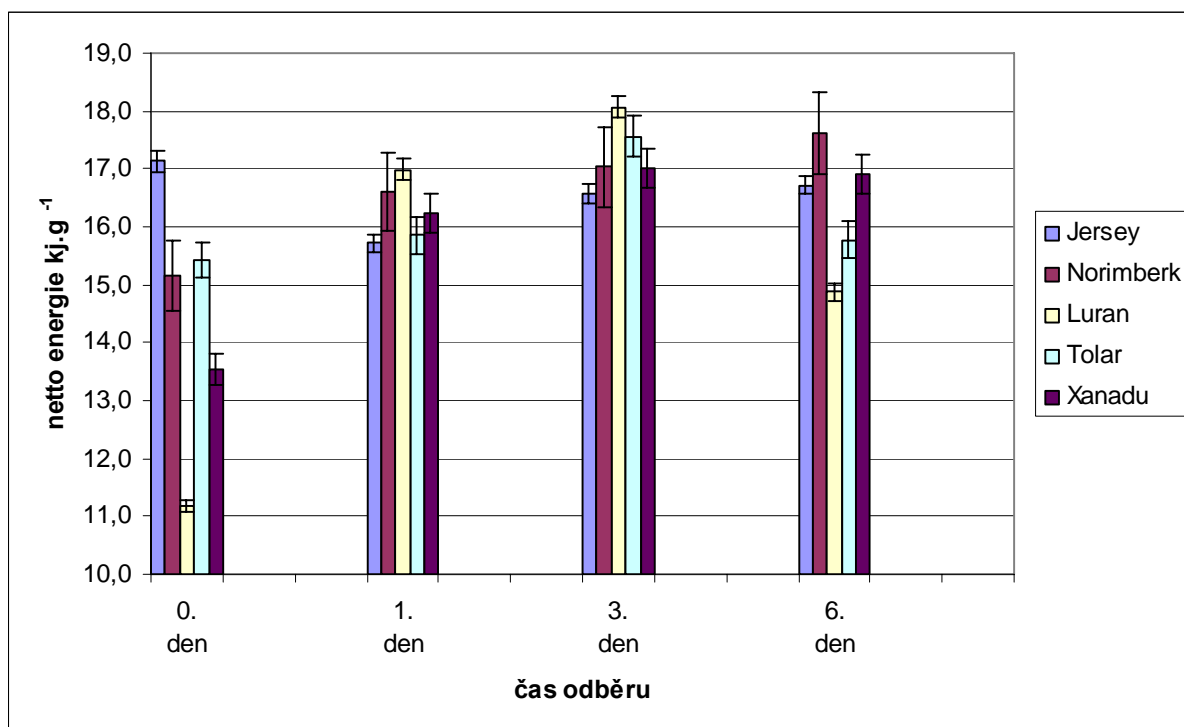
Po prvním dni klíčení se obsah energie klíčících obilek pohyboval v intervalu od $16,55\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Norimberk) do $17,40\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Jersey). Nejvýrazněji se zvýšila naměřená hodnota netto energie oproti neklíčeným obilkám u ozimé odrůdy Luran (49,28 %) na hodnotu $16,70\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Naopak nejnižší nárůst spalného tepla (1,58 %) byl zaznamenán u odrůdy Jersey. Mezi nárůstem energie u odrůdy Tolar a Norimberk byl minimální a však průkazný rozdíl 1,66 %. Procházka (2008) konstatuje, že optimum pro klíčení by mělo být okolo $20\text{ }^\circ\text{C}$, a mělo by tudíž docházet i k nejvyššímu nárůstu energie. Toto tvrzení bylo prokázáno (oproti variantě klíčení při $10\text{ }^\circ\text{C}$) pouze u moderních odrůd Jersey a Xanadu.

3. den klíčení nebyly v rámci testovaných odrůd naměřeny výrazné změny v hodnotách spalného tepla. Ozimá ani jarní odrůdy neprokazovaly výraznější odchylky od hodnot naměřených v předchozím odběru. Nejvýraznější nárůst byl $0,67\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Norimberk) a průměrný obsah netto energie byl $17,12\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

Při posledním odběru se obsah energie v klíčících obilkách ječmene zvýšil o 1,50 % u odrůdy Xanadu. Odrůdy Norimberk, Jersey a Luran neprokazovaly výrazné difference, neboť naměřené difference činily v průměru pouze 0,13 kJ.g⁻¹. U odrůdy Tolar byl zaznamenán pokles obsahu energie klíčících obilek, kdy hodnota spalného tepla byla 16,63 kJ.g⁻¹. Tento pokles byl způsoben horším hospodařením s vodou při nízkých teplotách, jak konstatuje Wehid (2007). Tento závěr byl potvrzen

Naměřené hodnoty netto energie při 25 °C po šesti dnech klíčení se pohybovaly v intervalu od 17,50 kJ.g⁻¹ (Xanadu) do 16,30 kJ.g⁻¹ (Tolar). Od prvního dne odběru se neprojevovaly výraznější difference mezi sledovanými odrůdami ječmene. Při klíčení za vyšších konstantních teplot byly stanoveny vyšší změny pouze mezi neklíčenými obilkami a odběrem po prvním dnu klíčení. Tento trend byl nejspíš způsoben rychlým příjmem vody, která snadněji proniká do obilek ječmene při vyšších teplotách, a zahájením látkových přeměn v zrně (Kosař a kol., 2008).

Graf 5. Změny hodnot netto energie ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) při klíčení ječmene vzestupnou teplotou



V grafu 5. jsou uvedeny změny v obsahu energeticky bohatých látek při klíčení pěti výše zmíněných odrůd při vzestupné teplotě. Pokus byl založen při teplotě $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, která po šesti dnech vzrostla na konečnou hodnotu $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ s teplotním gradientem $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ za den.

První odběr při teplotě $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ prokázal nárůst obsahu energie v klíčících obilkách u odrůd Norimberk, Tolar, Xanadu a Luran. Tyto výsledky potvrzuje i Kosař (2000), který konstatuje, že jsou způsobeny rychlým příjmem vody a rozkladem energeticky chudších látek. Pouze u odrůdy Jersey byl stanoven pokles netto energie o $1,41\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ na hodnotu $15,72\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Nejvyšší nárůst byl opět naměřen u odrůdy Luran o $5,81\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Relativně vysoký nárůst spalného tepla prokázaly i odrůdy Xanadu o $2,70\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a Norimberk o $1,44\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, jak je uvedeno v grafu 5. Tyto výsledky potvrzuje též Martínková (2008), která zjistila nárůst netto energie u jarního ječmene v prvních dnech klíčení.

Třetí den po založení pokusu byly vzorky odebírány při teplotě $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. V následném hodnocení rychlosti klíčení byl zaznamenán nárůst netto energie u všech pěti odrůd, nejvyšší $1,71\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Tolar) a nejnižší $0,44\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Norimberk). Průměrný procentický nárůst činil $5,97\%$. Nejvyšší hodnota spalného tepla byla naměřená u odrůdy Luran ($18,06\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$).

Poslední odběr po šestém dni klíčení se uskutečnil při teplotě $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pohyboval se v intervalu hodnot od $14,88$ (Luran) do $17,62\text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (Norimberk). Nebyly nalezeny statisticky

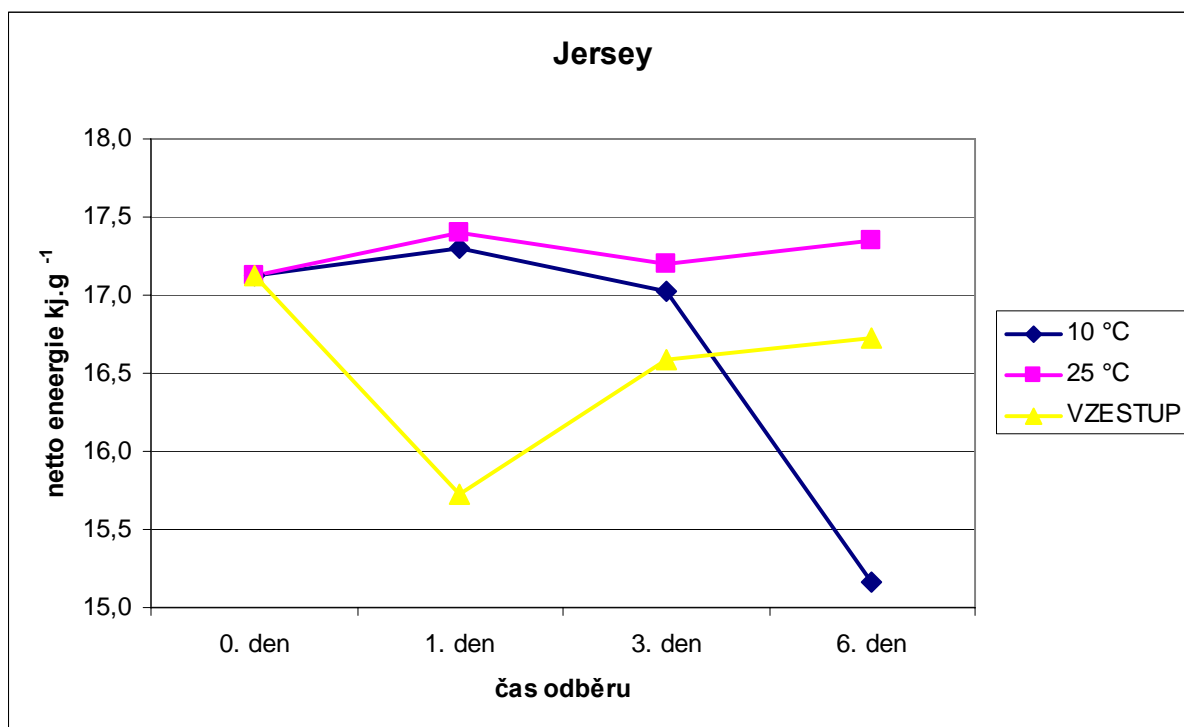
průkazné změny u odrůd Jersey a Xanadu. Statisticky neprůkazné zvýšení energie při klíčení obilek bylo zaznamenáno pouze u historické odrůdy Norimberk o 3,40 %, a naopak nejvyšší diference netto energie byla naměřena u odrůdy Luran, u níž byl zaznamenán statisticky průkazný nárůst ve třetím dni odběru ($18,06 \text{ kJ.g}^{-1}$) k poklesu o 17,60 % až na hodnotu $14,88 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Při vzestupné teplotě byly statisticky průkazné odchylky zjištěny u ozimé odrůdy Luran. Tato odrůda vykazuje velmi nízkou hodnotu spalného tepla neklíčených obilek a po dosažení maximálních hodnot při odběru ve třetím dni opět prudce klesá při klíčení za vyšších teplot. Obdobný, i když ne tak výrazný trend byl zaznamenán také u odrůd Xanadu, Norimberk a Tolar. To je pravděpodobně způsobeno přeměnou energeticky méně cenných látek v počátku klíčení, a následný pokles spalného tepla je vyvolán vyšší aktivitou enzymů při dosažení teplotního optima a rozkladem energeticky bohatých látek (např. škrobu) (Larcher, 1995, Procházka, 1998, Kumar, 1994).

5.2. Změny hodnot spalného tepla v závislosti na genotypu

Z grafu 6. vyplývá porovnání hodnot spalného tepla u odrůdy ječmene jarního Jersey při třech odlišných způsobech klíčení. U obilek klíčících vzestupnou teplotou docházelo k výrazné diferenci mezi neklíčeným vzorkem ($17,13 \text{ kJ.g}^{-1}$) a vzorkem odebraným první den po založení pokusu ($15,72 \text{ kJ.g}^{-1}$). Pokles netto energie v procentickém vyjádření při zvýšení o $1 \text{ }^\circ\text{C}$ činil 8,23 %. Následné zvyšování teplot způsobilo nárůst energie klíčení u dalšího odběru na hodnotu $16,58 \text{ kJ.g}^{-1}$. Při zvýšení teploty klíčení na $21 \text{ }^\circ\text{C}$ nebyly prokázány statisticky průkazné změny netto energie, neboť se hodnota obsahu energie zvýšila o 0,84 %. Tato teplota, jak konstatuje Basařová a kol. (1985), je optimální pro klíčení a dochází při ní k rychlejšímu rozluštění zrna a větší aktivitě enzymů rozkládajících energeticky bohatší látky jako jsou např. škrob a bílkoviny.

Graf 6. Změny hodnot netto energie ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) při klíčení odrůdy Jersey

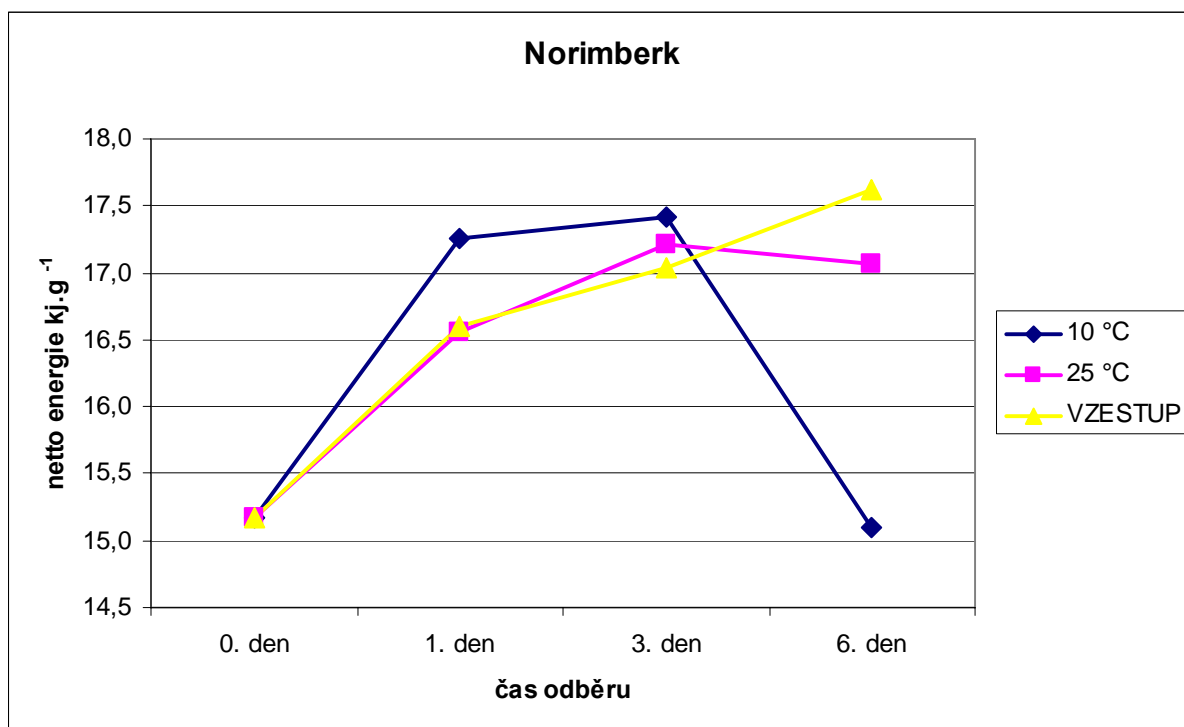


Rozpětí hodnot u obilek odrůdy Jersey bylo od $15,72 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (1. den) do $17,13 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (neklíčené), jak dokládá graf 6.

Obilky klíčící za konstantní teploty $25 \text{ }^\circ\text{C}$ měly na počátku pokusu hodnotu spalného tepla ve výši $16,51 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Uvedená hodnota je vyšší než udává Hnilička a kol. (2007), kteří uvádějí, že průměrná hodnota netto energie ječmene jarního je $15,76 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Uvedený rozdíl je patrně dán genotypovými rozdíly, neboť Golley (1961) uvádí, že obsah energie je dán funkcí genotypu a závisí na podmínkách prostředí. Po prvním dni klíčení se obsah energie zvýšil o $0,21 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, což je o 9,66 % více než u vzestupné varianty. Jak dále vyplývá z grafu 6., při dalších odběrech se obsah netto energie výrazně statisticky neměnil. Průměrná změna mezi jednotlivými odběry činila 1,18 %.

Varianta klíčících obilek při $10 \text{ }^\circ\text{C}$ prokazovala až do třetího dne odběru minimální odchylky od varianty $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (v průměru $0,15 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$). K výrazné diferenci došlo při posledním odběru, a to velmi výrazně, kdy obsah netto energie klesl na $15,16 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (10,98 %). Z uvedeného vyplývá, že odrůda Jersey hůře snáší dlouhodobější působení nízkých teplot při klíčení.

Graf 7. Změny hodnot netto energie ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) při klíčení odrůdy Norimberk



V grafu 7 je porovnáno klíčení historické odrůdy Norimberk, kdy obsah energie byl od $15,10 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (6. den odběru při teplotě $10 \text{ }^\circ\text{C}$) do $17,62 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ (6. den odběru při vzestupné teplotě). Martinková (2008) uvádí naměřené hodnoty spalného tepla u osiva jarních ječmenů $18,92 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Tyto výsledky nebyly prokázány, neboť u odrůdy Norimberk byla naměřena hodnota o $3,76 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ nižší. Počáteční hodnota $15,16 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ je totožná pro všechny tři varianty klíčení. Při vzestupné teplotě docházelo po prvním odběru při teplotě $16 \text{ }^\circ\text{C}$ k nárůstu netto energie o $1,44 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ na $16,60 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Nárůst pokračoval a třetí den odběru vzrostl oproti neklíčené formě o $12,40 \%$. Odrůda Norimberk pozitivně reagovala i na další zvyšování teplot, jak je vidět v grafu 6. Při posledním odběru ($21 \text{ }^\circ\text{C}$) se obsah spalného tepla zvýšil na $17,62 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Podobných výsledků dosáhl i Hruška a kol. (1975), který u naklíčeného ječmene jarního zjistil hodnotu netto energie $17,43 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

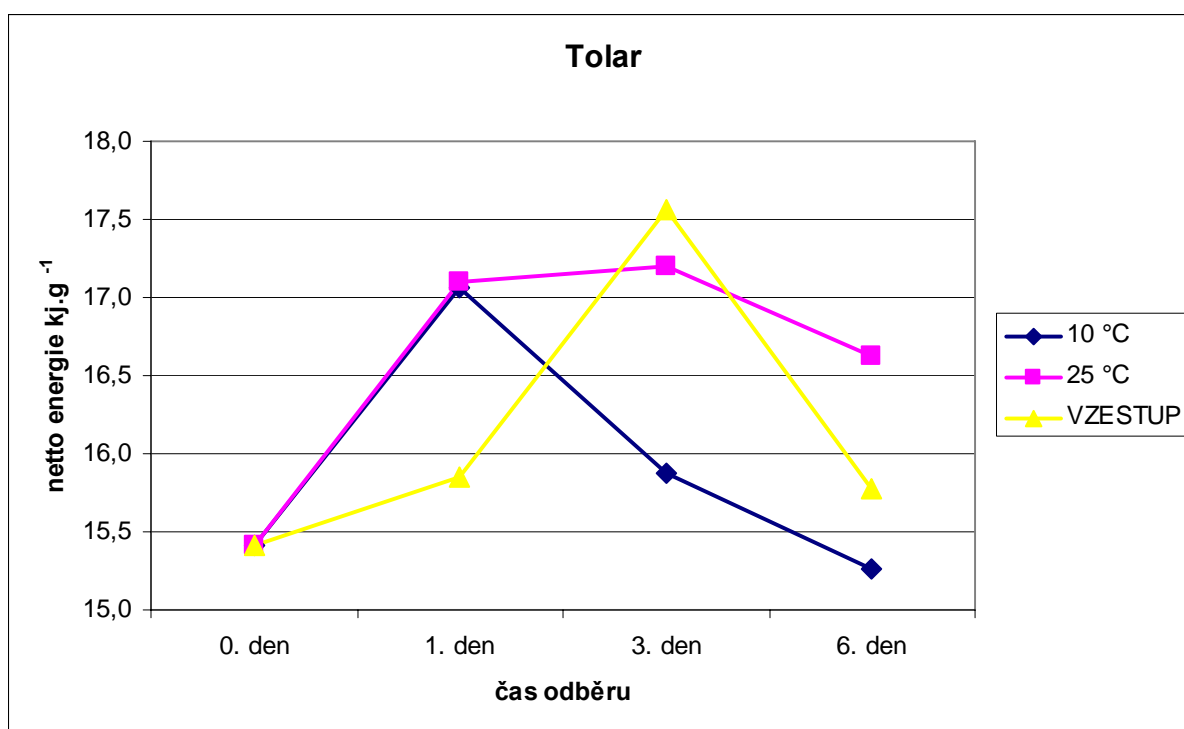
Klíčením obilek konstantní teplotou $25 \text{ }^\circ\text{C}$ nebyly naměřeny statisticky průkazné změny oproti klíčení vzestupnému. Šestý den po založení pokusu dosáhl obsah netto energie hodnoty $17,06 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$, což je oproti vzestupné teplotě rozdíl o $0,56 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

Při klíčení teplotou $10 \text{ }^\circ\text{C}$ byly stanoveny obdobné diference jako v případě odrůdy Jersey. První den klíčení se obsah spalného tepla zvýšil v porovnání s neklíčenými obilkami o $2,09 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a následně při druhém odběru byla naměřena hodnota $17,42 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Výrazné

snížení obsahu energie bylo zaznamenáno 6. den, kdy se snížila na hodnotu podobnou neklíčeným obilkám ($15,10 \text{ kJ.g}^{-1}$), což je pokles o 13,32 %. způsobené sníženou činností enzymů v důsledku delšího působení nižší teploty, jak tvrdí Kosař a kol. (1997).

Odrůda Norimberk vykazovala pozitivní změnu netto energie u vzestupné varianty a u varianty $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Prokázalo se však, že působení nízkých teplot po třetím dni klíčení má za následek výraznou ztrátu obsahu energie.

Graf 8. Změny hodnot netto energie (kJ.g^{-1}) při klíčení odrůdy Tolar



Třetí testovaná odrůda ječmene jarního Tolar měla 0. den obsah energie $15,42 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Klíčením obilek vzestupnou teplotou docházelo k nárůstu netto energie až do třetího dne odběru. Tento závěr byl potvrzen prací Martinkové (2008) s jarními ječmeny.

Při teplotě $16 \text{ }^\circ\text{C}$ byla zjištěna hodnota o $0,43 \text{ kJ.g}^{-1}$ vyšší než u neklíčících obilek. Při následném odběru ($18 \text{ }^\circ\text{C}$) hodnoty spalného tepla průkazně vzrostly až na $17,56 \text{ kJ.g}^{-1}$, což je o 13,88 % více než u neklíčících obilek. Po třetím dnu následoval statisticky průkazný pokles energie klíčení o $1,86 \text{ kJ.g}^{-1}$ až na hodnotu naměřenou šestý den pokusu ($15,77 \text{ kJ.g}^{-1}$).

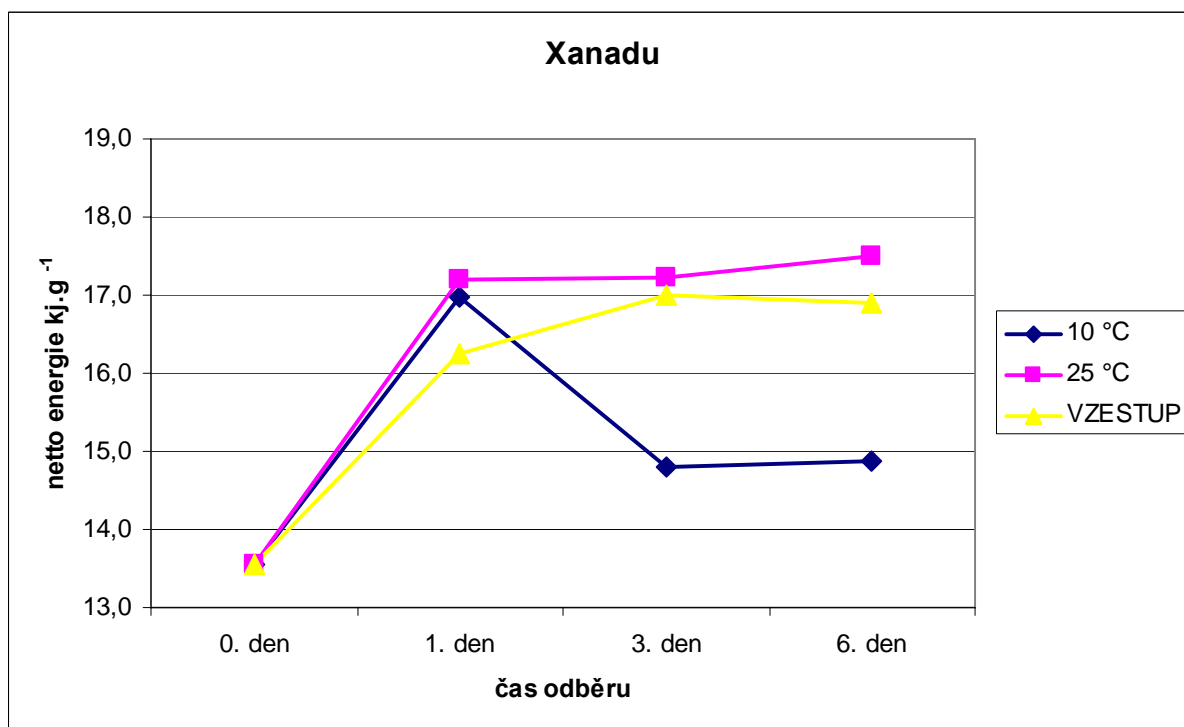
U klíčení konstantní teplotou $25 \text{ }^\circ\text{C}$ byla zaznamenána změna v obsahu energie po prvním dni klíčení o 10,90 % na obsah $17,10 \text{ kJ.g}^{-1}$. V následných termínech měření nebyly zaznamenány průkazné difference. Průkazné difference byly zaznamenány až 3. den pokusu,

jak dokládá graf 8. Pokles netto energie nebyl tak výrazný ve srovnání s variantou vzestupnou. Činil $0,57 \text{ kJ.g}^{-1}$ a obsah spalného tepla po šesti dnech klíčení byl $16,63 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Po prvním dni klíčení teplotou $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ obsah energie klíčících obilek stoupal stejně jako u předchozích a byl srovnatelný s variantou $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$, jak dokumentuje graf 8. Naopak při následujícím odběru se hodnoty průkazně lišily u všech tří teplot, kdy interval hodnot byl od $15,87 \text{ kJ.g}^{-1}$ (10°C) do $17,56 \text{ kJ.g}^{-1}$ (vzestupná teplota). V případě odrůdy Tolar byl zaznamenán pokles obsahu energie klíčících obilek při teplotě $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ a trval až do posledního dne pokusu na hodnotu $15,27 \text{ kJ.g}^{-1}$.

Odrůda Tolar z počátku zvyšovala poměrně rychle obsah energie, ale později došlo u všech tří variant k poklesu. Tento výsledek se shoduje s tvrzením Basařové a kol. (1985), která tvrdí, že tento jev je způsobeno rychlou přeměnou látek v prvních fázích klíčení a zpomalením ostatních důležitých pochodů (aktivity enzymů atd.) v pozdější fázi

Graf 9. Změny hodnot netto energie ($\text{kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) při klíčení odrůdy Xanadu



Změny netto energie středně rané sladovnické odrůdy Xanadu klíčením obilek při odlišných teplotách je znázorněné v grafu 9.

Z něho vyplývá, že počáteční hodnota spalného tepla $13,54 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ se zvyšovala v dalším průběhu klíčení u všech třech variant podobně. Kumar (1994) uvádí, že celková tendence akumulace energie v rostlině je rostoucí funkcí času, což je potvrzeno při klíčení teplotou $25 \text{ }^\circ\text{C}$ a vzestupnou teplotou i po šesti dnech klíčení. Nejnižší nárůst energie byl u klíčících obilek zaznamenán při vzestupných teplotách, kdy obsah energie činil po prvním odběru $16,24 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Třetí den po založení pokusu se obsah netto energie u vzestupné varianty zvýšil o $0,77 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$ a během následného odběru při teplotě $21 \text{ }^\circ\text{C}$ již nebyly zaznamenány statisticky průkazné změny v obsahu netto energie, neboť obsah energie se zvýšil oproti neklíčeným obilkám o $24,98 \%$ na hodnotu $16,91 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$.

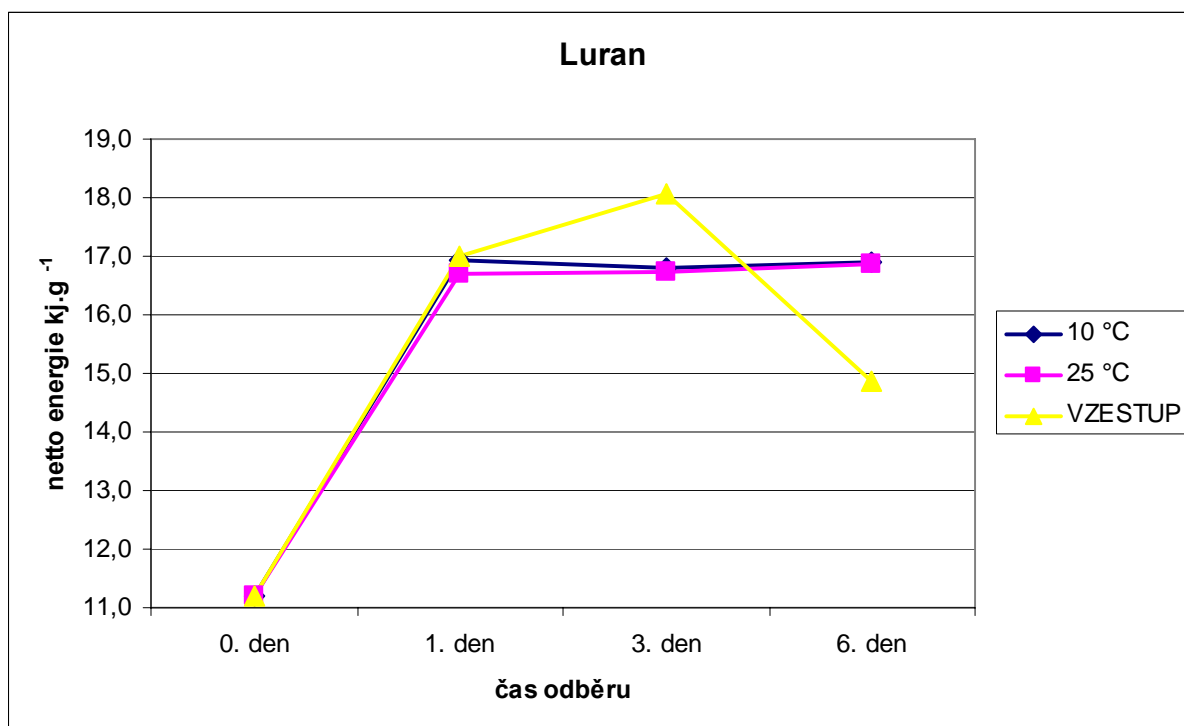
Obilky klíčící při teplotě $25 \text{ }^\circ\text{C}$ dosahovaly hodnoty energie klíčení první den $17,20 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$. Další dny se obsah netto energie zvyšoval jen nepatrně a po šesti dnech byl obsah netto energie ($17,50 \text{ kJ}\cdot\text{g}^{-1}$) pouze o $1,7 \%$ vyšší než první den odběru.

U obilek vedených konstantní teplotou $10 \text{ }^\circ\text{C}$ bylo zaznamenáno výrazné snížení spalného tepla mezi prvním a třetím dnem klíčení. Tento jev dle Prášila (2009) je způsoben nízkými teplotami, které zpomalují kinetiku chemických i enzymatických reakcí. Rozdíl mezi

naměřenými hodnotami byl $3,17 \text{ kJ.g}^{-1}$. V dalším průběhu hodnota $14,80 \text{ kJ.g}^{-1}$ (3. den) nezaznamenala výraznější diference a při posledním odběru činil nárůst spalného tepla pouhých $0,41 \%$.

Jarní odrůda Xanadu reagovala podobně jako předchozí jarní odrůdy negativně na dlouhodobější působení nízkých teplot.

Graf 10. Změny hodnot netto energie (kJ.g^{-1}) při klíčení odrůdy Luran



V grafu 10. jsou patrné změny energie klíčení u jediné testované ozimé odrůdy Luran.

Ozimá odrůda dosahovala u nevyklíčených obilek velice nízkou hodnotu spalného tepla ($11,18 \text{ kJ.g}^{-1}$), což se neshoduje se závěry Hniličky a kol. (2007), kteří uvádí pro ozimý ječmen průměrný obsah energie ve výši $15,85 \text{ kJ.g}^{-1}$. Tyto změny obsahu jsou způsobené různým zastoupením látek v obilkách dle genotypu odrůdy. Po prvním dni klíčení byly zaznamenány statisticky průkazné diference u všech variant pokusu, kdy se u všech teplot výrazně zvýšil obsah energie v průměru cca o $50,9 \%$. U vzestupné teploty tento trend byl zaznamenán i v následujícím odběru. V tomto termínu měření byl obsah energie $18,06 \text{ kJ.g}^{-1}$. Na konci sledovaného období, při teplotě 21 °C se obsah netto energie snížil o $3,18 \text{ kJ.g}^{-1}$ na $14,88 \text{ kJ.g}^{-1}$. Tento jev byl způsoben dosažením optimální teploty pro klíčení a rychlejším rozkladem energeticky cenných látek (Procházka a kol., 1998).

Varianty při konstantních teplotách 10 a 25 °C měly téměř identický průběh. Po statisticky průkazném navýšení spalného tepla po prvním dni klíčení byl nárůst obsahu energie ve výši 16,80 kJ.g⁻¹ (25 °C) a 16,93 kJ.g⁻¹ (10 °C). U odběrů třetí a šestý den po založení pokusu nebyly statisticky prokázány změny netto energie, jak dokumentuje graf 10.

Ozimá odrůda Luran jako jediná snáší pozitivně působení nižších teplot při klíčení po delší dobu a po třetím dni u ní nedochází k poklesu energie klíčení. Naopak hůře reagovala na variantu vzestupnou, podobně jako odrůda Tolar u níž způsobil pokles spalného tepla rozklad energeticky bohatších látek (Hejnák, 2003).

5.3. Rychlost klíčení

V tabulce 3. je dokumentován vliv teplot na procento vyklíčených obilek ve třech termínech odběru při třech různých způsobech vedení klíčení. Nejméně obilky klíčily při teplotě 10 °C, při níž např. odrůda Luran po šesti dnech klíčení zaznamenala hodnotu pouhých 4 % vyklíčených obilek, což je v porovnání s odrůdou Tolar, která měla hodnotu poslední den klíčení 38 %, o 17 ks méně. Relativně dobře klíčila i historická odrůda Norimberk s 28 %. Oproti tomu nové odrůdy Xanadu a Jersey při nízkých teplotách nebyly schopny vyklíčit. Při nízkých teplotách, jak konstatuje Wehid (2007) dochází k horšímu hospodaření s vodou a následně i k horšímu klíčení semen. Tento závěr byl potvrzen také v případě testovaných odrůd ječmene..

Tab. 3. Klíčivost uvedená v procentech

Odrůda	Teplota klíčení	% vyklíčených obilek		
		1 den	3 den	6 den
Jersey	10 °C	0	4	8
	25 °C	20	80	94
	vzestupná teplota	0	12	70
Norimberk	10 °C	0	0	24
	25 °C	0	66	70
	vzestupná teplota	0	18	74
Xanadu	10 °C	4	6	8
	25 °C	0	90	92
	vzestupná teplota	0	40	76
Tolar	10 °C	0	4	38
	25 °C	24	96	98
	vzestupná teplota	0	60	78
Luran	10 °C	0	0	4
	25 °C	0	60	60
	vzestupná teplota	0	10	92

Při klíčení vzestupnou teplotou docházelo k vyšší aktivitě již třetí den po založení pokusu. V tomto období nejlépe klíčily odrůdy Norimberk (18 %), Xanadu (40 %) a Tolar (60 %). Naopak nejhůře odrůda Jersey a Luran. U odrůdy Luran při druhém odběru vyklíčilo

pouze 10 % obilek. V případě této odrůdy se podíl vyklíčených obilek zvýšil při zvyšující se teplotě až na 92 %. Šestý den se pohybovaly hodnoty klíčení od 70 % (Jersey) až po 92 % (Luran). Tyto výsledky nesouhlasí s Prugarem (2008), která ve svých pokusech zjistil hodnotu klíčivosti u odrůdy Jersey 98 %.

Nejlépe klíčily současné jarní sladovnické odrůdy při teplotě 25 °C, což se shoduje s tvrzením Procházky (1998), který uvádí, že optimum pro klíčení se pohybuje okolo teploty 20 °C. Odrůda Tolar dosáhla hodnoty 98 % vyklíčených obilek po šesti dnech klíčení. Tato odrůda měla poměrně vysoké procento již první den po založení pokusu, a to 24 %. Podobně reagovala i odrůda Jersey (20 %). Zbývající odrůdy začaly klíčit až třetí den pokusu. Poslední den dosáhla nejvyšší hodnoty, jak již bylo uvedeno, odrůda Tolar, dále odrůda Jersey 94 % a odrůda Xanadu 92 %. Basařová a kol. (1985) ve svých pokusech zjistila, že pro sladovnické potřeby je požadovaná klíčivost 98 %. Těchto hodnot dosáhla pouze odrůda Tolar. Velmi nízkých hodnot dosáhla ozimá odrůda Luran, a to pouhých 60 % vyklíčených obilek.

6. Závěry

V bakalářské práci bylo cílem zjistit změny obsahu netto energie v průběhu klíčení u obilí ječmene spalnou kalorimetrickou metodou a dále zjistit klíčivost vybraných odrůd, které klíčili při třech různých teplotách. Na základě stanovených hypotéz, je možné formulovat tyto závěry:

1. Mezi sledovanými odrůdami byly naměřeny průkazné diference v obsahu energie v závislosti na genotypu
2. Nejnižší průměrný obsah energie byl stanoven u odrůdy Luran ($11,18 \text{ kJ.g}^{-1}$) a naopak nejvyšší u odrůdy Jersey ($17,13 \text{ kJ.g}^{-1}$).
3. Nejnižší obsah netto energie byl naměřen u jarní sladovnické odrůdy Tolar jehož průměrná hodnota činila po šesti dnech klíčení v průměru $15,88 \text{ kJ.g}^{-1}$.
4. Nejvyšší obsah netto energie byl zjištěn u historické odrůdy Norimberk. Průměrná hodnota spalného tepla činila $16,55 \text{ kJ.g}^{-1}$.
5. Obsah energie byl ovlivněn také teplotou, kdy nejnižší obsah netto energie byl zjištěn při teplotě 10 °C ($15,46 \text{ kJ.g}^{-1}$). Oproti tomu nejvyšší obsah energie byl naměřen při klíčení teplotou 25 °C ($17,08 \text{ kJ.g}^{-1}$).
6. V testu klíčivosti bylo zjištěno, že nejlépe klíčila odrůda Tolar, která dosáhla hodnoty 98 % při klíčení teplotou 25 °C .
7. Nejnižších hodnot klíčivosti dosáhla historická odrůda Norimberk. Ta nejlépe klíčila při klíčení vzestupnou teplotou a činila pouhých 74 %.

8. Klíčivost byla výrazně ovlivněna teplotou. Nejvyšších hodnot dosahovala klíčením při 25 °C (82,8 %) oproti tomu klíčením při teplotě 10 °C byla zjištěna průměrná klíčivost pouhých 16,4 %.

7. Použitá literatura

1. Basařová, G., Čepička J. 1985. Sladařství a pivovarnictví. SNTL Praha, 256 s.
2. Benech-Arnold, R. L., Sánchez, R. A. 1984. Handbook of seed physiology. Food product press, New York, 480 p.
3. Bewley, J. D., Blaf, M. 1994. Seeds. Physiology of development and germination. Plenum press, New York. 426 p.
4. Bláha, L., 2009. Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 390 s
5. Bláha, L., Hnilička, F., Martinková, J. 2010. Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin, Praha, 310 s.
6. Bláha, L., Bocková, R., Hnilička, F., Holubec, V., Hniličková, H., Millerová, J., Štolcová, J., Zieglerová, J. 2003. Rostlina a stres. VÚRV, Praha, 156 s,
7. Boivin, P., Kolch, S., Clamagirand, V. 1995. Bios. Boissons conditionnement, 119 – 124 s.
8. Černý, L., Vašák, J., Křováček, J., Hájek, M. 2007. Jarní sladovnický ječmen. Kurent, České Budějovice, 44 s.
9. Dörffling, K. 1997. Pflanzenernährung. Bodenkd. 3 – 14 s.
10. Dostál, J. 1989. Nová květena ČSSR. 2. Academia, Praha, 1563 s.
11. Elen, O. 2002. Plant production in spring cereal production with reduced tillage. III. Cereal diseases. Crop Prot, 21. 195 – 201 p.
12. Fernandez, D. E., Staehelin, L. A. 1987. Planta, 165 s.
13. Golley, F. B. 1961. Energy values of ecological materials. Ecology, 42. 3. 581 – 584 p.
14. Hajnalová, E., 1999. Archeobotanika pestovaných rostlin. Slovenská poľnohospodárska univerzita Nitra, 104 s.
15. Hale, M. G., Orcutt, D. M. 1987. The physiology of plants under stress. John Wiley and Sons, New York, 450 p.
16. Hejnák, V. 2003. Využití izotopové metody (^{15}N), spalné kalorimetrie a gazometrie v produkční fyziologii ječmene jarního a špenátu setého. ČZU, Praha, 26 – 36 s.

17. Hnilička, F., Hniličková, H., Martinková, J., Vaculová, K. 2007. Energetické srovnání odrůd vybraných obilovin, In: 29. mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář, Univerzita Pardubice, Pardubice, 155 – 158 s.
18. Hruška, L., Jeníček, J., Bednářová, E. 1975. Jak naše hlavní plodiny využívají sluneční energii. Úroda, 17, 145 s.
19. Chloupek, O. 2008. Genetická diverzita, šlechtění a semenářství. Academia ČMT, Praha, 307 s.
20. Kohoutová, V. 2008. Produkce ječmene ve světě a u nás. Farmář, 8. 11. 20 – 23 s.
21. Kosař, K., Procházka, S. 2000. Technologie výroby sladu a piva, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha, 398 s.
22. Kosař, K., Prokeš, J., Psota, V., Onderka, M., Váňová, M. 1997. Kvalita sladovnického ječmene a technologie jeho pěstování. ÚZPI, Praha, 45 s.
23. Kumar, J. 1994. Vliv vonkajších faktorů na tvorbu sušiny a akumulaci energie v rostlinách. VŠZ, Praha, 94 s.
24. Larcher, W. 1988. Fyziologická ekologie rostlin, Academia, Praha, 368 s.
25. Larcher, W. 1995 Physiological plant ecology. Plants under stress. Springer, Austria. 513 p
26. Lekeš, J. 1997. Šlechtění obilovin na území Československa. 1. vyd. Brázda, Praha 279 s.
27. Luštinec, J., Žárský, V. 2003. Úvod do fyziologie rostlin. Karolinum, Praha, 261 s.
28. Martínková, J., Hnilička, F., Hejnák, V. 2008. Změny obsahu energie v průběhu klíčení obilok ječmene jarního s rozdílnou záhlavkou. In: 30. Mezinárodní český a slovenský kalorimetrický seminář, Univerzita Pardubice, Pardubice.
29. Ministerstvo zemědělství ČR. 2008. Situační a výhledová zpráva – Obiloviny prosinec 2008. MZE ČR, Praha, 98 s.
30. nou.ukzuz.cz/ido/. Aktualizováno 10.4.2010
31. Peza, Z. 2007. Herbicidní ochrana a výživa ječmene – novinky v nabídce. Obilnářské listy, 15. 1. 8 – 9 s.
32. Pišanová, J., Klír, J. 2008. Výživa obilnin. Farmář, 8. 3. 18 – 20 s.
33. Polák, B., Váňová, M., Onderka, M., 1998. Základy pěstování a zpracování sladovnického ječmene. Institut výchovy a vzdělání Ministerstva zemědělství České republiky, Praha, 38 s.
34. Psota, V., Šebánek, J. 1999. Role fytohormonů v klíčení a sladování. ÚZPI, Praha, 53 s.

35. Prášil, I. T., Vítámvás, P., Kosová, K., Prášilová, P., Zelenková, S. 2009. Současné možnosti zvyšování odolnosti plodin vůči stresu mrazu a chladu. In: Současné možnosti fyziologie a zemědělského výzkumu přispět k produkci rostlin (vybrané kapitoly), Praha, 69 – 83 s.
36. Procházka, S., Macháčková, I., Krekule, J., Šebánek, J. a kol. 1998. Fyziologie rostlin. Academia, Praha, 484 s.
37. Prugar, J., 2008. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí, Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, Praha, 327 s.
38. Šuškevič, M. 2008 a. Racionální agrotechnika pěstování ječmene jarního – IV, Agro magazín, 9. 4. 20 – 22 s.
39. Šuškevič, M. 2008 b. Racionální agrotechnika pěstování ječmene jarního – V, Agro magazín, 9. 5. 14 – 16 s.
40. Trnka, Z. 2004. Metodika zkoušení osiva a sadby. Ministerstvo zemědělství, Praha, 139 – 292 s.
41. Vaněk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin, Profi press, Praha, 176 s.
42. Vavera, R. 2007. Ovlivnění kvalitních parametrů zrna ozimé pšenice. Farmář, 7. 12 – 14 s.
43. Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M., Doklad, M. R. 2007. Heat tolerance in plants. Environmental and Experimental botany, 199 – 223 p.
44. Zimolka, J. 2006. Ječmen – formy a užitkové směry v České republice. Profi press, Praha, 200 s.