

LABORATORNÍ PŘÍSTROJE A POSTUPY

STATISTICKÉ HODNOCENÍ ANALYTICKÝCH ZNAKŮ KOMPOZITNÍCH SMĚSÍ NA BÁZI PŠENIČNÉ MOUKY

IVAN ŠVEC a MARIE HRUŠKOVÁ

*Ústav sacharidů a cereálií, Vysoká škola chemicko-
technologická v Praze, Technická 5, 166 28 Praha 6
Ivan.Svec@vscht.cz*

Došlo 22.8.16, přijato 29.9.16.

Klíčová slova: kompozitní pšeničná mouka, netradiční
plodina, číslo poklesu, Zelenyho test, retenční kapacita

Úvod

V současné době se cereální výzkum orientuje na přírodní zdroje zdraví prospěšných látek, jako jsou vláknina, vitaminy, fytoosteroly a polyfenoly, které mohou pomoci předcházet některým civilizačním chorobám (např. hyperlipidemii). Uvedený trend je spojen s objevováním rostlin, jejich semen a plodů, typických pro minulé civilizace či lokální etnické skupiny. Převážně se jedná o bezlepkové suroviny, které mohou rozšířit nabídku výrobků pro nemocné celiakii nebo jinou formou intolerance lepku. V souvislosti se současnou migrační vlnou může poptávka po výrobcích z těchto plodin stoupat¹.

Podle chemického složení jsou tyto materiály jako např. chia, konopí nebo nopál zdrojem nutričně cenných látek, jako vláknina (cca 8 % a 5–6 % v semenech tef² a fonia³, 34 % v semenech chia⁴), ω -3 mastné kyseliny (konopí, chia), vitaminy (B₁ a E v konopné mouce). Významný podíl minerálních látek, tvořících až 15 % sušiny, lze nalézt v nopálové mouce – převažuje draslík a vápník⁵.

Cílem práce bylo hodnotit proporcionální změny v chemickém složení pšeničné mouky hladké vlivem tří různých přísadků sedmi druhů netradičních materiálů (mouky z tef, fonia, chia, nopálu, kaštanů, konopí a žaludů). Posuzoval se vliv na rychlost procesu mazovatení (číslo poklesu) a na kvalitu bílkovin (Zelenyho test). Pomocí profilu čtyř retenčních kapacit byly podrobně popsány absorpční vlastnosti testovaných materiálů ve formě kompozitních mouk. Např. pomocí retenčních kapacit sacharosy a uhličitane sodného byl odhadnut vliv netradičních plodin na stupeň poškození škrobu a obsah pentosanů. Statisticky byl porovnán a kvantifikován dopad obou sledovaných faktorů na analyticko-technologickou kvalitu kompozitní směsi.

Experimentální část

Materiál a metody

Základem kompozitních směsí byla pšeničná mouka hladká z produkce komerčního mlýna Delta Praha, vyrobená v roce 2015. Obsah bílkovin (11,2 %) byl stanoven na IR spektrofotometru Inframatic 8600 (Pertin Instruments, Švédsko). Testované netradiční suroviny byly zakoupeny ve specializovaných obchodech ve formě hladké mouky. Pouze chia a fonio byly získány ve formě černých a hnědých semen, která byla semleta na celozrnnou mouku v laboratorních podmínkách (nožový mlýnek Concept KM 5001, Elko Valenta, Česká republika). Celozrnná mouka ze světlých semen tef byla dodána firmou Tobia Teff UK (Velká Británie), která surovinu získává v Etiopii. Tmavá semena fonia a černá chia byla od firmy Gaia (Francie) a Countryl Life CZ s původem v Burkina Faso, resp. v Mexiku. Konopná mouka pocházející z pokrutin byla vyrobena firmou Hanf Natur (SRN). Kaštanovou mouku produkuje firma Sonnentor GmbH. (Rakousko), nopálovou Salvia Paradise (Česká republika) a žaludovou prodává Bioochod CZ (Česká republika).

Přidávky netradičních surovin nahradily 2,5 %, 5,0 % a 10,0 % pšeničného základu; zkratky kombinují výši přísadku a zkratku netradiční plodiny (F – fonio, Ch – chia, Ka – kaštan, K – konopí, N – nopál, T – tef, Ž – žalud), tj. 5,0F označuje směs pšeničné a fonio mouky v poměru 95:5 (w/w).

Modifikované chemické složení 21 kompozitních vzorků bylo porovnáno se znaky pšeničné mouky, stanovených analyticky; kvalita bílkovin pomocí Zelenyho sedimentačního testu a stupeň poškození škrobu číslem poklesu (ČSN ISO 5529 a ČSN ISO 3039). Byl stanoven profil čtyř retenčních kapacit⁶ (RK; metoda AACC 56-11.02) pomocí destilované vody (RKv) a roztoků sacharosy (RKs), uhličitane sodného (RKu) a kyseliny mléčné (RKm). Kweon a spol.⁷ uvádí vztah RKm k celkové absorpční schopnosti a RKs, RKu a RKm k podílu poškozeného škrobu, resp. pentosanů a gluteninových bílkovin. Opakovatelnost všech zkoušek byla vypočtena z deseti měření nezávislého vzorku pšeničné mouky (směrodatné odchylky 0,29; 0,81; 0,67; 0,87).

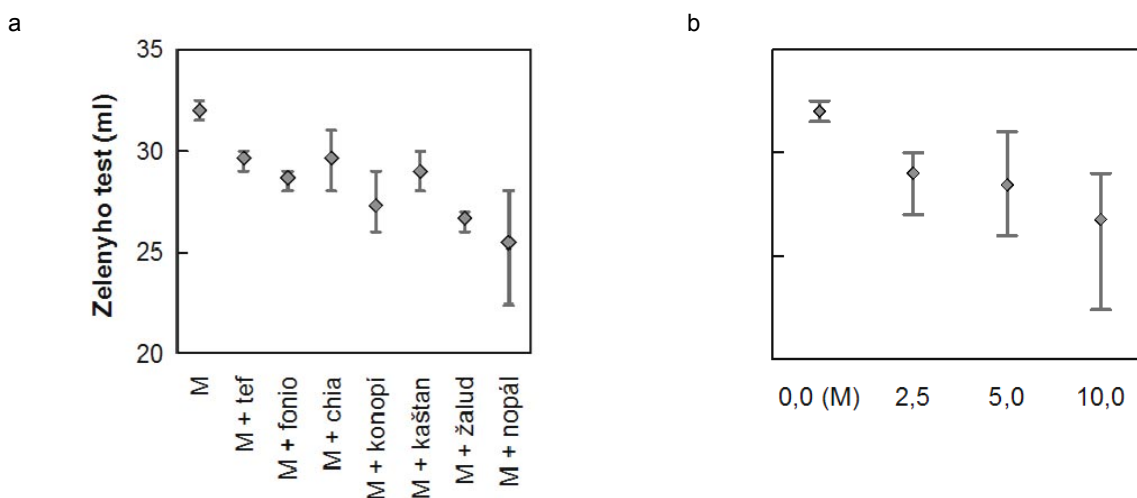
Vlivy druhu netradiční plodiny a výše přísadku byly statisticky popsány pomocí post-hoc Tukeyova testu ($P = 95\%$) v programu Statistica 7.1 (Statsoft, USA). Kvantifikace podílu těchto vlivů jako náhodných faktorů byla provedena modulem *Komponenty rozptylu*. Pro komplexní průzkum stejných činitelů byla ve stejném programu použita vícerozměrná metoda shlukové analýzy (HCA) ze standardizovaných dat. Pro shlukování byl vybrán euklidovský prostor a algoritmus *Úplné shlukování* (angl. *Complete* nebo *Furthest neighbour*). Důvodem tohoto postupu je možnost jednoznačné identifikace členů jednotlivých shluků jako v předchozím případě⁸.

Výsledky a diskuse

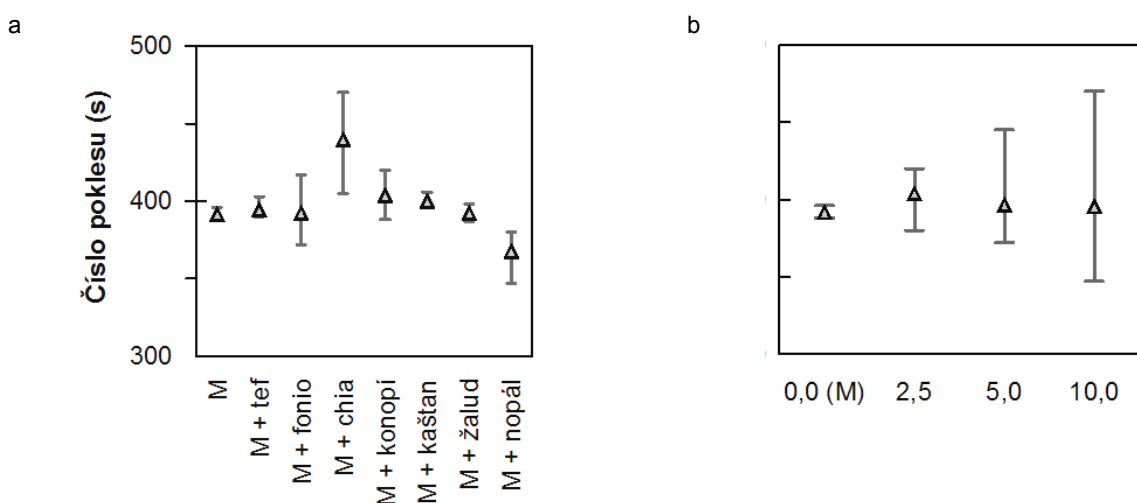
Vliv netradičních plodin na kvalitu složek pšeničné mouky

Vliv dílčí náhrady pšeničné mouky sedmi netradičními plodinami na hodnoty Zelenyho testu je ilustrován na obr. 1. Celkově bylo snížení kvality bílkovin mírné s výjimkou kaštanové a nopálové mouky, největší změny podle očekávání způsobily 10% přídavky. Obecně rostoucí míra substituce způsobila jednoznačný trend ve snížení objemů jednotlivých sedimentů. Výše přídavku tef a fonia měla na Zelenyho hodnoty minimální vliv, potvrdila se botanická příbuznost a podobnost bílkovinných struktur.

Největší rozptyl dat byl naopak pozorován pro nopálovou mouku. Změny v odhadnuté aktivitě α -amylasy a stupni poškození škrobu byly patrné ve větším rozsahu (obr. 2). Díky přesnosti stanovení ± 25 s lze průkazně odlišit pouze vzorky M, 10,0Ch a 10,0N (392, 470 a 347 s). Nezávisle na výši přídavku se průměrná hodnota čísla poklesu v jednotlivých skupinách kompozitních mouk proti kontrole nezměnila, tedy výše přídavku ani druh plodiny sumárně neměly průkazný vliv na podíl poškozeného škrobu. V tomto ohledu výjimečné postavení potvrdily kompozitní vzorky s chia moukou, která svými hydrofilními schopnostmi postupně číslo poklesu zvyšovala na 405, 445 a 470 s (viskozita suspenze rostla). Obohacení konopnou moukou v nejnižším přídavku ČP neprůkazně zvýšilo na



Obr. 1. Vliv druhu (a) a výše přídavku netradičních plodin (b) na rozptyl hodnot Zelenyho testu. M – pšeničná mouka



Obr. 2. Vliv druhu (a) a výše přídavku netradičních plodin (b) na rozptyl hodnot čísla poklesu. M – pšeničná mouka

Tabulka I

Statistické hodnocení vlivů druhu a výše přídatku netradiční plodiny na profil retenčních kapacit (RK)

Kompozitní mouka	Přídavek [%]	RK vody ^a [%]	RK sacharosy ^a [%]	RK uhličitanu ^a [%]	RK kys. mléčné ^a [%]
M	0,0	64,9 c	107,9 bcde	85,0 bc	130,8 lm
M + tef	2,5	58,1 a	108,7 bcde	81,0 a	129,3 klm
	5,0	66,1 cde	105,1 b	85,0 bc	115,2 ef
	10,0	66,7 def	122,4 i	92,7 d	109,8 d
M + fonio	2,5	65,9 cde	109,3 bcde	81,8 ab	126,5 jkl
	5,0	65,7 cde	106,0 bc	80,5 a	122,0 hij
	10,0	68,1 fg	104,8 b	81,5 ab	115,6 efg
M + chia	2,5	71,1 i	117,2 gh	94,5 d	132,6 mn
	5,0	83,9 l	121,7 hi	103,5 e	135,9 n
	10,0	128,1 n	128,9 j	113,3 f	117,5 fgh
M + konopí	2,5	69,0 gh	112,0 ef	84,0 abc	128,0 klm
	5,0	61,0 b	109,0 bcde	81,0 a	108,0 d
	10,0	60,0 b	107,0 bcd	82,0 ab	95,0 b
M + kaštan	2,5	67,1 ef	111,6 de	82,9 ab	125,1 ijk
	5,0	69,3 gh	109,3 bcde	82,1 ab	120,4 ghi
	10,0	69,8 hi	106,0 bc	83,2 abc	107,6 d
M + žalud	2,5	69,7 ghi	110,4 cde	87,0 c	98,6 bc
	5,0	66,1 cde	107,6 bcde	83,5 abc	120,8 hi
	10,0	65,4 cd	110,0 cde	82,8 ab	122,2 hij
M + nopál	2,5	73,2 j	115,9 fg	91,5 d	112,5 de
	5,0	78,2 k	117,6 gh	104,6 e	101,2 c
	10,0	125,6 m	88,6 a	121,2 g	86,7 a
Variabilita ^b		a – n (54 %)	a – j (39 %)	a – g (27 %)	a – n (54 %)
Opakovatelnost		0,29	0,81	0,67	0,87

^a a–n: průměry ve sloupcích označené různými písmeny jsou statisticky odlišné ($P = 95 \%$). ^b Maximální variabilita, a – v (22 homogenních skupin, tj. 22 vzorků) představuje odlišení ze 100 %

420 s, ale vyšší podíly hodnoty způsobily pokles až o 8,0 %. Mírné snížení vyvolala také fortifikace nopálovou moukou – pro kompozitní směsi obsahujících 2,5 – 5,0 – 10,0 % byly stanovené hodnoty 380, 377 a 347 s.

Profil čtyř RK, zpracovaných analýzou rozptylu, ukázal schopnost RKv a RKm odlišit vzorky z cca 54 % (tab. I). Retence vody rostoucí jednoznačně s výší přídatku se projevila pro směsi s chia nebo nopálem, jak potvrzují Hrušková a spol.^{9,10} viskozimetrickým měřením. Slabší zvýšení hodnoty RKv způsobily rovněž přídatky tef a fonia, opačný trend byl zaznamenán pro kompozitní mouky s konopím a žaludovou moukou (pravděpodobná souvislost s vyšším obsahem tuku). Významně nižší hodnoty retenčních kapacit vlivem vyššího obsahu tuku byly prokázány mezi celozrnnou konopnou moukou (tj. s původním obsahem tuku) a komerční odtučněnou mou-

kou, přidaných do pšenično-ječného základu¹¹. Míra absorpce vody kaštanovou moukou závisí podle článků^{12,13} na teplotě sušení; teploty vyšší než 85 °C způsobují vyšší vaznosti při přípravě těsta. Tef a chia vyvolaly pozitivní změnu RKs i RKu, což signalizuje zvýšené množství poškozeného škrobu a pentosanů. Žaludová mouka na obsah těchto složek působila protichůdně – hodnoty RKs se snížily až o 24 %, zatímco pro RKu nastal nárůst až o třetinu (z 91,5 až na 121,2 %, tab. I). Kvalita bílkovin s rostoucím podílem alternativní složky klesala v různém rozsahu podle druhu testované suroviny, nejméně, resp. nejvíce pro směsi M+F nebo M+Ch a M+K (–9 %, –11 % a –23 %). Hodnoty RKm pro kompozity obsahující žaludovou mouku naopak neočekávaně vzrostly z 98,6 % na 120,8 % a 122,2 % (vzorky 2,5N, 5,0N a 10,0N, tab. I; celkově +24 %).

Analýza rozptylu dat vlivem druhu netradiční plodiny a výše přídavku

Podle výsledků testů významnosti je patrné, že význam faktorů druh netradiční plodiny (složení kompozitní mouky), výše přídavku a jejich interakce klesal v uvedeném pořadí (tab. IIa). Úzké rozpětí hodnot Zelenyho testu a čísla poklesu způsobilo zhruba třetinovou chybu

Tabulka II

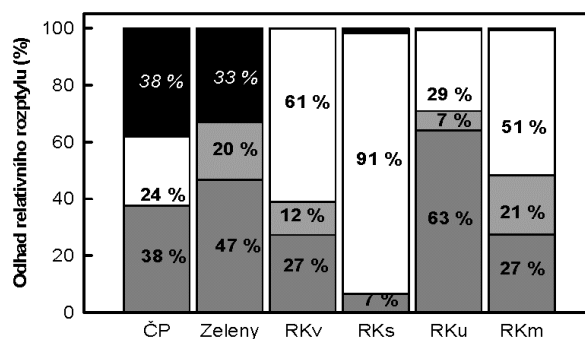
Vícerozměrné testy významnosti – vliv faktorů druh netradiční plodiny (DP) a Přídavek (PŘ) a jejich interakce (DP × PŘ)

Faktor	F-hodnota	P ^a
<i>a) celkové porovnání vlivu faktorů (Wilksův test)</i>		
DP	6487,0	0,000***
PŘ	2390,0	0,014**
DP × PŘ	2284,0	0,045*
<i>b) komponenty rozptylu pro jednotlivé kvalitativní znaky (F-test)</i>		
<i>Číslo poklesu</i>		
DP	3,4	0,030**
PŘ	0,4	0,673
DP × PŘ	2,3	0,045
<i>Zelenyho test</i>		
DP	7,9	0,001***
PŘ	10,5	0,002**
DP × PŘ	0,9	0,569
<i>RK vody</i>		
DP	2,2	0,106
PŘ	2,3	0,140
DP × PŘ	2610,7	0,000***
<i>RK sacharosy</i>		
DP	1,2	0,373
PŘ	0,2	0,850
DP × PŘ	99,8	0,000***
<i>RK uhličitanu</i>		
DP	6,8	0,001***
PŘ	2,7	0,111
DP × PŘ	90,4	0,000***
<i>RK kys. mléčné</i>		
DP	2,4	0,083
PŘ	3,9	0,050*
DP × PŘ	124,2	0,000***

^a *, **, *** – F-hodnota významná na hladině pravděpodobnosti $P = 95 \%$, 99% a $99,9 \%$

v odhadu podílu faktorů druh netradiční plodiny a výše přídavku. Pro oba jakostní parametry jinak dominoval druh testované plodiny; pro Zelenyho test se statisticky potvrdil význam výše přídavku, pro číslo poklesu měla také význam slabší interakce obou činitelů ($P = 95 \%$, tab. IIb).

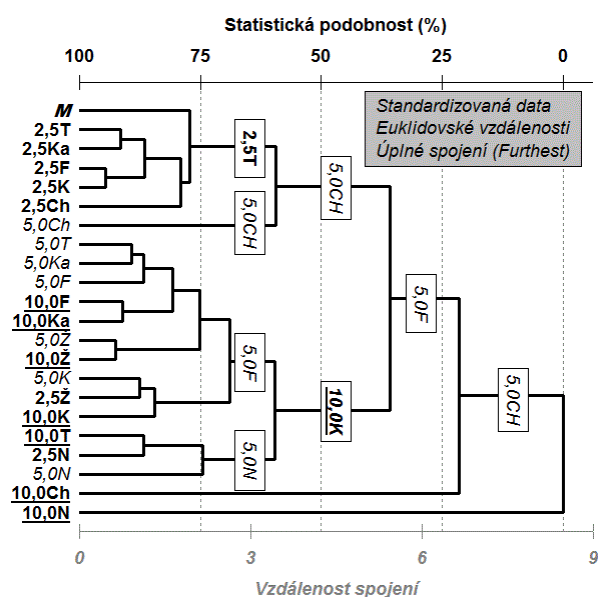
Interakce druhu plodiny s přidaným množstvím primárně určovala hodnoty všech čtyř retenčních kapacit, zejména RKs a RKv (92 a 61% – obr. 3; $P = 99,9 \%$ – tab. IIb). Retenční kapacita uhličitanu závisela nejvíce na složení kompozitní mouky (91%), chyba odhadu činila pouze 2% . Pro RKm měly význam oba faktory ($P = 95 \%$) a také jejich interakce – druh plodiny a výše přídavku se na rozptylu dat podílely každý zhruba ze čtvrtiny, zatímco interakce obou odpovídala za cca polovinu variability dat (obr. 2). Průkaznost tohoto odhadu je podle F-testu $99,9 \%$ (tab. IIb).



Obr. 3. Odhad podílu druhu netradiční plodiny ■, výše přídavku ■ a jejich interakce □ na rozptylu stanovených analytických parametrů (ČP – číslo poklesu; Zeleny – Zelenyho sedimentační hodnota; RKv, RKs, RKu, RKm – retenční kapacita vody a roztoků sacharosy, uhličitanu sodného a kyseliny mléčné). ■ chyba odhadu

Shluková analýza

V euklidovském prostoru se výše zmíněné vlivy uplatnily kombinovaně – dendrogram zachycuje převahu zejména nejnižšího (a slaběji nejvyššího) přídavku nad druhem netradiční plodiny v kompozitní mouce (obr. 4). V dalších shlucích nelze jednoznačně určit dominanci jednoho či druhého faktoru; potvrzuje se tak významný dopad interakce obou, výše kvantifikovaný analýzou komponent rozptylu (obr. 2). Charakter biopolymerů v jednotlivých druzích netradičních plodin je totiž značně rozdílný, a tím analytické vlastnosti vzorků kompozitní mouky jako např. 2,5Ž – 5,0K – 10,0K nebo 10,0T – 2,5N byly statisticky podobné. Na druhou stranu, jasnou odlišnost je možno vysledovat pro kompozity obsahující chia nebo nopálovou mouku; pro tyto dva druhy vychází statistická podobnost, založená na vzdálenostech mezi shluky, na $54,6$ a $40,9 \%$ (tedy rozdílnost $55,4$ a $59,1 \%$; tab. III). Pro vzorky s tef, kaštanem a foniem je tato podobnost



Obr. 4. Shluková analýza pšeničné mouky (M) a 21 vzorků kompozitní mouky – vliv druhu netradiční plodiny a výše přídatku. F – fonio, Ch – chia, Ka – kaštan, K – konopí, N – nopál, T – tef, Ž – žalud; 2,5 – 5,0 – 10,0: výše přídatku

naopak vyšší než tři čtvrtiny. Pro jednotlivé výše přídatku byla míra shody vlastností s charakteristikami standardu M stanovena s klesajícím trendem (od 76 % pro nejvyšší do 51 % pro nejvyšší stupeň fortifikace; tab. III).

Závěr

V souboru kompozitních mouk na bázi pšeničné hladké byly stanoveny rozdíly v analyticko-technologické kvalitě na základě přídatků sedmi netradičních, botanicky odlišných plodin (fonio, chia, kaštan, konopí, nopál, tef a žalud) a tří výší přídatku (2,5 – 5,0 – 10,0 %) jako náhrad základní suroviny. V praxi běžně používané technologicky významné znaky kvality – číslo poklesu a Zeleného test – dokázaly rozlišit 22 vzorků jen částečně (z cca 15 %). Profil čtyř retenčních kapacit, umožňující podrobnější popis vlastností kompozitní mouky, tyto vzorky odlišil na úrovni 27–54 %. Rozptyl dat se následně promítl do odhadu relativního rozptylu způsobeného druhem plodiny, výší přídatku a jejich interakce – hlavní roli sehrál druh plodiny a kombinace obou faktorů. Podle výsledků hierarchické shlukové analýzy lze kompozitní mouky s nejnižším přídatkem označit jako statisticky podobné neobohacené pšeničné mouce; míra shody vlastností byla nejvyšší pro směsi s tef, kaštanem a foniem (přes 75 %). Naopak rozdílné chování prokázaly kompozitní mouky pšenice-chia a pšenice-nopál a obecně kompozitní směsi s 10,0 % alternativní suroviny (shoda kolem 50 %).

Tabulka III

Průměrné euklidovské vzdálenosti spojení a statistické podobnosti

Shluk ^a	Vzdálenost k M	Statistická podobnost [%]
<i>a) vliv druhu netradiční plodiny</i>		
M+T	1,89	77,7
M+Ka	1,89	77,7
M+F	1,99	76,5
M+K	3,00	64,6
M+Ž	3,00	64,6
M+Ch	3,85	54,6
M+N	5,00	40,9
<i>b) vliv výše přídatku</i>		
2,5 %	2,04	75,9
5,0 %	2,64	68,9
10,0 %	4,16	50,9

^aM – pšeničná mouka, T – tef mouka, Ka – kaštanová mouka, F – fonio mouka, K – konopná mouka, Ž – žaludová mouka, Ch – chia mouka, N – nopálová mouka

Práce byla vypracována v rámci grantu NAZV QI 111 B053 „New Food“.

LITERATURA

- Hrušková M., Kadlčíková I., Švec I.: Pekař a Cukrář 5, 42 (2015).
- USDA Nutrient Database (2016a): Basic Report No. 20142, Teff, uncooked. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/6592?format=Abridged&reportfmt=pdf&pdfQvs=%7B%7D>. Staženo 31.7.2016.
- Balogou V. Y., Soumanou M. M., Toukourou F., Hounhouigan J. D.: Int. Res. J. Biol. Sci. 2, 73 (2013).
- USDA Nutrient Database (2016b): Basic Report No. 12006, Seeds, chia seeds, dried. <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/3610?format=Abridged&reportfmt=pdf&pdfQvs=%7B%7D>. Staženo 31.7.2016.
- Ayadi M. A., Abdelmaksoud W., Ennouri M., Attia H.: Ind. Crops Prod. 30, 40 (2009).
- Švec I., Hrušková M., Jurinová I.: Chem. Listy 108, 1158 (2014).
- Kweon M., Slade L., Lewine H.: Cereal Chem. 88, 537 (2011).
- Švec I., Hrušková M., Jirsa O.: Chem. Listy 103, 172 (2009).
- Hrušková M., Švec I.: Emir. J. Food Agri. 27, 872 (2015).
- Majdoub H., Picton L., Le Cerf D., Roudesli S.: J.

- Polym. Environ. 18, 451 (2010).
11. Švec I., Hrušková M.: Czech J. Food Sci. 33, 66 (2015).
 12. Moreira R., Chenlo F., Torres M. D., Rama B.: Food Bioprod. Process. 91, 7 (2013).
 13. Zhu F.: Food Bioprocess Technol. 9, 1429 (2016).

I. Švec and M. Hrušková (*Department of Carbohydrates and Cereals, University of Chemistry and Technology, Prague*): **Statistical Evaluation of Analytical Features of Composites Based on Wheat Flour**

From a nutrition point of view, wheat flour as basic recipe component of cereal products is a valuable source of plant proteins, some vitamins and minerals; at the same time, it is rightfully considered deficient in content of other components with nutritional benefit, which are necessary in diet of recent population. Non-traditional components prepared from seeds or fruits of seven plants (oak tree, fonio, chestnut tree, chia, hemp, nopal and teff) are known as donors of not only dietary fibre constituents, but also of further appreciated photo-chemicals. Owing to non-gluten nature of proteins in these materials, they rather have a negative effect on technological properties of wheat flour. To screen and predict an expected impact, values of the Falling Number and the Zeleny sedimentation test were determined for all flour composites tested. Changes in the physical stage of starch and the pentosans content were described by the SRC (Solvent Retention Capacity) method.

