

# 燕麦营养成分与燕麦片加工品质相关性研究

陈子叶, 王丽娟, 李再贵

(中国农业大学 食品科学与营养工程学院, 北京 100083)

**摘要:**以56份燕麦原粮为研究对象,检测了燕麦主要营养成分及燕麦片加工品质指标,分析了它们之间的相关关系。结果表明燕麦的 $a^*$ 值、直链淀粉含量和脂肪含量及燕麦片 $a^*$ 值、黏度和汤汁可溶性固形物等指标受品种影响较大。皮燕麦脂肪含量和 $\beta$ -葡聚糖含量显著低于裸燕麦( $P < 0.05$ ),皮燕麦片常温吸水率和 $b^*$ 值显著高于裸燕麦片( $P < 0.05$ ),但 $L^*$ 值显著低于裸燕麦片( $P < 0.05$ )。燕麦片色泽与燕麦色泽呈极显著正相关( $P < 0.01$ )。燕麦中蛋白质含量、直链淀粉含量、灰分和纤维素含量越高,燕麦片的吸水率、汤汁可溶性固形物含量和黏度就越高。脂肪和总淀粉含量越高,燕麦片的吸水率、汤汁可溶性固形物含量和黏度就越低。蛋白质的含量不仅明显影响燕麦片的高温吸水率和黏度,对其冲泡性也有明显影响。

**关键词:**燕麦;营养成分;加工品质;燕麦片;相关性

**中图分类号:**TS 210.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7561(2017)03-0028-05

## Relationship between the nutritional component of oat groats and the processing quality of oat flake

CHEN Zi-ye, WANG Li-juan, LI Zai-gui

(College of Food Science and Nutrition Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083)

**Abstract:**The nutritional component of oat groats and the processing quality of oat flake was investigated with 56 portions of oat as samples, and the relationship between them was analyzed. The results showed that  $a^*$ , amylose content the fat content of oat groats and  $a^*$ , viscosity and total soluble solid of oat flake were more easily effected by the variety of oat. The fat content and  $\beta$ -glucan content of *avena sativa* were significantly lower than oat groats( $P < 0.05$ ). The water absorption at room temperature and  $b^*$  of oat flake with husk were significantly higher than oat flake without husk ( $P < 0.05$ ), while  $L^*$  was lower ( $P < 0.05$ ). The color of oat groats had a positive correlation with that of oat flake( $P < 0.01$ ). The higher the protein content, amylose content, ash and fiber content of oat groats, the higher the water absorption, total soluble solid and viscosity of oat flake. However, the higher the fat content and starch content of oat groats, the lower the above parameters of oat flake. The protein content of oat groats could significantly influence the water absorption in high temperature and viscosity as well as brewing property of oat flake.

**Key words:**oat; nutritional component; processing quality; oat flake; relativity

燕麦是禾本科燕麦属(*Avena L.*)草本植物,一般分为带稃型的皮燕麦和无稃型的裸燕麦。燕麦籽粒富含蛋白质、脂肪、 $\beta$ -葡聚糖、抗氧化成分以及矿物质,被认为是最优质的谷类作物之一<sup>[1]</sup>。因其营养物质含量高,经常食用有利于降低血清胆固醇,

减少心血管疾病,降低血糖水平以及促进益生菌增殖等。燕麦及其产品的研究和利用已经成为各国研究者们关注的热点。

由于我国燕麦种植区域广、品种多样化,不同产区和品种对燕麦品质特别是营养成分含量均会造成影响。马艳明等<sup>[2]</sup>分析了新疆产35个种燕麦的4种性状变化,发现蛋白质含量变异系数(34.89%)最大,单株粒重、千粒重以及脂肪含量的变异系数依次降低。郑殿升等<sup>[3]</sup>研究了国内13个省1010份裸

收稿日期:2016-11-23

基金项目:现代农业产业技术体系资助项目(CARS-08-D-3)

作者简介:陈子叶,女,1994年出生,硕士。

通讯作者:李再贵,男,1964年出生,教授。

燕麦 $\beta$ -葡聚糖含量,得出结论是河北、山西、内蒙古产区的 $\beta$ -葡聚糖含量较高,陕西产区 $\beta$ -葡聚糖含量最低。目前国内学者对地方燕麦品质特性研究较多<sup>[4-6]</sup>,然而对于全国范围内不同品种的燕麦原粮对燕麦片加工品质的影响研究仍较少。本实验以56种燕麦为研究对象,分析比较不同品种燕麦营养品质及其对燕麦片加工品质的影响,考察燕麦原料与燕麦片品质的相关关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

从全国燕麦主产区收集适合用于燕麦片加工的56份燕麦原粮,包括皮燕麦20个品种,分别是内蒙古乌兰察布产蒙燕1号、定燕2号、坝燕6号、冀张燕4号;新疆产新燕麦2号,新燕麦1号、新燕麦3号;河北张家口产RDY2-4、张燕8号、张燕九号、冀张燕3号、冀张燕4号、冀张燕5、张燕7号、0801-188、坝莜1号、H44、鉴44-625-52、坝莜10号、坝莜8号、200242-5-1-5-16、S20-1759;青海西宁产有机林纳、林纳、加拿大、444、高寒1号、巴燕5号、西宁皮1、西宁皮2和巴燕3号、张北莜、草莜1号、西宁裸1、西宁裸2、西宁裸3和张北莜;裸燕麦36个品种,分别是吉林白城产白燕2号、白燕3号、白燕13号、白燕5号、白燕8号、白燕11号、白燕15号、白燕2号、白燕13号;内蒙古乌兰察布产内燕5号、燕科2号、草莜1号、燕科1号、定莜9号、坝莜13号、燕科2号、坝莜14号、白燕2号、坝莜8号。

### 1.2 燕麦营养品质测定

所有燕麦样品均进行筛选、除杂(皮燕麦先去壳),得到清洁、完整籽粒。采用HY-04A高速粉碎机对燕麦进行粉碎,过40目筛后分装于密封袋中,于-18℃冰柜中储存。

按GB/T 22510—2008/ISO 2171:2007方法测定灰分含量;按GB/T 5511—2008/ISO 20483:2006方法测定粗蛋白含量;按GB/T 5512—2008方法测定粗脂肪含量;按NY/T 2006—2011、AACC Method 32-23方法测定 $\beta$ -葡聚糖含量;按GB/T 5514—2008、GB/T 5009.9—2003方法测定总淀粉含量;GB 7648—87方法测定直链淀粉含量;GB/T 5515—2008/ISO 6865:2000方法测定燕麦总纤维含量;使用CR-400色彩色差计(Minolta)测定燕麦白度,三色协调系统 $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ (CIEL<sup>\*</sup> $a^*b^*$ )表示颜色。各营养物质含量以干基计。

## 1.3 燕麦片加工与燕麦片加工品质测定

### 1.3.1 燕麦片加工

在北京特品降脂燕麦公司将全部燕麦(每个样品的原料为5kg)加工成燕麦片,加工流程包括燕麦、压片、干燥和包装。

### 1.3.2 燕麦片常温吸水率

准确称取20.0g燕麦片( $W_1$ )于250mL烧杯中,加入100mL蒸馏水,搅拌均匀后在水浴锅中25℃保温20min。取出放在沙网中,静置10min,沥干燕麦片表面的水分,称量吸水后燕麦片的质量( $W_2$ )<sup>[7]</sup>。

$$\text{燕麦片吸水率} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100\%$$

### 1.3.3 燕麦片高温吸水率

燕麦片高温吸水率的测定参照路长喜等人<sup>[8]</sup>的方法略加修改。准确称量30.0g燕麦片( $W_1$ )于300mL离心杯中( $W_2$ ),加入180g沸腾蒸馏水并搅匀,在25℃水浴锅内静置10min,以转速3000r/min离心15min,收集上清液备用,称量离心杯与吸水后燕麦片的质量( $W_3$ )。

$$\text{燕麦片高温吸水率} = (W_3 - W_2 - W_1) / W_1 \times 100\%$$

### 1.3.4 燕麦片汤汁可溶性固形物含量

取1.3.4中收集的上清液,用手持糖度计测量燕麦片汤滤液中的可溶性固形物含量(°Brix)。

### 1.3.5 燕麦片的吸水膨胀率

准确称量20.0g燕麦片于250mL量筒中,记录燕麦片吸水前的体积 $V_1$ ,在量筒中加入沸水200mL后均匀,室温静置10min后记录燕麦片吸水膨胀后的体积 $V_2$ <sup>[8]</sup>。

$$\text{燕麦片吸水膨胀率} = V_2 / V_1 \times 100\%$$

### 1.3.6 燕麦片黏度

准确称取55.0g燕麦片样品放入250mL烧杯中,加入220g沸腾热水冲调并搅匀,待其冷却至室温。用DV-1数字旋转粘度计测定样品表观黏度,采用4#转子,转速为1.5r/min<sup>[9]</sup>。

### 1.3.7 燕麦片容重

将燕麦片样品倒入玻璃杯,用平板刮去玻璃杯表面多余的燕麦片,使玻璃杯内的燕麦片与玻璃杯口相平。称量玻璃杯内燕麦片的质量,结果以g/L表示<sup>[7]</sup>。

### 1.3.8 燕麦片白度

粉碎后的燕麦片过40目筛,使用CR-400色

彩色差计 (Minolta) 测定燕麦片白度, 三色协调系统  $L^*, a^*, b^*$  (CIEL\*  $a^* b^*$ ) 表示颜色。

#### 1.4 统计分析

采用 Microsoft Excel 进行数据整理, 用 SPSS 软件进行方差、相关性分析。显著性水平为 0.05, 当  $P < 0.05$  时表示差异显著, 图中标注字母不同表示有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。每个样品重复测定 3 次, 结果以 3 次重复实验所得数据的平均值  $\pm$  标准偏差表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 燕麦营养品质分析

由表 1 可知, 56 份燕麦脂肪含量平均值为 7.35%。燕麦蛋白质含量平均值为 15.43%, 其中乌兰察布定燕 2 号蛋白质含量最高为 18.51%, 有 21 种燕麦蛋白质含量集中在 9.74%~20.51%。燕麦中蛋白质含量显著高于其他谷物, 氨基酸平衡性好, 蛋白质功效比超过 2.0, 生物价为 72~75<sup>[10]</sup>。不同品种燕麦总淀粉含量平均值为 60.67%, 变异系数较小。路威等<sup>[11]</sup>测定了 56 个燕麦品种总淀粉含量, 平均值为 57.42%, 与本研究相近。直链淀粉含量平均值为 20.46%, 变异系数为 30.69, 说明燕麦直链淀粉含量在不同品种间变化较大。灰分、纤维素含量平均值分别为 2.52%、1.45%, 变异系数较小, 种间差异不明显。不同燕麦  $\beta$ -葡聚糖含量平均值为 4.08%, 其中青海西宁产草蓂 1 号含量最高, 为 5.56%, 有 19 个品种的  $\beta$ -葡聚糖含量在 4.00%~4.50% 之间。 $\beta$ -葡聚糖是燕麦中重要的功能因子, 具有降血脂和降血糖等功效<sup>[12]</sup>。56 份燕麦样品  $L^*, a^*, b^*$  平均值分别为 84.99、0.47、7.01, 其中  $a^*$  变异系数最大 (46.33), 表明燕麦色泽在不同品种间变化较大。

由表 1 可知, 在营养组成上, 皮燕麦的脂肪含量显著低于裸燕麦 ( $P < 0.05$ ), Biel 等<sup>[13]</sup>研究发现裸燕麦脂肪质量分数 (8.36%) 显著高于皮燕麦 (4.79%), 与本研究所得结论一致。皮燕麦  $\beta$ -葡聚糖含量显著低于裸燕麦 ( $P < 0.05$ ), 欧阳韶晖等<sup>[14]</sup>研究结果表明 167 份裸燕麦粗蛋白含量与 125 份皮燕麦无显著差异, 但裸燕麦  $\beta$ -葡聚糖含量显著高于皮燕麦 (5.44% 和 3.54%), 得出裸燕麦的营养品质高于皮燕麦。国际上主要种植皮燕麦, 而我国主要种植大粒裸燕麦<sup>[15]</sup>。本实验表明, 澳大利亚皮燕麦平均蛋白质含量 (10.00%) 显著低于我国裸燕麦。皮燕麦与裸燕麦蛋白质、总淀粉、直链淀粉、

灰分、纤维素含量及白度不具有显著差异。

表 1 燕麦籽粒营养成分分析

指标	平均值	变幅	变异系数	皮燕麦	裸燕麦
脂肪/%	7.35	4.10-11.08	20.54	7.08 $\pm$ 1.16b	7.50 $\pm$ 1.67a
蛋白质/%	15.43	9.74-20.51	16.34	14.86 $\pm$ 2.77a	15.74 $\pm$ 2.35a
总淀粉/%	60.67	49.00-73.48	9.92	60.76 $\pm$ 5.96a	60.62 $\pm$ 6.13a
直链淀粉/%	20.46	10.83-41.47	30.69	20.29 $\pm$ 6.46a	20.56 $\pm$ 6.27a
灰分/%	2.52	1.43-3.47	18.45	2.58 $\pm$ 0.40a	2.48 $\pm$ 0.50a
纤维素/%	1.45	0.91-2.04	19.75	1.49 $\pm$ 0.25a	1.42 $\pm$ 0.30a
葡聚糖/%	4.08	2.83-5.56	15.72	3.71 $\pm$ 0.55b	4.28 $\pm$ 0.60a
$L^*$	84.99	81.42-87.33	1.59	85.27 $\pm$ 1.25a	84.83 $\pm$ 1.40a
$a^*$	0.47	0.03-1.13	46.53	0.43 $\pm$ 0.16a	0.50 $\pm$ 0.24a
$b^*$	7.01	4.41-8.75	12.15	6.84 $\pm$ 0.96a	7.10 $\pm$ 0.78a

注: 不同小写字母表示同一行皮、裸燕麦该营养成分指标有显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 燕麦片加工品质分析

由表 2 可知, 不同燕麦片常温吸水率和高温吸水率分别为 178.54% 和 292.30%。常温吸水率最低的燕麦片品种为内蒙古燕科 1 号 (121.55%), 最高的品种为西宁有机林纳 (226.34%)。高温吸水率最低的品种为西宁裸 3 (232.65%), 最高的品种为新疆新燕麦 3 号 (381.96%)。路长喜等<sup>[8]</sup>发现高温吸水率在数值上是常温吸水率的 2 倍, 比本研究中的高温吸水率更高。吸水率是评价燕麦片复水性好坏的重要指标, 通常受淀粉、蛋白质、葡聚糖及纤维素等大分子组分影响。吸水率越高, 燕麦片复水性越好, 品质更佳。不同燕麦片吸水膨胀度平均值为 170.47%, 变异系数较小, 膨胀度最高的为张家口 200242-5-1-5-16 (196.67%), 膨胀度最低的为内蒙古蒙燕 1 号 (148.17%)。Matsuki<sup>[16]</sup>等探究了不同品种小麦淀粉的吸水膨胀度, 表明支链淀粉的结构是导致小麦淀粉吸水膨胀度差异的原因。因为支链淀粉的结构可以影响结晶度的形成, 从而增加淀粉分子颗粒之间的稳定性, 减少分子的吸水膨胀能力。不同品种燕麦片的汤汁可溶性固形物的含量平均值为 1.85°Brix, 变幅范围为 (1.10~2.85)°Brix。表观黏度平均值为 235 249 mPa·s, 且变异系数较大 (38.38), 说明燕麦片黏度在不同品种间变化较大。黏度较高的品种有乌兰察布蒙燕 1 号、新疆 2014 新燕麦 2 号、白城白燕 11 号、白城白燕 5 号、白城白燕 3 号、新疆新燕麦 1 号和新燕麦 3 号, 黏度值均在 400 000 mPa·s 以上; 黏度最低的品种为 4 号张家口的鉴 44-625-52, 黏度值只有 99 000 mPa·s。班燕冬等<sup>[17]</sup>研究了燕麦片黏度对其降脂效果的影响, 结果表明  $\beta$ -葡聚糖溶出率高

的燕麦片表观黏度更高,对小鼠的降脂效果更好。燕麦片容重平均值为 320.69 g/L,变异系数较小。对不同燕麦片粉碎后的色度测定结果显示, $L^*$ 值和 $b^*$ 值受品种、产地影响较小, $a^*$ 值受品种、产地影响最大,变异系数为 43.25。

由表 2 可知,皮燕麦片的常温吸水率显著高于

裸燕麦片( $P < 0.05$ )。皮燕麦片的 $L^*$ 值显著低于裸燕麦片, $b^*$ 值显著高于裸燕麦片( $P < 0.05$ ),表明皮燕麦片比裸燕麦片亮度差、白度低,颜色更偏黄。皮燕麦与裸燕麦高温吸水率、膨胀度、可溶性固形物、黏度、容重和 $a^*$ 值不具有显著差异,表明燕麦片加工品质指标受皮、裸燕麦品种差异影响较小。

表 2 燕麦片加工品质指标

指标	平均值	变幅	变异系数	皮燕麦片	裸燕麦片
常温吸水率/%	178.54	121.55 - 226.34	13.73	193.56 ± 19.09a	170.20 ± 23.38b
高温吸水率/%	292.30	232.65 - 381.96	13.32	285.48 ± 27.69a	296.09 ± 43.87a
膨胀度/%	170.47	148.17 - 196.67	6.67	171.12 ± 11.64a	170.11 ± 11.38a
可溶性固形物/°Brix	1.85	1.10 - 2.85	19.84	1.82 ± 0.25a	1.86 ± 0.42a
黏度/(mPa·s)	235.249	99.000 - 400.000	38.38	208.127 ± 78.630a	250.316 ± 93.824a
容重/(g/L)	320.69	264.40 - 361.02	7.20	326.26 ± 20.79a	317.60 ± 23.97a
$L^*$ 值	84.06	81.11 - 86.18	1.62	83.57 ± 1.40b	84.33 ± 1.29a
$a^*$ 值	0.32	0.05 - 0.66	43.25	0.27 ± 0.12a	0.34 ± 0.14a
$b^*$ 值	7.38	5.83 - 9.54	11.11	7.84 ± 0.72a	7.12 ± 0.77b

注:不同小写字母表示同一行皮、裸燕麦该加工品质指标有显著性差异( $P < 0.05$ )。

### 2.3 燕麦营养成分与燕麦片加工品质关系分析

燕麦营养品质和燕麦片加工品质的相关性分析如表 3 所示,燕麦片常温吸水率与燕麦蛋白质含量、灰分、纤维素含量、 $a^*$ 值呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与直链总淀粉含量呈显著正相关( $P < 0.05$ ),与脂肪含量、总淀粉含量、 $L^*$ 值呈显著负相关( $P < 0.05$ )。燕麦片高温吸水率受燕麦营养成分的影响与常温吸水率变化规律类似,说明蛋白质含量高的燕麦可能冲泡性更好,更适合加工燕麦片。燕麦片膨胀度与灰分成显著负相关( $P < 0.01$ )。曾有研究发现膨胀度与支链淀粉的链长<sup>[16]</sup>以及直链淀粉和脂质复合物的含量<sup>[18]</sup>有关,在本研究中,粗脂肪含量与膨胀度未显现出明显的相关性。燕麦片可溶性固形物含量与蛋白质、直链淀粉、灰分和纤维素含量以及 $a^*$ 值呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),与燕麦脂

肪含量、总淀粉、 $L^*$ 呈显著负相关( $P < 0.05$ )。燕麦片的黏度与蛋白质含量、直链淀粉含量、纤维素含量以及 $a^*$ 值呈显著正相关( $P < 0.05$ ),与燕麦脂肪和总淀粉含量呈负相关。说明应该选择蛋白质、直链淀粉和纤维素含量较高的燕麦作为燕麦片的原料,尽可能提高燕麦片的健康作用。燕麦片的容重与燕麦脂肪、总淀粉含量呈显著正相关( $P < 0.05$ ),与蛋白质、纤维素含量和 $a^*$ 值呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。燕麦片的 $L^*$ 值与燕麦的灰分、纤维素、 $a^*$ 值呈显著负相关( $P < 0.05$ ),与原粮的 $L^*$ 呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),且相关系数达 0.588。燕麦片的 $a^*$ 值与燕麦的蛋白质、灰分、纤维素、 $a^*$ 值呈显著正相关,与燕麦总淀粉、 $L^*$ 值呈极显著负相关( $P < 0.01$ )。燕麦片 $b^*$ 值与燕麦脂肪、总淀粉、 $b^*$ 值呈显著正相关,与燕麦蛋白质、灰分、纤维素含量呈显著负相关( $P < 0.05$ )。

表 3 燕麦营养品质和加工品质的相关性分析

	常温吸水率	高温吸水率	膨胀度	可溶性固形物	黏度	容重	$L^*$	$a^*$	$b^*$
脂肪	-0.487 **	-0.207	0.044	-0.280 *	-0.2	0.309 *	0.067	-0.088	0.259 *
蛋白质	0.408 **	0.288 *	-0.18	0.431 **	0.304 *	-0.549 **	-0.118	0.508 **	-0.541 **
总淀粉	-0.479 **	-0.320 **	0.07	-0.428 **	-0.16	0.360 **	0.284	-0.504 **	0.125 **
直链淀粉	0.311 *	0.327 **	-0.085	0.367 **	0.273 *	-0.139	-0.13	0.169	0.09
灰分	0.382 **	0.272 *	-0.282 *	0.351 **	0.188	-0.213	-0.223 *	0.398 **	-0.295 *
纤维素	0.672 **	0.440 **	-0.063	0.418 **	0.266 *	-0.457 **	-0.433 **	0.231 *	-0.031 *
$\beta$ -葡聚糖	-0.157	-0.025	0.09	-0.148	0.088	-0.062	0.1	0.141	-0.08
$L^*$ 值	-0.312 *	-0.252 *	-0.148	-0.247 *	-0.064	0.148	0.588 **	-0.322 **	-0.155
$a^*$ 值	0.454 **	0.338 **	0.025	0.536 **	0.283 *	-0.355 **	-0.535 **	0.751 **	-0.264
$b^*$ 值	0.037	0.17	0.148	0.025	-0.079	0.045	-0.193	-0.284 *	0.572 **

注:\*和\*\*分别表示在5%和1%水平上相关显著。

### 3 结论

测定了56种燕麦样品脂肪、蛋白质、总淀粉、直链淀粉、灰分、纤维素、 $\beta$ -葡聚糖含量及白度等营养品质指标,分析得出不同品种间燕麦 $a^*$ 值差异最为明显,其次是直链淀粉和脂肪含量。皮燕麦的脂肪含量和 $\beta$ -葡聚糖含量显著低于裸燕麦。

对燕麦主产区56份燕麦常温吸水率、高温吸水率、膨胀度、汤汁可溶性固形物、黏度、容重和色泽等加工品质指标进行分析比较,发现不同燕麦片 $a^*$ 值受品种、产地影响最大,其次是黏度和汤汁可溶性固形物含量。皮燕麦片的常温吸水率显著高于裸燕麦片,皮燕麦片的 $L^*$ 值显著低于裸燕麦片, $b^*$ 值显著高于裸燕麦片,表明皮燕麦片比裸燕麦片亮度差、白度低,颜色更偏黄。

对燕麦营养成分与燕麦片加工品质指标进行相关性分析,发现燕麦片色泽与燕麦色泽显著正相关,燕麦中脂肪、蛋白质、直链淀粉、灰分、纤维素等大分子物质的含量对燕麦片的吸水率、汤汁可溶性固形物及黏度的影响较大,燕麦中蛋白质、直链淀粉、灰分、纤维素含量越高,加工出的燕麦片的吸水率、黏度和汤汁可溶性固形物含量越高,而脂肪和总淀粉的含量越高,燕麦片的吸水率、黏度和汤汁可溶性固形物含量越低。结果表明,燕麦的蛋白质含量不但明显影响燕麦片的高温吸水率和黏度,对燕麦片冲泡性和健康作用也均有明显影响,而我国裸燕麦的蛋白质含量总体上远高于国外皮燕麦,因此,国产裸燕麦可能更适合加工燕麦片。

#### 参考文献:

[1] Welch R W, Brown J C W, Leggett J M. Interspecific and intraspecific variation in grain and groat characteristics of wild oat (*Avena*) species: very high groat (1→3), (1→4) -  $\beta$ -D-glucan in an *Avena atlantica* genotype[J]. *Journal of Cereal Science*, 2000, 31(3): 273-279.

[2] 马艳明, 刘志勇, 白玉亭, 等. 新疆燕麦地方品种资源多样性分析[J]. *新疆农业科学*, 2006, 43(6): 510-513.

[3] 郑殿升, 吕耀昌, 田长叶, 等. 中国裸燕麦 $\beta$ -葡聚糖含量的鉴定研究[J]. *植物遗传资源学报*, 2006, 7(1): 54-58.

[4] 吴学明, 杜军华, 曾阳, 等. 青海省燕麦品种资源分析[J]. *西北植物学报*, 2002, 22(1): 158-162.

[5] 高晨光. 吉林省西部地区燕麦与小麦营养品质的评价[D]. 东北师范大学, 2006.

[6] 张曼. 内蒙古燕麦品质特性及指纹特征研究[D]. 内蒙古农业大学, 2014.

[7] Gates F K, Sontag - Strohm T, Stoddard F L, et al. Interaction of heat - moisture conditions and physical properties in oat processing: II. Flake quality[J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 48(2): 288-293.

[8] 路长喜, 王岸娜, 周素梅, 等. 燕麦片加工品质评价及其品种相关性研究[J]. *中国粮油学报*, 2009, 24(8): 42-46.

[9] 董吉林, 郑坚强, 申瑞玲. 燕麦 $\beta$ -葡聚糖的黏性及其在冰淇淋中的应用[J]. *食品研究与开发*, 2007, 28(7): 193-196.

[10] Mohamed A, Biresaw G, Xu J, et al. Oats protein isolate: Thermal, rheological, surface and functional properties[J]. *Food Research International*, 2009, 42(1): 107-114.

[11] 路威. 燕麦品种品质及饮料加工特性研究[D]. 中国农业科学院, 2013.

[12] Tiwari U, Cummins E. Meta - analysis of the effect of  $\beta$ -glucan intake on blood cholesterol and glucose levels. [J]. *Nutrition*, 2011, 27(10): 1008-16.

[13] Biel W, Bobko K, Maciorowski R. Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain [J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49(3): 413-418.

[14] 欧阳韶晖, 米雅清, 王青, 李婷婷. 2013年中国燕麦区试品种(系)主要营养品质分析[J]. *麦类作物学报*, 2016(4): 455-459.

[15] 郑殿升, 张宗文. 大粒裸燕麦(莜麦)(*Avena nuda* L.)起源及分类问题的探讨[J]. *植物遗传资源学报*, 2011(5): 667-670.

[16] Sasaki T, Matsuki J. Effect of wheat starch structure on swelling power. [J]. *Cereal Chemistry*, 1998, 75(4): 525-529.

[17] 班冬燕. 不同食用方法对燕麦片降脂效果的研究[D]. 中国农业大学, 2014.

[18] Hoover R, Manuel H. The Effect of Heat - Moisture Treatment on the Structure and Physicochemical Properties of Normal Maize, Waxy Maize, Dull Waxy Maize and Amylomaize V Starches [J]. *Journal of Cereal Science*, 1996, 23(2): 153-162. 