

焙炒处理对燕麦甜醅品质及功能因子含量的影响

麻宸睿¹, 王新宇¹, 桂颖¹, 张琇¹, 曹晓虹¹, 韩立宏^{1, 2*}

1(国家民委发酵酿造工程生物技术重点实验室(北方民族大学), 宁夏 银川 750021)

2(宁夏瑞春杂粮股份有限公司, 宁夏 固原 756000)

摘 要 通过焙炒处理对燕麦甜醅进行品质优化, 系统分析了不同炒制时间对燕麦甜醅破碎率、质地、感官品质的影响, 并分别采用 McCleary 直接测定法、Folin-Ciocalteu 比色法及 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3$ 比色法研究了甜醅中 β -葡聚糖、总酚、总黄酮等功能因子的含量随焙炒处理时间的变化规律。实验结果表明, 焙炒处理显著降低了燕麦甜醅的破碎率。当焙炒时间为 6 min 左右时, 破碎率相比对照降低了 50.86%; 经炒制处理的甜醅样品的硬度、弹性和咀嚼性相比对照显著增大, 其感官综合品质也得到了显著改善, 当焙炒时间为 6 min 左右时, 所得样品的感官综合得分最高; 焙炒处理显著增大了燕麦甜醅的总酚含量, 降低了总黄酮含量, 但对 β -葡聚糖含量没有显著影响。

关键词 燕麦甜醅; 烘焙; 质地; 品质; β -葡聚糖; 总酚; 总黄酮

燕麦(*Avena sativa* L.) 属禾本科早熟禾亚科燕麦属, 是一种耐旱、耐寒、耐贫瘠、喜阴凉的一年生作物, 为我国西部贫困山区的特色优势农业资源。燕麦是全价营养谷物, 1997 年美国 FDA 认定燕麦为功能性食物, 富含平衡全面的必需氨基酸、维生素、矿物质及膳食纤维, 其中含有的生物活性成分 β -葡聚糖、皂苷和亚油酸具有降低胆固醇、调节血糖和肝脂肪组织代谢等生理功能, 总酚、黄酮类物质具有抗氧化、延缓衰老等功效^[1]。近几年来, 国内外在燕麦的功能特性、食品开发等方面开展的研究日益增多^[2-4]。

甜醅是我国西北地区, 特别是青海、甘肃、宁夏、陕西等地的民间小吃, 广泛受到当地汉、回、藏等多民族消费者的青睐。它是以燕麦为原料, 借助甜酒曲经固态发酵工艺制作而成, 醅粒饱满如果肉, 醅汁甘甜似糖水, 气味香甜如醇酒, 堪称我国地方传统特色饮食文化的精髓。但是, 目前为止, 市场还很少见工业化的燕麦甜醅产品, 只是有一些关于燕麦甜醅制作工艺优化^[5]及甜醅发酵过程中理化指标及活性成分变化的零星报道^[6-7]。焙炒处理是改善谷物质地、风味和营养价值的有效手段^[8], 已有研究显示, 燕麦经过焙炒可以增强风味、降低脂肪酶活性, 进而提高产品

稳定性^[9]。民间传统燕麦甜醅制作中也常有焙炒燕麦的工序。但是关于焙炒处理对燕麦甜醅品质及其功能因子影响的研究, 目前国内外还未见相关报道。

本论文在前期研究工作的基础上, 以改进的传统工艺制作甜醅样品, 系统研究焙炒工艺对甜醅破碎率、质地、感官品质, 及其功能因子含量的影响, 为高品质甜醅制品的产业化提供技术指导, 也为其他燕麦制品的研发及品质改善提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

燕麦米, 宁夏瑞春杂粮股份有限公司提供(2017 年产于宁夏六盘山区); 甜酒曲, 安琪酵母股份有限公司; β -葡聚糖测定试剂盒(megazyme β -glucan assay kits), 爱尔兰 Megazyme 公司; 没食子酸标准品、芦丁标准品、Folin-Ciocalteu 试剂: Sigma Chemical Co., St. Louis, MO; 其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

TMS-CONSOLE 物性仪 美国 FTC 公司产品; LC-20AD 型高效液相色谱仪(RID-40A 示差检测器), 日本岛津公司; TECAN M200 全波段酶标仪, TECAN 公司; LGJ-10S 真空冷冻干燥机, 河南兄弟仪器设备有限公司; CY-550 筒式烘炒机, 南京腾阳干燥设备厂; KQ-5200E 型超声波清洗器, 昆山市超声仪器有限公司; HJ-500 高速中药粉碎机, 山东东营弘玖制药机械有限公司; DHP-9160 恒温培养箱, 上海一恒科学仪器有限公司; 电饭煲 苏泊尔公司。

第一作者: 本科(韩立宏副教授为通讯作者, E-mail: hanlihong_0317@126.com)。

基金项目: 国家自然科学基金项目(31460406); 国家民委发酵酿造工程生物技术重点实验室经费; 宁夏回族自治区大学生创新项目(2018-QJ-062)。

收稿日期: 2018-10-08, 改回日期: 2018-12-20

1.3 实验方法

1.3.1 甜醅样品的制作

甜醅制作工艺如下:精选燕麦米,180℃(实际温度160~180℃之间)和12 r/min转速条件下在筒式烘炒机分别焙炒0、3、6、9、12 min。然后清洗干净,加入适量水浸泡4 h(每个处理之间保持料液比一致),置于电饭锅中精煮档蒸煮50 min,出锅,凉至室温,0.6%安琪甜酒曲接种拌匀,32℃恒温培养60 h,即为成品。部分成品25℃条件下放置30 min后进行质地、感官及破碎率实验;部分成品真空冷冻干燥后用于功能因子含量的测定。

1.3.2 破碎率的计算

将甜醅样品中的整醅粒与破碎醅粒分离、干燥、称重。破碎率按公式(1)计算。

Y/% = (m/M) × 100 (1)

式中:Y,破碎率,%;m,碎米甜醅干燥后的质量,g;

M,试样干燥后的总质量,g。

1.3.3 质的测定

参考王晓彬等^[10]的方法,采用质构仪进行测定。选用P/36R柱状探头。运行模式:TPA模式。具体参数设置:触发力5 g,测试前速度3 mm/s,测试速度1.5 mm/s,测试后速度2 mm/s,压缩程度40%,2次压缩间隔时间5 s。每次测试时,在制备好的甜醅样品中间层的不同部位随机取3粒完整的醅粒对称放置在质构仪的载物台上进行测定,醅粒之间保持一定的间隔。每个处理平行制备3个样品,每个样品做6次平行,最终结果用平均值±标准差表示。

1.3.4 感官品质评价

甜醅的感官评定试验根据GB/T 13662—2008^[11]中的瓶酒方法,并结合相关文献中米酒的评定方法^[12]及甜醅的评价标准^[5],对甜醅产品从外观、口感、香气、质地4个方面进行品评,具体的评分标准见表1。

表1 甜醅感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of sweet fermented oat

| 评价指标 | 分值范围/分 | 满分标准 | 减分内容 | 减分值 |
|------|--------|----------------------------|-------------|-------|
| 外观 | 25 | 燕麦的典型色泽、颗粒饱满、固形物均匀、没产生黑色孢子 | 色泽差 | 1~5 |
| | | | 颗粒饱满性差 | 1~7 |
| | | | 固形物不均一 | 1~7 |
| | | | 有黑色斑点 | 1~6 |
| | | | 甜味过重或过淡 | 1~5 |
| 口感 | 30 | 香甜适口、无苦涩味、无明显酸味、无明显酒味 | 有苦涩味 | 5~10 |
| | | | 酸味重 | 1~7.5 |
| | | | 酒味重 | 1~7.5 |
| | | | 香味过淡 | 5~10 |
| 香气 | 30 | 燕麦的自然香味、纯正的发酵香味 | 香味不正 | 5~10 |
| | | | 有异味 | 5~10 |
| | | | 醅粒大小不一、软硬不适 | 1~8 |
| 质地 | 15 | 醅粒均匀完整、软硬适中 | 醅粒不完整有碎粒 | 1~4 |
| | | | 醅粒不均匀有结块 | 1~3 |

1.3.5 甜醅功效成分测定

1.3.5.1 β-葡聚糖含量测定

采用直接测定法^[13-14]。

1.3.5.2 总酚含量测定

采用folin-ciocalteu(FC)比色法^[15]。取不同浓度的没食子酸标准溶液或甜醅提取液于10 mL比色管中,依次加入1.0 mL 0.2 mol/L的FC试剂和2 mL质量分数为15%的Na₂CO₃溶液,用去离子水定容至10 mL,混合充分后室温放置1 h,在760 nm波长下测定吸光度。以没食子酸质量浓度为横坐标(x, μg/mL);以吸光度为纵坐标(y)绘制标准曲线,测定回归方程为:y=0.011x+0.016 R²=0.998 7。

1.3.5.3 总黄酮含量测定

采用NaNO₂-Al(NO₃)₃比色法^[16]。回归方程为y=0.001 9x+0.009 7 R²=0.999 8。

1.4 数据处理

除质地和感官评价实验外,其他实验均重复3次,取平均值,以平均值±SD表示。显著性分析(P<0.05)采用SPSS 17.0软件,作图采用Origin 8.5软件。

2 结果与讨论

2.1 焙炒处理对燕麦甜醅破碎率的影响

破碎率是影响甜醅感官品质和商品价值的重要指标。醅粒完整度越高,甜醅的感官品质越好,商品价值越高。不同时间的焙炒处理对燕麦甜醅破碎率的影响结果如图1所示。从图1可以看出,燕麦米经过焙炒处理可显著降低($P < 0.05$)甜醅产品的破碎率。当焙炒时间为6 min左右时,甜醅产品的破碎率达到最低;烘焙时间超过9 min之后随着焙烤时间继续增加,甜醅破碎率没有显著变化。已有研究表明,高温烘焙可导致燕麦籽粒内脂-蛋白质之间结合减弱,油脂会渗透到淀粉颗粒内部,与直链淀粉分子形成复合物,这样相当于油脂成膜覆盖在淀粉颗粒的表面上,从而增加淀粉颗粒的疏水性,显著降低淀粉颗粒的水和性和膨胀度^[17-19]。淀粉颗粒的水和性和膨胀度降低,燕麦籽粒的耐煮度增大,同等湿热处理条件下,燕麦籽粒的破碎趋势相对减弱。因此,燕麦籽粒经过焙炒处理可显著降低甜醅产品的破碎率。

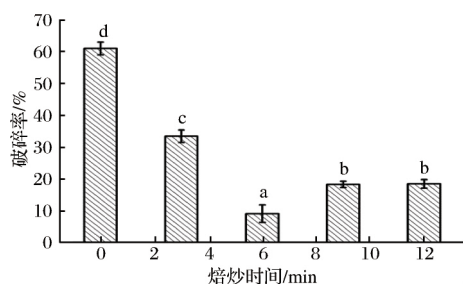


图1 不同焙炒时间对燕麦甜醅破碎率的影响

Fig. 1 Effect of different roasting time on the broken rate of sweet fermented oat

注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同。

2.2 焙炒处理对燕麦甜醅质地的影响

质地是影响甜醅食用品质的主要特性。从表2可以看出,焙炒处理显著增大了($P < 0.05$)燕麦甜醅样品的硬度、弹性和咀嚼性。当焙炒时间达到6 min左右时,继续延长时间对甜醅产品的硬度和咀嚼性均没有显著影响,而弹性出现下降趋势。这是因为焙炒处理降低了燕麦籽粒的水和性,导致同等湿热条件下,焙炒燕麦籽粒的吸水率降低,籽粒内部淀粉颗粒膨胀崩解度低,最终贡献于甜醅产品硬度增大。经过焙炒处理的甜醅产品的破碎率降低,与对照相比,醅粒籽粒表皮完整度高,弹性显著增大,但是炒制过度,也会造成燕麦籽粒表皮破坏及淀粉部分碳化,甜醅产品的弹性反而下降。咀嚼性是衡量食品质地特性的一个综合指标。经过焙炒处理的甜醅样品颗粒表皮完整度高,内部淀粉颗粒离散程度低,与对照相比,咀

嚼性增强。

表2 不同焙炒时间对燕麦甜醅质地的影响

Table 2 Effect of different roasting time on the texture of sweet fermented oat

| 焙炒时间/ min | 硬度/ g | 弹性 | 咀嚼性 |
|--------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| 0 | 1 378.24 ± 80.12 ^a | 0.57 ± 0.03 ^c | 661.01 ± 48.22 ^c |
| 3 | 1 563.56 ± 73.14 ^b | 0.86 ± 0.05 ^{ab} | 734.21 ± 35.90 ^b |
| 6 | 1 577.51 ± 59.98 ^b | 0.94 ± 0.07 ^a | 892.56 ± 31.25 ^a |
| 9 | 1 487.54 ± 65.70 ^{ab} | 0.90 ± 0.03 ^a | 864.00 ± 49.12 ^a |
| 12 | 1 594.68 ± 63.68 ^b | 0.79 ± 0.04 ^b | 870.53 ± 62.12 ^a |

2.3 焙炒处理对燕麦甜醅感官品质的影响

感官品质是决定食品食用价值的最重要的指标。从图2可以看出,与对照相比,焙炒处理显著改善了($P < 0.05$)甜醅的感官品质。当焙炒时间为6 min左右时,所得甜醅样品具有燕麦的典型色泽、软硬适中、颗粒饱满、均匀完整、固形物溢出少、没产生黑色孢子、无苦涩味、无明显酸味、无明显酒味、纯正的发酵香味、香甜适口,感官得分最高。

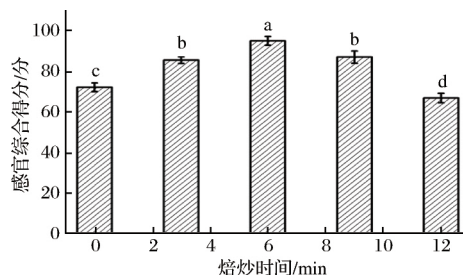


图2 不同焙炒时间对燕麦甜醅感官特性的影响

Fig. 2 Effect of different roasting time on the sensory quality of sweet fermented oat

2.4 焙炒处理对燕麦甜醅功能成分的影响

2.4.1 焙炒处理对燕麦甜醅β-葡聚糖含量的影响

β-葡聚糖是燕麦及其制品中最重要的功能因子。从图3可以看出,炒制对样品中β-葡聚糖的含量没有产生显著影响($P > 0.5$)。曾有研究发现,焙炒处理燕麦-小麦混合粉面团体系,会显著降低面团中可溶性β-葡聚糖的含量^[20-21]。这是因为小麦粉中的酶在焙烤过程中降解了燕麦β-葡聚糖^[22]。

2.4.2 焙炒处理对燕麦甜醅总酚含量的影响

如图4所示,焙炒过程显著增大了($P < 0.05$)样品中的总酚含量,但是炒制时间达到6 min后,继续焙炒,甜醅样品中的总酚含量不再发生显著变化。已有研究发现,热处理可显著增加燕麦中的总酚含量,这是因为加热过程引起燕麦细胞成分降解,释放出更

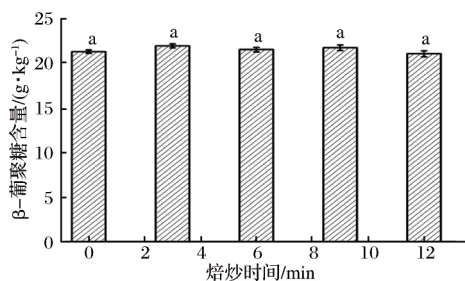


图3 不同焙炒时间对燕麦甜醅β-葡聚糖含量的影响

Fig. 3 Effect of different roasting time on β-glucan of sweet fermented oat

多的结合态酚酸,增大了结合态总酚的可提取性^[23-24]。

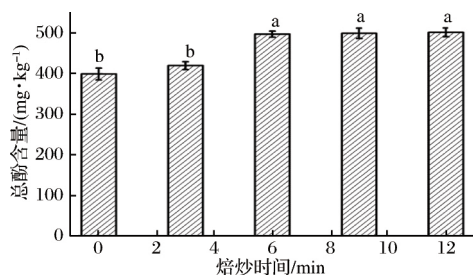


图4 不同焙炒时间对燕麦甜醅总酚含量的影响

Fig. 4 Effect of different roasting time on total phenols of sweet fermented oat

2.4.3 焙炒处理对燕麦甜醅总黄酮含量的影响

从图5中可以看出,随着焙炒时间的延长,燕麦甜醅中的总黄酮含量呈现下降趋势,炒制6 min左右,甜醅样品中总黄酮含量与对照相比显著下降($P < 0.05$)。本研究结果与SANDHU等的研究结果一致,这是因为黄酮类物质对热敏感,热处理会对其造成破坏^[23,25]。

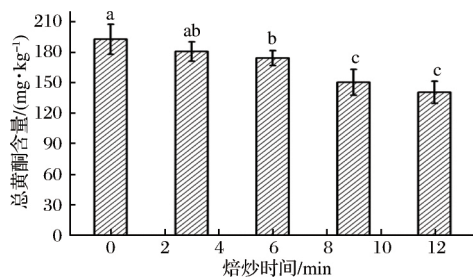


图5 不同焙炒时间对燕麦甜醅总黄酮含量的影响

Fig. 5 Effect of different roasting time on total flavonoids of sweet fermented oat

3 结论

焙炒处理是民间传统燕麦甜醅制作的常用工序,

其对燕麦甜醅产品的破碎率、质地、感官品质,以及产品中β-葡聚糖、总酚、总黄酮等功能因子的含量产生不同的影响。焙炒处理显著降低了燕麦甜醅的破碎率,焙炒6 min左右,破碎率相比对照降低50.86%;经炒制处理的甜醅样品的硬度、弹性和咀嚼性显著增大,其感官综合品质也得到了显著改善,焙炒6 min,所得样品的感官综合得分最高;焙炒处理显著增大了燕麦甜醅的总酚含量,降低了总黄酮含量,但对β-葡聚糖含量没有显著影响。由此可见,传统的炒制工序对燕麦甜醅的品质具有显著的提升作用,可用于工业化高品质甜醅产品的制作。

参考文献

- [1] 张燕,胡新中,师俊玲,等. 熟化工艺对燕麦传统食品营养及加工品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2013, 28(10): 86-91.
- [2] FENG X M, PASSOTH V, EKLUND-JONSSON C, et al. Rhizopus oligosporus and yeast co-cultivation during barley tempeh fermentation-Nutritional impact and real-time PCR quantification of fungal growth dynamics[J]. Food Microbiology, 2007, 24(4): 393-402.
- [3] RALLA T, SALMINEN H, EDELMANN M, et al. Oat bran extract (*Avena sativa* L.) from food by-product streams as new natural emulsifier[J]. Food Hydrocolloids, 2018, 81(8): 253-262.
- [4] 葛磊. 燕麦发酵饮料的研制[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- [5] 史晓萌,陈建国,党艳婷,等. 响应曲面法优化燕麦甜醅发酵工艺的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(4): 88-91.
- [6] 吴寒,肖愈,李伟,等. 燕麦甜醅发酵过程中生化成分的动态变化[J]. 食品科学, 2015, 36(13): 114-118.
- [7] 史晓萌,陈建国,梁寒峭,等. 燕麦发酵过程中微生物、理化指标及活性成分变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(4): 49-52.
- [8] BAKR A A, GAWISH A R. Nutritional evaluation and cooking quality of dry cowpea (*Vigna sinensis* L.) grown under various agricultural conditions. I: Effect of soaking and cooking on the chemical composition and nutritional quality of cooked seeds[J]. Food, 1991, 110(8): 3084.
- [9] OVANDO-MARTINEZ M, WHITNEY K, REUHS BL, et al. Effect of hydrothermal treatment on physicochemical and digestibility properties of oat starch[J]. Food Research International, 2013, 52(1): 17-25.
- [10] 王晓彬,郭兴凤,郝利平. 测定条件对蒸煮大米质构特性测定结果的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 34(5): 40-43.
- [11] 国家质量监督检验检疫总局. 黄酒. GB/T 13662—

- 2008 [S].
- [12] 王晓玲. 保健米酒酿造及利用米酒糟培养泰山赤芝的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [13] MCCLEARY B V, CODD R. Measurement of (1-3), (1-4)- β -D-glucan in barley and oats: a streamlined enzymic procedure [J]. J Sci Food Agric, 1991, 55: 303-312.
- [14] MCCLEARY B V, GLENNIE-HOLMES M. Enzymic quantification of (1-3), (1-4)- β -D-glucan in barley and malt [J]. J Inst Brew, 1985, 91: 285-295.
- [15] 刘清, 李玉, 姚惠源. Folin-Ciocalteu 比色法测定大麦提取液中总多酚的含量[J]. 食品科技, 2007, 32(4): 175-177.
- [16] 白鸿. 保健食品功效成分检测方法[M]. 北京: 中国中医药出版社, 2011.
- [17] ZHOU Z, HELLIWELL R S, BLANCHARD C. Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties [J]. Food Research International, 2007, 40(2): 209-214.
- [18] RAPHAELIDES S, GEORGIADIS N. Effect of fatty acids on the rheological behaviour of amylo maize starch dispersions during heating [J]. Food Hydrocolloids, 2007, 21(7): 1188-1200.
- [19] 姚鑫森, 马兴胜, 张雪山, 等. 淀粉-脂肪复合物模型研究[J]. 哈尔滨商业大学学报(自然科学版), 2004, 20(2): 216-219.
- [20] JOHANSSON L, TUOMAINEN P, ANTTILA H, et al. Effect of processing on the extractability of oat β -glucan [J]. Food Chemistry, 2007, 105(4): 1439-1445.
- [21] BEER M U, WOOD P J, WEISZ J, et al. Effect of cooking and storage on the amount and molecular weight of (1-3)(1-4)- β -D-glucan extracted from oat products by an *in vitro* digestion system [J]. Cereal Chemistry, 1997, 74(6): 705-709.
- [22] ANDERSSON A A M, ARMÖ E, GRANGEON E, et al. Molecular weight and structure units of (1 \rightarrow 3, 1 \rightarrow 4)- β -glucans in dough and bread made from hull-less barley milling fractions [J]. Journal of Cereal Science, 2004, 40(3): 195-204.
- [23] SANDHU K S, GODARA P, KAUR M, et al. Effect of toasting on physical, functional and antioxidant properties of flour from oat (*Avena sativa* L.) cultivars [J]. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 2017, 28(1): 96-101.
- [24] PRADEEP S R, GUHA M. Effect of processing methods on the nutraceutical and antioxidant properties of little millet (*Panicum sumatrense*) extracts [J]. Food Chemistry, 2011, 126(4): 1643-1647.
- [25] ZHU F, CAI Y Z, BAO J S, et al. Effect of γ -irradiation on phenolic compounds in rice grain [J]. Food Chemistry, 2010, 120(1): 74-77.

Effects of roasting on qualities and functional factors of sweet fermented oats

MA Chenrui¹, WANG Xinyu¹, Gui Ying¹, ZHANG Xiu¹,
CAO Xiaohong¹, HAN Lihong^{1,2*}

1 (Key Laboratory of Fermentation and Brewing Biotechnology of State Ethnic Affairs Commission (North Minzu University),
Yinchuan 750021, China)

2 (Ningxia Ruichun Coarse Cereals Co., LTD, Guyuan 756000, China)

ABSTRACT By improving the quality of sweet fermented oats via roasting, this study systematically investigated the effects of different roasting time on the breakage rate, texture and sensory quality of the oats. Besides, the effects of roasting time on the changes in the contents of functional factors, such as β -glucan, total phenols, and total flavonoids, were also determined. The results showed that roasting significantly reduced the breakage rate of oats. When the oats were roasted for 6 min, their crushing rate was 50.86% lower than control. Compared with the control, the hardness, elasticity and chewiness of roasted oats significantly increased, and their comprehensive quality also significantly improved. Besides, the sensory score of the roasted oats was also the highest. Furthermore, roasting significantly increased the total phenolic content and decreased the total flavonoid content of sweet fermented oats, but it had no significant effect on the content of β -glucan. In conclusion, this research provides a guidance for industrial production of high-quality sweet fermented oats.

Key words sweet fermented oat; baking treatment; texture; sensory quality; β -glucan; total phenols; total flavonoids