

制麦工艺对燕麦麦芽营养品质的影响

李利霞¹, 方 凯¹, 李巨秀^{1,*}, 胡新中^{2,*}

(1.西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2.陕西师范大学食品工程与营养科学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 以我国裸燕麦为研究对象, 以燕麦在发芽前后植酸质量分数、 β -葡聚糖质量分数及蛋白质体外消化率为考察指标, 通过单因素和正交试验, 研究浸麦温度(11~19℃)、发芽温度(11~19℃)及发芽时间(2~6d)对上述营养指标的影响。结果表明, 浸麦温度对植酸质量分数、 β -葡聚糖质量分数及蛋白质体外消化率没有显著影响, 而发芽时间越长、发芽温度越高, 燕麦中植酸和 β -葡聚糖质量分数则越低; 蛋白质体外消化率随着发芽时间的延长而升高, 发芽温度对其影响不显著。通过优化试验得出的最佳制麦工艺: 采用浸麦工艺(浸麦6h→休止10h→浸麦4h→休止7h→浸麦3h→休止1h), 浸麦温度14℃进行浸麦, 15℃发芽4d。在此条件下制麦燕麦中植酸质量分数下降了42.8%, 而蛋白质消化率上升了142.1%, 燕麦的营养品质有所改善。

关键词: 燕麦; 制麦; 植酸; β -葡聚糖; 蛋白质消化率

Nutritional Quality of Oat Malt as Affected by Malting Methods

LI Li-xia¹, FANG Kai¹, LI Ju-xiu^{1,*}, HU Xin-zhong^{2,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

2. College of Food Engineering, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: In order to find optimal conditions for the malting of naked oats, the effects of steeping temperature (11–19 °C), germination temperature (11–19 °C) and germination time (2–6 d) on β -glucan and phytic acid contents and protein digestibility *in vitro* of oat malts were studied by one-factor-at-a-time and orthogonal array design methods. β -glucan and phytic acid contents and protein digestibility *in vitro* were not substantially affected by steeping temperature. β -glucan and phytic acid contents decreased with increasing germination temperature and germination time. Protein digestibility *in vitro* increased with prolonged germination time but was only minorly affected by germination temperature. The optimal conditions for the malting of naked oats were determined as follows: the steeping procedure was performed at 14 °C and followed a pattern of steeping for 6 h, relaxation for 10 h, steeping for 4 h, relaxation for 7 h, steeping for 3 h, and relaxation for 1 h before germination at 15 °C for 4 d. Under these conditions, oat malts revealed a 42.8% decrease in phytic acid content and a 142.1% increase in protein digestibility *in vitro*. Therefore, the nutritional quality was improved.

Key words: oat; malting; phytic acid; β -glucan; protein digestibility

中图分类号: S512.6

文献标识码: A

文章编号: 1002-6630(2012)22-0033-06

燕麦(*Avena sativa* L.)是禾本科燕麦属草本植物^[1]。燕麦中可溶性膳食纤维、优质蛋白、维生素以及矿物质和必需脂肪酸质量分数丰富, 具有极高的营养价值, 以及降血脂、降血糖、改善肠道功能等生理功效^[2-3], 现已成为一种倍受消费者关注的谷物食品。

谷物种子发芽过程中, 会产生一系列形态和生理生化变化。蛋白质和淀粉等物质水解, 矿物质和抗氧化

物质等质量分数增加, 植酸、蛋白酶抑制剂等抗营养因子质量分数降低, 提高了谷物食品的消化率, 以及矿物质和限制性氨基酸的质量分数, 从而提高了谷物食品的营养价值^[4]。因此, 开发芽类食品方面越来越受到人们的关注。Florian等^[5]研究表明通过延长燕麦发芽时间可促进抗营养因子植酸的降解; 较长的发芽时间明显地降低了燕麦的可溶性膳食纤维和 β -葡聚糖质量分数, 而不溶性

收稿日期: 2012-06-26

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-08-D1)

作者简介: 李利霞(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为食品化学。E-mail: lilixia0319@163.com

*通信作者: 李巨秀(1972—), 女, 副教授, 博士, 研究方向食品化学和功能食品。E-mail: juxiuli@msn.com

胡新中(1972—), 男, 副教授, 博士, 研究方向谷物科学和杂粮食品加工。E-mail: hxinzhong@yahoo.com

膳食纤维质量分数增加;发芽温度在10~20℃范围内变化对β-葡聚糖影响不大。国外对谷物发芽过程中营养物质的变化研究较深入^[6-7],国内对燕麦的研究主要集中于以β-葡聚糖为主的膳食纤维方面^[8-9],而制麦过程对燕麦营养物质的影响研究较少。本研究通过正交试验设计优化了燕麦的制麦工艺,以期为燕麦麦芽营养食品的开发利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

裸燕麦:由西北农林科技大学食品科学与工程学院胡新中副教授提供。

三氯化铁 天津市东丽区天大化学试剂厂;磺基水杨酸 国药集团化学试剂有限公司;植酸钠标品 美国Sigma公司;三氯乙酸 上海山浦化工有限公司;无水硫酸钠 天津博迪化工股份有限公司;无水乙醇、冰醋酸、氢氧化钠、氯化钠、盐酸均为分析纯。

1.2 仪器与设备

SPX-150生化培养箱 上海悦丰仪器仪表有限公司;YQ-PJ-5盘式粉碎机 轻工业部西安轻机所光电公司;HL-2B恒流泵 上海青浦扈西仪器厂;PHS-3C pH计 方舟科技有限公司;UVmini-1240分光光度计 岛津仪器(东莞)有限公司;SC-3610低速离心机 安徽中科中佳科学仪器有限公司;KJELTEC 2003全自动凯氏定氮仪 瑞典Foss Tecator公司;HH-6数显恒温水浴锅 国华电器有限公司。

1.3 方 法

1.3.1 样品制备

浸麦工艺流程^[10]如下:

浸麦6h→空气休止10h→浸麦4h→空气休止7h→浸麦3h→空气休止1h,总浸麦时间31h,浸麦之后发芽,发芽结束后于45℃进行干燥处理24h,之后人工去除麦根,磨粉,麦芽粉于-4℃保存。

1.3.2 燕麦麦芽指标分析

1.3.2.1 植酸质量分数的测定

根据GB/T 5009.153—2003《植物性食品中植酸的测定》的方法测定。

1.3.2.2 β-葡聚糖质量分数测定

采用试剂盒法。试剂盒为Megazyme kit(K-BGLU 04/06),分析方法依据EBC 4.16.1《EBC麦芽中β-葡聚糖检测方法》。

1.3.2.3 蛋白质体外消化率(*in vitro* protein digestibility, IVPD)

采用Fageer等^[11]的方法进行测定,略有修改。具体如下:

(1)凯氏定氮测麦芽粉中的氮质量分数。

(2)根据预实验结果取已知质量的麦芽粉,大约含16mg氮,加入含1mg胃蛋白酶的15mL 0.1mol/L 盐酸溶液,37℃恒温水浴中水解2h。反应终止时,立即加入15mL 10%三氯乙酸,用滤纸过滤,三氯乙酸中氮质量分数用微-凯氏定氮法测量。计算公式如下:

$$\text{IVPD}\% = \frac{X_1 - X_2}{X_3}$$

式中: X_1 为上清液中氮质量分数/%; X_2 为胃蛋白酶中氮质量分数/%; X_3 为样品中的氮质量分数/%。

1.3.3 燕麦制麦工艺单因素试验

以植酸质量分数、β-葡聚糖质量分数及蛋白质体外消化率作为评价指标,分别对浸麦温度、发芽时间和发芽温度做单因素试验,以确定各因素的影响效果和适宜范围。

1.3.4 燕麦制麦工艺优化试验

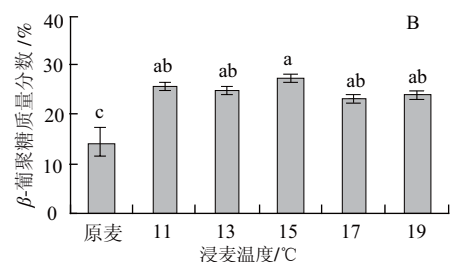
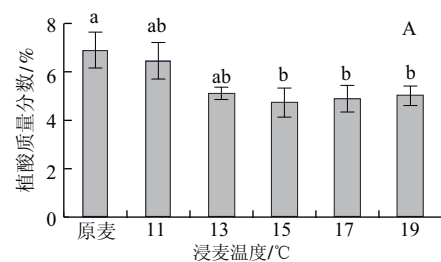
在单因素试验基础上,选用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计表,以浸麦温度(A)、发芽温度(B)和发芽时间(C)为考察因素,以麦芽植酸质量分数、β-葡聚糖质量分数、蛋白质体外消化率(IVPD)为考察指标,优化制麦工艺参数,从中筛选最优的工艺条件和技术参数。

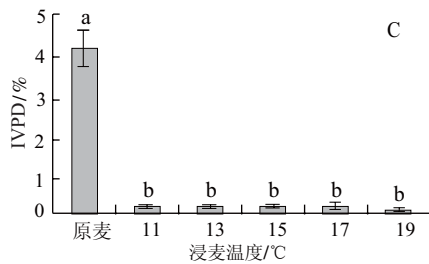
2 结果与分析

2.1 制麦工艺单因素试验

2.1.1 浸麦温度对麦芽理化指标的影响

采用1.3.1节加工工艺,分别于11、13、15、17、19℃条件下进行浸麦,发芽温度15℃,发芽5d,发芽结束后于45℃进行干燥处理24h,之后去根、磨粉,测定其指标。不同浸麦温度对植酸质量分数、β-葡聚糖质量分数和IVPD的影响分别如图1所示。





图中不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$); 相同小写字母表示差异不显著($P > 0.05$)。下同。

图1 浸麦温度对植酸质量分数(A)、 β -葡聚糖质量分数(B)和蛋白质体外消化率(C)的影响

Fig.1 Effect of steeping temperature on phytic acid content (A), β -glucan content (B) and protein digestibility in vitro (C)

浸麦是为了供给燕麦发芽时所需水分。浸渍之前, 燕麦的胚部水分质量分数很低, 生理活动极微。浸渍之后, 氧气随之进入种皮和胚部, 促进燕麦的呼吸作用, 生理代谢作用随之进行。麦粒水分质量分数达到一定范围, 才会达到均匀发芽的目的, 水分质量分数过低或过高, 均不利于发芽。浸麦温度越高, 浸渍时吸水速度越快。但一般浸麦温度不宜太高, 以防有损胚的生理作用^[12]。由图1A可知, 不同浸麦温度下植酸质量分数都有所下降, 浸麦温度为11、13℃时, 植酸质量分数与原麦相比差异不显著, 15、17、19℃条件下浸麦, 植酸质量分数与原麦相比差异显著($P < 0.05$), 浸麦温度为15℃时, 麦芽中植酸质量分数最低。

由图1B可知, 经过不同浸麦温度浸麦, 发芽后 β -葡聚糖质量分数都有明显的下降, 与原麦相比有显著性差异($P < 0.05$), 不同浸麦温度之间差异不显著, 浸麦温度为15℃时 β -葡聚糖质量分数高于其他浸麦温度。

由图1C可以看出, 与原麦相比, 浸麦温度对蛋白质体外消化率的影响不显著, 但当浸麦温度为15℃时与原麦的蛋白质体外消化率达到显著性差异($P < 0.05$), 同时浸麦温度为15℃时蛋白质体外消化率最高, 可能是因为15℃浸麦31h, 麦粒水分质量分数适宜, 增强了种子萌发过程中各种内源酶的活性。所以综合浸麦温度对植酸质量分数、 β -葡聚糖质量分数的影响结果, 可以选择浸麦温度为15℃进行后续实验。

2.1.2 发芽时间对麦芽理化指标的影响

采用1.3.1节加工工艺于15℃下浸麦, 在13℃的温度下分别发芽2、3、4、5、6d。不同的发芽时间对植酸质量分数、 β -葡聚糖质量分数和IVPD的影响如图2所示。

天然植酸是水溶性的, 发芽初期植酸质量分数的降低可能是由于其溶于水的原因^[13]。由图2A可知, 随着发芽时间的增长, 麦芽内植酸质量分数逐渐降低, 这可能与植酸酶活性有关, 在发芽过程中, 随着种子的萌发, 其内部生理代谢逐渐旺盛, 各种内源酶类被激活, 并开

始分解营养物质为种子生长提供能量^[14]。从图中还可以看出, 不同发芽天数的植酸质量分数与原麦相比均有显著性差异($P < 0.05$), 发芽的前三天植酸变化较为明显, 之后就趋于平缓, 这与Florian等^[5]研究结果一致。为了使植酸质量分数趋于较低水平, 可考虑从3、4、5、6d中选择发芽时间。

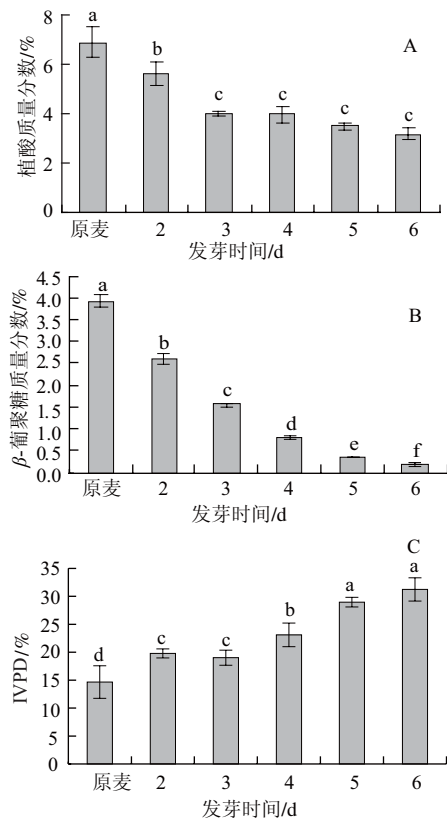


图2 发芽时间对植酸质量分数(A)、 β -葡聚糖质量分数(B)和蛋白质体外消化率(C)的影响

Fig.2 Effect of germination time on phytic acid content (A), β -glucan content (B) and protein digestibility in vitro (C)

由图2B可知, 随着发芽时间的增加, 麦芽中 β -葡聚糖质量分数显著降低, 不同发芽天数的 β -葡聚糖质量分数与原麦相比有显著性差异($P < 0.05$), 不同天数之间也达到显著性差异($P < 0.05$), 其下降原因是随着种子的复苏, 葡聚糖酶的活性增强, 生长代谢越发旺盛, β -葡聚糖逐渐被分解。由于 β -葡聚糖是对人体有益的物质, 所以在选择发芽时间时尽量不使其下降得太多以免影响其营养品质。

由图2C可得出随着发芽时间的延长, 蛋白质体外消化率逐渐提高, 该结果与Aisha等^[11]研究添加发芽玉米粉对玉米粉的IVPD的影响结果类似, 添加玉米芽的发芽时间越长, 玉米面粉的IVPD越高。可能是发芽显著的降低了抗营养因子植酸的质量分数。而植酸可与蛋白质结合成复合物, 使其不易溶解, 对酶的降解作用不敏感^[15]。

不同的发芽天数与原麦相比均有显著性差异($P<0.05$), 而不同天数之间3d与4d具有显著性差异、4d与5d具有显著性差异($P<0.05$), 由于蛋白质消化率越高越好, 所以可以在4d、5d之间进行选择。另外植酸质量分数在发芽第2天和第3天降解的幅度比较大, 之后较为平缓。综合以上指标, 选择发芽4d进行后续实验。

2.1.3 发芽温度对麦芽理化指标的影响

采用1.3.1节加工工艺于15℃条件下进行浸麦, 分别在11、13、15、17、19℃条件下发芽4d。不同的发芽温度对植酸质量分数、 β -葡聚糖质量分数和IVPD的影响如图3所示。

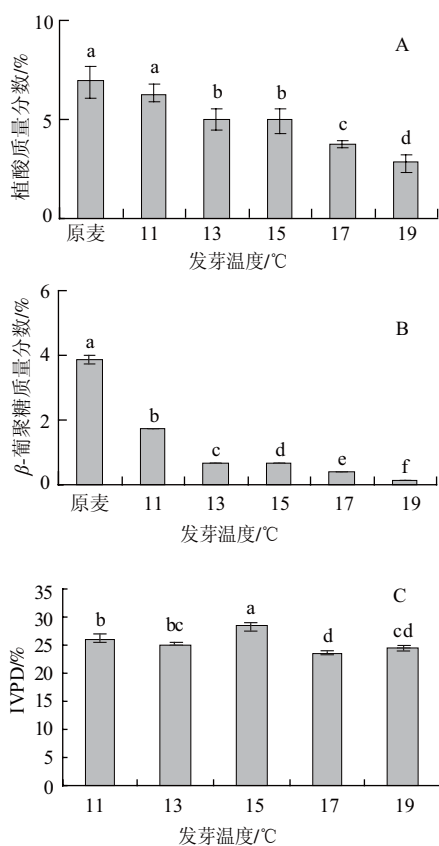


图3 发芽温度对植酸质量分数(A)、 β -葡聚糖质量分数(B)和蛋白质体外消化率(C)的影响

Fig.3 Effect of germination temperature on phytic acid content (A), β -glucan content (B) and protein digestibility in vitro (C)

温度是影响发芽过程的根本因素之一。一般地, 发芽温度升高, 麦芽内产生的内源酶活性不断增强, 与麦芽生长相关的生理生化反应加剧, 内容物溶解迅速^[16]。温度也不宜过高, 高温发芽, 麦粒呼吸作用和生长代谢旺盛, 升幅较大, 会导致其生长不均匀, 酶活力开始形成较迅速, 而后期不如低温者高^[12]。由图3A可知随着发芽温度的升高, 麦芽中植酸质量分数呈下降的趋势, 说明在11~19℃的范围内, 较高的温度增强了植酸酶的酶活性, 降低了植酸的质量分数。11℃条件下进行发

芽, 植酸质量分数与原麦差异不显著, 而13、15、17、19℃发芽植酸质量分数与原麦相比具有显著性差异($P<0.05$), 除13℃和15℃条件下植酸质量分数差异不显著外, 其他发芽温度间均有显著性差异($P<0.05$)。

从图3B可得出, 随着发芽温度的升高, β -葡聚糖的质量分数呈明显的下降趋势。可能是由于葡聚糖酶活性增强, β -葡聚糖降解程度加大^[5]。不同发芽温度条件下的 β -葡聚糖质量分数与原麦相比有显著性差异($P<0.05$), 不同温度之间也达到显著性差异($P<0.05$), 发芽温度为19℃时, β -葡聚糖质量分数已降至0.2%以下, 所以选择发芽温度时不宜太高。

从图3C可看出, 随着发芽温度的升高, 蛋白质体外消化率变化不明显, 发芽温度为11、13、17、19℃时, 不同温度之间的差异不显著, 而发芽温度为15℃时与其他温度达到显著性差异($P<0.05$), 并且发芽温度为15℃时蛋白质消化率较高, β -葡聚糖质量分数和植酸质量分数在15℃相比13℃时也较为理想。综合以上指标, 选择发芽温度为15℃进行后续实验。

2.2 制麦工艺正交优化试验

在单因素试验基础上, 选用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计, 优化影响燕麦营养品质的制麦工艺条件。试验设计及结果见表1, 方差分析见表2。

表1 制麦工艺正交优化试验结果

Table 1 Orthogonal array design matrix and corresponding results for optimization of malting conditions

试验号	A浸麦温度/℃	B发芽温度/℃	C发芽时间/h	空列	植酸质量分数/%	β -葡聚糖质量分数/%	IVPD/%
1	1(14)	1(14)	1(84)	1	6.68	1.10	28.02
2	1	2(15)	2(96)	2	4.39	0.51	27.30
3	1	3(16)	3(108)	3	5.62	0.19	34.12
4	2(15)	1	2	3	6.28	0.57	23.31
5	2	2	3	1	4.89	0.44	24.37
6	2	3	1	2	6.59	0.57	23.24
7	3(16)	1	3	2	5.97	0.28	27.66
8	3	2	1	3	6.015	0.70	20.84
9	3	3	2	1	5.02	0.27	27.51
K_{A1}	33.40	37.86	38.57	33.19			
K_{A2}	35.52	30.58	31.40	33.91			
K_{A3}	34.00	34.48	32.95	35.82			
k_{B1}	5.57	6.31	6.43	5.53			
k_{B2}	5.92	5.10	5.23	5.56			
k_{B3}	5.67	5.75	5.49	5.97			
R_A	0.35	1.21	1.20	0.44			
K_{B1}	3.61	3.91	4.74	3.62			
K_{B2}	3.16	3.31	2.72	2.72			
K_{B3}	2.51	2.05	1.82	2.93			
k_{C1}	0.60	0.65	0.79	0.60			
k_{C2}	0.53	0.55	0.45	0.45			
k_{C3}	0.42	0.34	0.30	0.49			
R_B	0.18	0.31	0.48	0.13			
K_{C1}	178.89	157.98	144.20	159.80			
K_{C2}	141.85	145.01	156.25	156.40			
K_{C3}	152.01	169.76	172.30	156.54			
k_{C1}	29.81	26.33	24.03	26.63			
k_{C2}	23.64	24.17	26.04	26.07			
k_{C3}	25.33	28.29	28.72	26.09			
R_C	6.17	4.12	4.68	0.57			

由表1极差分析结果可知, 3个因素对植酸质量分数影响的主次顺序为 $B > C > A$, 即发芽温度 $>$ 发芽时间 $>$ 浸麦温度, 最佳工艺为 $A_1B_2C_2$; 对 β -葡聚糖质量分数影响的主次顺序为发芽时间 $>$ 发芽温度 $>$ 浸麦温度, 最佳工艺为 $A_1B_1C_1$; 对蛋白质消化率影响的主次顺序为浸麦温度 $>$ 发芽时间 $>$ 发芽温度, 最佳工艺为 $A_1B_3C_3$ 。由于 A 因素对植酸和 β -葡聚糖影响均很小, 可以以蛋白质消化率作为选取标准, 且3个指标最佳都为 A_1 , 故选择 A_1 。 B 因素是植酸的主要影响因素, β -葡聚糖的次要影响因素, 蛋白质消化率的最次影响因素, 可以考虑以植酸为选取标准, 选择 B_2 。 C 因素是 β -葡聚糖的主要影响因素, 植酸的次要影响因素, 若以 β -葡聚糖为主, 则选择 C_1 , 但从结果来看, 在 C_1 和 C_2 条件下, β -葡聚糖质量分数相差不大, 而植酸质量分数相差比较大, 从营养角度考虑选择 C_2 较好, 另外选取 C_2 时蛋白质消化率也较高, 故选择 C_2 。由极差分析所得最佳优化工艺组合为 $A_1B_2C_2$, 即浸麦温度 14°C 、发芽温度 15°C 、发芽时间 96h 。

表2 正交试验方差分析表

Table 2 ANOVN results of phytic acid content, β -glucan content and protein digestibility *in vitro*

指标	变异来源	平方和	自由度	均方	F值	P值
植酸质量分数	A	0.40	2	0.20	14.03	0.002
	B	4.42	2	2.21	155.54	0.0001
	C	4.75	2	2.38	167.19	0.001
	D	0.62	2	0.31		
	误差	0.74	11	0.32		
	总和	10.93	19			
β -葡聚糖质量分数	A	0.10	2	0.05	4.77	0.0322
	B	0.30	2	0.15	14.12	0.0009
	C	0.74	2	0.37	35.10	0.0001
	D	0.07	2	0.04		
	误差	0.12	11	0.01		
	总和	1.33	19			
IVPD	A	122.09	2	61.05	220.73	0.0001
	B	51.07	2	25.54	92.34	0.0001
	C	66.28	2	33.14	119.83	0.0001
	D	1.23	2	0.62		
	误差	3.04	11			
	总和	243.73	19			

从表2方差分析的结果可知, 3个因素对燕麦中植酸质量分数、蛋白质消化率都有极显著影响($P < 0.01$)。发芽温度和发芽时间对 β -葡聚糖质量分数有极显著影响($P < 0.01$), 浸麦温度对 β -葡聚糖质量分数具有显著影响($P < 0.05$)。

综上所述, 各因素的最优组合为 $A_1B_2C_2$, 即浸麦温度 14°C 、发芽温度 15°C 、发芽时间 96h 。

3 讨论与结论

3.1 讨论

优化得到的较优的制麦工艺条件是浸麦温度 14°C 、

发芽温度 15°C 、发芽时间 96h 。该结果与国内外有关燕麦和大麦的制麦研究结果类似。Larsson等^[14]研究的燕麦制麦过程中植酸的降解中发芽条件是 15°C 发芽 120h 。Wang Junmei等^[6]研究的大麦制麦前后 β -葡聚糖质量分数和 β -葡聚糖酶活性的变化中采用的是 15°C 发芽 96h 。

制麦过程对燕麦的营养品质有显著影响, 采用优化出的工艺条件进行制麦, 燕麦中植酸质量分数下降了 42.8% , 蛋白质消化率上升了 142.1% , 而 β -葡聚糖质量分数下降了 91% 。有报道^[7]红高粱、小米、玉米经过 74 、 62 、 66h 发芽后, 植酸质量分数分别下降了 53% 、 67% 和 27% 。发芽过程显著的降低了植酸质量分数, 是由于发芽可以增强植酸酶的活性。Florian等^[5]研究的发芽条件对燕麦 β -葡聚糖质量分数的影响中得出, 较短的发芽时间导致 β -葡聚糖显著降解。发芽时间大于 96h 时, β -葡聚糖质量分数仅为 0.2% 。有报道^[17]燕麦蛋白体外消化率随着发芽时间的延长而增加, 发芽 60h , 蛋白体外消化率增加了 19% 。并认为发芽过程中蛋白组分和氨基酸组成的变化可能是影响蛋白体外消化率的因素。Elsheikh等^[18]认为抗营养因子的显著降解使得蛋白质体外消化率得以提高。制麦使燕麦中抗营养物质质量分数降低, 同时提高了蛋白质、氨基酸的生物利用率, 极大地改善了燕麦的营养品质, 而发芽后 β -葡聚糖质量分数降低对燕麦产品利用有益与否取决于其具体的用途。基于 β -葡聚糖功能特性的产品利用范围有所降低。而酿造用的麦芽要求 β -葡聚糖质量分数低, 由于高分子量的 β -葡聚糖不利于啤酒的过滤, 容易造成啤酒浑浊, 从而影响啤酒品质^[19]。

3.2 结论

通过优化得出的最佳制麦工艺条件: 采用浸麦工艺(浸麦 6h →休止 10h →浸麦 4h →休止 7h →浸麦 3h →休止 1h), 浸麦温度 14°C 进行浸麦, 15°C 发芽 4d 。

发芽温度与发芽时间是影响燕麦麦芽营养品质的主要因素, 随着发芽温度的升高($11\sim 19^\circ\text{C}$), 发芽时间的延长($2\sim 6\text{d}$), 燕麦麦芽中植酸质量分数和 β -葡聚糖质量分数降低, 而蛋白质消化率随发芽时间的延长而升高。

参考文献:

- [1] 胡新中, 魏益民, 任长忠. 燕麦品质与加工[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1.
- [2] 张丽萍, 翟爱华. 燕麦的营养功能特性及综合加工利用[J]. 食品与机械, 2004, 20(2): 55-57.
- [3] 黄艾祥, 吴存三. 燕麦及其营养食品的研究开发[J]. 粮食与饲料工业, 2000(9): 49-50.
- [4] TIAN Binqiang, XIE Bijun, SHI J, et al. Physicochemical changes of oat seeds during germination[J]. Food Chemistry, 2010, 119(3): 1195-1200.
- [5] FLORIAN H, TONYA O N, KEVIN D, et al. The influence of germination conditions on beta-glucan, dietary fibre and phytate during the germination of oats and barley[J]. Eur Food Res Technol, 2010, 231(1): 27-35.

- [6] WANG Junmei, ZHANG Guoping, CHEN Jinxin, et al. The changes of β -glucan content and β -glucanase activity in barley before and after malting and their relationships to malt qualities[J]. Food Chemistry, 2004, 86: 223-228.
- [7] TRAORE T, MOUQUET C, ICARD-VERNIERE C, et al. Changes in nutrient composition, phytate and cyanide contents and α -amylase activity during cereal malting in small production units in Ouagadougou (Burkina Faso)[J]. Food Chemistry, 2004, 88(1): 105-114.
- [8] 王晓磊, 赵小皖, 司辉清. 燕麦 β -葡聚糖的研究进展及在食品中的应用[J]. 粮食与饲料工业, 2011(3): 42-43.
- [9] 申瑞玲, 王英, 董吉林. 燕麦膳食纤维对胃肠道消化吸收功能影响[J]. 粮食与油脂, 2011(2): 7-9.
- [10] KLOSE C, SCHEHL B D, ARENDT E K. Fundamental study on protein changes taking place during malting of oats[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(1): 83-91.
- [11] FAGEER A S M, BABIKER E E, TINAY A H E. Effect of malt pretreatment and/or cooking on phytate and essential amino acids contents and *in vitro* protein digestibility of corn flour[J]. Food Chemistry, 2004, 88(2): 261-265.
- [12] 管敦仪. 啤酒工业手册(修订本)[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998.
- [13] 苗颖, 马莺. 发芽方法去除大豆中植酸的研究[J]. 粮食与饲料工业, 2010(8): 49-51.
- [14] LARSSON M, SANDBERG A S. Malting of oats in a pilot-plant process. Effects of heat treatment, storage and soaking conditions on phytate reduction[J]. Journal of Cereal Science, 1995, 21(1): 87-95.
- [15] CAMOVALE E, LUGARO E, LOMBARDI-BOCCIA G. Phytic acid in faba bean and pea: effect on protein availability[J]. Cereal Chemistry, 1988, 65(2): 114-117.
- [16] 韩秀峰, 负建民, 曾朝珍. 大麦发芽条件的研究[J]. 大麦与谷类科学, 2008(1): 18-19.
- [17] 徐建国. 燕麦发芽过程中游离氨基酸及体外消化率的变化[J]. 陕西农业科学, 2012(1): 3-5.
- [18] ELSHEIKH E A E, FADUL I A, TINAY A H E. Effect of cooking on anti-nutritional factors and *in vitro* protein digestibility (IVPD) of faba bean grown with different nutritional regimes[J]. Food Chemistry, 2000, 68(2): 211-212.
- [19] MUNOZ-INSA A, GASTL M, ZARNKOW M, et al. Optimization of the malting process of oat (*Avena sativa* L.) as a raw material for fermented beverages[J]. Spanish Journal of Agricultural Research, 2011, 9(2): 510-523.