

# 以青稞 $\beta$ -葡聚糖为主要基质的保健果冻研制

杨文字<sup>1,2</sup>, 江春艳<sup>2</sup>, 严冬<sup>2</sup>, 杨鑫岷<sup>1</sup>

(1. 西华大学生物工程学院, 四川 成都 610039; 2. 西藏天知生物科技开发有限公司, 西藏 拉萨 850000)

**摘要:** 以青稞  $\beta$ -葡聚糖为主要基质, 研究一种降脂保健果冻的配方及制法。通过考察不同配方的组织形态、硬度和咀嚼感等 9 项感官指标初步筛选出果冻基质配方, 以凝胶强度、黏度和持水性为指标用正交试验优化基质配方; 以色泽、风味和口感为指标采用正交试验筛选添加有山楂和甘草提取物的青稞  $\beta$ -葡聚糖保健果冻的配方。结果表明: 所得基质的配方( $m/m$ )为 5.0% 青稞  $\beta$ -葡聚糖、0.5% 明胶、5.0% 甘油; 保健果冻中添加剂用量( $m/m$ )为山楂提取物 1.5%、甘草提取物 0.5%~2.5%、白砂糖 8.0%。所制得的降脂保健果冻具有口感佳、安全防噎、入口即化的特点。

**关键词:** 青稞;  $\beta$ -葡聚糖; 保健果冻; 正交试验

## Development of Functional Jelly Using Tibetan Hulless Barley $\beta$ -glucan as Main Matrix Material

YANG Wen-yu<sup>1,2</sup>, JIANG Chun-yan<sup>2</sup>, YAN Dong<sup>2</sup>, YANG Xin-yu<sup>1</sup>

(1. School of Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China;

2. Tibet Tianzhi Bio-technology Co. Ltd., Lhasa 850000, China)

**Abstract:** The product formulation and preparation process for a jelly with lipid-lowering function using Tibetan hulless barley  $\beta$ -glucan (THBG) as main matrix material were investigated in this study. THBG, gelatin and glycerin was found to be the optimal jelly matrix components among 12 formulations in terms of sensory and texture properties, and the optimal jelly matrix composition was 5% THBG, 0.5% gelatin and 5% glycerin in terms of gel strength, viscosity and water-holding capacity as determined using orthogonal array design. Additives such as hawthorn extract, licorice extract and sugar were added to the matrix at concentrations of 1.5%, 0.5% — 2.5% and 8.0%, respectively. The jelly obtained was a safe functional product with characteristics of good taste, no choking hazard and good meltability in the mouth.

**Key words:** Tibetan hulless barley;  $\beta$ -glucan; functional jelly; orthogonal array design

中图分类号: TS202.3

文献标识码: B

文章编号: 1002-6630(2012)04-0296-05

青稞  $\beta$ -葡聚糖是从我国藏区粮食作物青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. F)或藏青稞(*H. vulgare* L. var. *trifurcatum* (Schlecht.) Alef)中提取得到的一类葡萄糖单元通过  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3)和  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4)苷键连接而成的高分子非淀粉多糖<sup>[1-4]</sup>, 是一种具有良好持水性的胶凝剂和增稠剂<sup>[5]</sup>。动物实验<sup>[6-7]</sup>表明, 青稞  $\beta$ -葡聚糖对高血脂大鼠、小鼠均有降低总胆固醇和总甘油三酯的作用; 初步的临床试验<sup>[8]</sup>亦证实了其降血脂作用: 10 余位高血脂患者志愿者连续服用青稞  $\beta$ -葡聚糖胶囊 3 个月后, 血清胆固醇总量和甘油三酯含量显著下降。因此, 青稞  $\beta$ -葡聚糖在

保健食品领域有很好的应用前景。本实验以青稞  $\beta$ -葡聚糖为主要基质, 以药食两用中药山楂和甘草的提取物为辅助活性物质及风味剂, 对定位为降脂保健、安全防噎的青稞  $\beta$ -葡聚糖果冻进行研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

青稞  $\beta$ -葡聚糖 西藏天知生物科技开发有限公司; 琼脂、明胶、甘油、白砂糖均为食品级; 山楂、甘草购于成都荷花池中药材专业市场。

收稿日期: 2011-02-20

基金项目: 科技部科技人员服务企业行动项目(2009GJF40006); 西华大学重点科研基金项目(Z0820503);

西华大学中药生物技术二级实验室项目(川中医药函 2009-119);

西华大学天然药物研究与工程重点实验室项目(XZD0821-09-1)

作者简介: 杨文字(1973—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为天然活性成分。E-mail: youngwenyu@hotmail.com

LM 型真空均质混合机 启东市汇龙混合设备厂；  
NDJ-1 型旋转黏度计 上海恒平科学仪器有限公司；  
分析用离心过滤管 美国 Costar 公司；GT16-3 型高速台式  
离心机 北京医用离心机有限公司。

## 1.2 试验设计

### 1.2.1 果冻基质配方的筛选

以青稞  $\beta$ -葡聚糖为主要胶凝剂，配以琼脂或明胶，  
以甘油为增塑剂，按不同的比例复配为果冻基质，先  
以感官性质色泽、透明度、组织形态、硬度、脆性、  
弹性、黏性、咀嚼感、嗅味等为评价指标(重点考察组  
织形态、硬度和咀嚼感 3 个指标)，初步筛选出较优的  
果冻基质成分和比例，在此基础上，设计正交试验，  
以凝胶强度、持水性和黏度为评价指标，对基质配方  
进行优化。

### 1.2.2 青稞 $\beta$ -葡聚糖果冻配方的筛选

先考察山楂提取物和甘草提取物与上述优化的果冻  
基质的相容性，在此基础上，以色泽、风味、口感  
为评价指标，通过正交试验对果冻配方进行优化。

## 1.3 山楂提取物的制备

山楂药材经净制、粉碎后，加 95% 乙醇浸泡过夜，  
然后用渗漉法进行提取，收集 15 倍山楂药材质量的渗漉  
液，减压回收乙醇得醇提物，将醇提物用 10 倍山楂药  
材质量的水搅拌溶解，静置过夜，过滤，滤液减压浓  
缩至小体积，然后进行冷冻干燥，得质地疏松、水溶  
性好的山楂提取物粉末。

## 1.4 甘草提取物的制备

取甘草药材，按山楂提取物的制备方法进行操作，  
得水溶性甘草提取物粉末。

## 1.5 果冻配制工艺

在均质混合机中加入适量的水，搅拌加入山楂提取  
物、甘草提取物和白砂糖，待完全溶解后，加入青稞  
 $\beta$ -葡聚糖等基质原料，搅拌均匀，升温至 80~90℃ 并  
保温 30min(间歇均质 3 次，每次 1~2min)，趁热过滤(真  
空吸滤，筛网 100 目)，然后缓慢搅拌条件下真空脱气，  
出料、灌装、冷却，得成品果冻。

## 1.6 山楂、甘草提取物与果冻基质的相容性考察

在正交试验筛选出的优化果冻基质配方中分别添加  
0.5%、1.0%、1.5%、2.0%、2.5%(m/m)的山楂提取物  
或甘草提取物，按 1.5 节方法配制样品，以凝胶强度和  
黏度为指标评价相容性。

## 1.7 感官指标的评价

参考 GB 19883—2005《果冻》，目视检查色泽、  
透明度和组织形态，口尝检查硬度、脆性和咀嚼感(硬  
度、脆性同时用玻棒挤压或手捻方法检查)，玻棒挤压

或手捻检查弹性和黏性，鼻闻检查嗅味。

## 1.8 凝胶强度的测定

根据文献[9-11]的装置和方法并稍加改进，采用图 1  
所示的装置进行测定。具体步骤是：取果冻 50g 置 100mL  
量筒中(果冻配好时趁热注入，冷却 12h 后测定)，将  
量筒置等臂杠杆的一端，杠杆另一端放上等质量的物  
体以使杠杆平衡，将固定于铁架台上的玻璃棒(横截面  
积为 1cm<sup>2</sup>)伸入装有果冻的量筒，调节位置高低，使  
玻璃棒与果冻表面刚好接触；在杠杆另一端逐渐添加  
重物(如水、石英砂等)，玻璃棒将会对果冻表面产生  
着用力，当玻璃棒进入果冻的长度达 5cm 时停止实  
验，根据杠杆另一端所加重物的总质量计算样品的凝  
胶强度(g/cm<sup>2</sup>)。

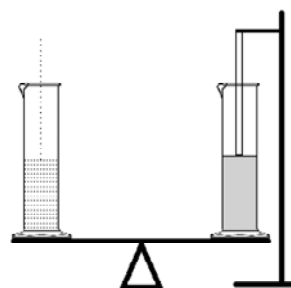


图 1 凝胶强度测定装置

Fig.1 Device for determining gel strength

## 1.9 持水性的测定

参照 Mao 等<sup>[12]</sup>方法进行测定。取一定量的果冻置  
分析用离心过滤器(体积 5mL，滤板孔径 0.45  $\mu$ m)中，  
在 2000r/min 条件下离心 30min，离心后立即称量，以  
果冻离心后的质量与离心前的质量的比值作为果冻的持  
水性。

## 1.10 黏度的测定

按照文献[13]方法测定。取刚配好的果冻，置冰浴  
中冷却，冷却过程中不断缓慢搅拌，用旋转黏度计测  
定黏度，测定条件：选用 1 号转子，转速 60r/min，温  
度 25℃(可根据实际情况选择转子和转速)。

# 2 结果与分析

## 2.1 果冻基质的初步筛选

由表 1 可以看出，青稞  $\beta$ -葡聚糖与琼脂配伍的配  
方均不透明，硬度较与明胶配伍的配方更大，且均有  
嚼劲(琼脂的质量分数越大则嚼劲越强)，其主要优势  
在于成型性好、几无黏性(果冻易脱离容器而不黏器壁)。  
青稞  $\beta$ -葡聚糖与明胶配伍的配方的特点在于外观呈半透

表1 果冻基质初步筛选结果  
Table 1 Results of screening of jelly matrix

序号	配方	色泽	透明度	组织形态	硬度	脆性	咀嚼感	弹性	黏性	臭味
1	B + A(3.5% + 3%)	乳白偏黄	不透明	凝胶状	太大	较脆	有嚼劲	一般	几无黏性	轻微麦味
2	B + A + G2(3.5% + 2% + 3%)	乳白偏黄	不透明	凝胶状	大	一般	有嚼劲	一般	几无黏性	轻微麦味
3	B + A(4% + 1.5%)	乳白偏黄	不透明	凝胶状	大	一般	有嚼劲	一般	几无黏性	轻微麦味
4	B + A + G2(4% + 1.5% + 3%)	乳白偏黄	不透明	凝胶状	较大	一般	有嚼劲	略有弹性	几无黏性	轻微麦味
5	B + A(4.5% + 0.5%)	乳白偏黄	不透明	凝胶状	一般	无脆性	稍有嚼劲	略有弹性	一般	轻微麦味
6	B + A + G2(4.5% + 0.5% + 3%)	乳白偏黄	不透明	凝胶状	一般	无脆性	稍有嚼劲	略有弹性	一般	轻微麦味
7	B + G1(3.5% + 3%)	浅黄	半透明	粗糙凝胶状	较大	一般	入口易化	较好	一般	明胶臭味
8	B + G1 + G2(3.5% + 2% + 3%)	浅黄	半透明	较粗糙凝胶状	一般	一般	入口易化	好	一般	明胶臭味
9	B + G1(4% + 1.5%)	浅黄	半透明	较粗糙凝胶状	一般	一般	入口易化	好	较黏	明胶臭味
10	B + G1 + G2(4% + 1% + 3%)	浅黄	半透明	略粗糙凝胶状	一般	一般	入口即化	好	较黏	明胶臭味
11	B + G1(4.5% + 0.5%)	浅黄	半透明	凝胶状	软	无脆性	入口即化	较差	较黏	轻微麦味
12	B + G1 + G2(4.5% + 0.5% + 4%)	浅黄	半透明	细腻凝胶状	较软	无脆性	入口即化	较差	较黏	轻微麦味

注: B.青稞β-葡聚糖(3.5%~4.5%); A.琼脂(0.5%~3%); G1.明胶(0.5%~3%); G2.甘油(3%~4%)。

明状,入口易于溶化,非常适宜制作安全防噎果冻。明胶的用量对于果冻的感官指标有明显影响,基本趋势是:用量较大,则果冻团块较粗糙,且臭味明显。甘油对琼脂和明胶均有增塑作用,能改善琼脂配方的硬度、增强明胶配方的细腻感。根据组织形态、硬度和咀嚼感3个主要指标综合考虑,果冻基质以质地细腻、无硬性、入口即化为佳,因此表1中配方12为较好配方,适宜作为可吸果冻的基质。

2.2 果冻基质用量优化正交试验

根据果冻基质的初步实验结果,以凝胶强度、持水性、黏度为评价指标,用正交试验进一步对青稞β-葡聚糖、明胶、甘油用量进行优化。采用L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>)正交表安排试验,结果见表2、3。

根据评价指标的期望方向进行综合分析。对于防噎、可吸果冻而言,凝胶强度和黏度不能太大,在本正交试验范围内,其期望方向应当是越小越好;而持水性的期望方向则是越大越好。由于各指标的期望方向不一致,因此不宜采用综合评分法进行分析,而应当先对各指标分别分析,再综合得出优化方案。

从表2、3可以看出,各因素对凝胶强度的影响顺序为B>A>C,因素B和A应选择较低的水平;各因素对持水性的影响,A>>B≈C,3个因素均有显著性,A为主要因素,因此A应选择较高的水平,B和C也倾向于选较高水平;各因素对黏度的影响顺序为A>B>C,以A的影响较显著,A应选择较低的水平,B、C无显著性可任选。综合分析:因素A和B同时出现较高和较低水平的选择倾向性,因此应以中间水平A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>为宜;因素C仅对持水性有明显影响,倾向于选较高水平,但考虑到其对果冻的最终品质影响较小,因此

仍以选择中间水平为宜。所以,优化方案为定为A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>。

表2 果冻基质用量优化正交试验设计和结果  
Table 2 Orthogonal array design and results for optimization of jelly matrix composition

试验号	A 青稞β-葡聚糖用量/%	B 明胶用量/%	C 甘油用量/%	D 空列	凝胶强度/(g/cm <sup>2</sup> )	持水性/%	黏度/(mPa·s)
1	1(4.0)	1(0.2)	1(2.0)	1	91.5	62.3	2216.6
2	1	2(0.5)	2(5.0)	2	108.1	69.9	2436.9
3	1	3(0.8)	3(8.0)	3	120.3	76.0	2572.9
4	2(5.0)	1	2	3	104.8	71.1	2606.8
5	2	2	3	1	108.5	78.9	2838.7
6	2	3	1	2	128.1	73.8	3177.6
7	3(6.0)	1	3	2	107.0	83.7	2938.2
8	3	2	1	3	123.9	81.6	3201.5
9	3	3	2	1	138.2	87.2	3736.8
凝胶强度	k <sub>1</sub> 106.63	101.10	114.5	112.73			
	k <sub>2</sub> 113.80	113.50	117.03	114.40			
	k <sub>3</sub> 123.03	128.87	111.93	116.33			
	R 16.40	27.77	5.10	3.60			
持水性	k <sub>1</sub> 69.40	72.37	72.57	76.13			
	k <sub>2</sub> 74.60	76.80	76.07	75.80			
	k <sub>3</sub> 84.13	79.00	79.53	76.23			
	R 14.77	6.63	6.97	0.43			
黏度	k <sub>1</sub> 2408.80	2587.20	2865.23	2930.70			
	k <sub>2</sub> 2874.37	2825.70	2926.83	2850.90			
	k <sub>3</sub> 3292.17	3162.43	2783.27	2793.73			
	R 883.37	575.23	143.57	136.97			

2.3 山楂、甘草提取物与果冻基质的相容性

添加0.5%~2.5%的山楂提取物或甘草提取物将使果冻基质的凝胶强度和黏度略有下降(图2),但降幅均在10%以内,因此,山楂和甘草提取物与果冻有较好的相容性。

表3 果冻基质用量优化正交试验结果方差分析

Table 3 Analysis of variance for gel strength

方差来源	凝胶强度				持水性				黏度			
	离差平方和	自由度	均方	F值	离差平方和	自由度	均方	F值	离差平方和	自由度	均方	F值
A	405.58	2	202.79	20.82*	336.62	2	168.31	1089.76**	1171645.83	2	585822.91	41.26*
B	1160.88	2	580.44	59.61*	68.50	2	34.25	221.75*	501164.98	2	250582.49	17.65
C	39.02	2	19.51	2.00	72.80	2	36.40	235.69**	1124.48	2	15562.24	1.10
误差	19.48	2	9.74	0.31	2	0.15	28395.94	2	14197.97			

注：\*.差异显著， $P < 0.05$ ；\*\*.差异极显著， $P < 0.01$ 。表5同。

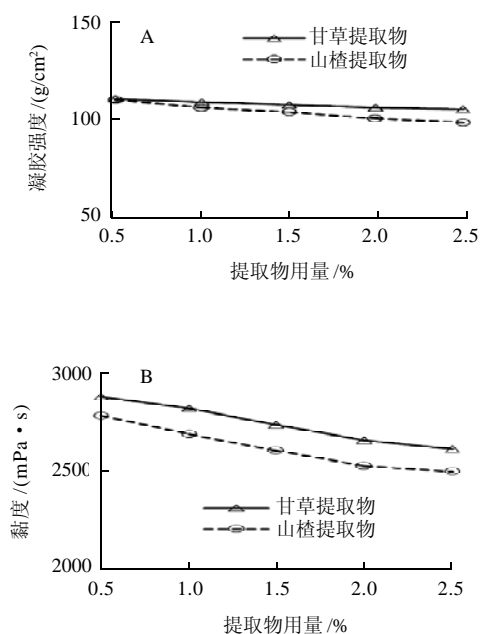


图2 提取物用量对凝胶强度(A)和果冻黏度(B)的影响

Fig.2 Effects of extracts on jelly gel strength(A) and viscosity(B)

## 2.4 青稞β-葡聚糖果冻生产配方正交试验

表4 青稞β-葡聚糖果冻生产配方正交试验设计和结果

Table 4 Orthogonal array design and results for optimization of additives addition

试验号	A 山楂提取物用量/%	B 甘草提取物用量/%	C 白砂糖用量/%	D 空列	色 泽	风 味	口 感	Y 综合评分
1	1(0.5)	1(0.5)	1(2.0)	1	88.5	64.3	71.9	82.1
2	1	2(1.5)	2(5.0)	2	82.6	77.8	73.6	87.2
3	1	3(2.5)	3(8.0)	3	80.1	75.9	78.1	88.1
4	2(1.5)	1	2	3	73.2	85.6	86.5	94.6
5	2	2	3	1	70.5	83.7	90.3	95.2
6	2	3	1	2	58.8	72.2	87.2	86.3
7	3(2.5)	1	3	2	69.3	81.6	81.1	89.4
8	3	2	1	3	62.6	68.1	82.7	83.2
9	3	3	2	1	53.4	78.3	79.8	83.9
$k_{r1}$	85.80	88.7	83.87	87.07				
$k_{r2}$	92.03	88.53	88.57	87.63				
$k_{r3}$	85.50	86.10	90.9	88.63				
$R_T$	6.53	2.6	7.03	1.56				

表5 综合评分结果的方差分析

Table 5 Analysis of variance for comprehensive sensory score of jelly

方差来源	离差平方和	自由度	均方	F值
A	81.63	2	40.81	21.62*
B	12.71	2	6.35	3.37
C	77.00	2	38.50	20.39*
误差	3.78	2	1.89	

采用上述优化的果冻基质，以色泽、风味和口感为品质评价指标，采用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计对山楂提取物、甘草提取物、白砂糖用量进行优化，经30人品尝打分。由于色泽、风味、口感3个指标的期望方向一致，即评分越高表示品质越好，因此可用综合评分法分析。设定3者的权重分别为0.20、0.35、0.45，则综合评分： $Y = [(\text{色泽} \div \text{色泽}_{\max}) \times 0.2 + (\text{风味} \div \text{风味}_{\max}) \times 0.35 + (\text{口感} \div \text{口感}_{\max}) \times 0.45] \times 100$  (色泽<sub>max</sub>、风味<sub>max</sub>和口感<sub>max</sub>分别为试验结果中3个指标评分的最大值)。

由表4可知，各因素对果冻品质的影响顺序为 $C > A > B$ ；由表5可知，因素C和A对品质有显著影响，B无显著影响，表4中 $C_3$ 水平的试验中综合评分最高者为试验5，故最佳水平组合为 $A_2C_3$ ，B的水平可任选。

## 3 结 论

青稞β-葡聚糖适宜用作可吸果冻的基质，由5.0%青稞β-葡聚糖、0.5%明胶和5.0%甘油组成的基质具有安全防噎、入口即化的特点，添加1.5%山楂提取物、0.5%~2.5%甘草提取物和8.0%白砂糖，可得到风味好、口感佳、具降脂保健作用的果冻产品。

## 4 讨 论

4.1 青稞β-葡聚糖是一种新型天然植物多糖类凝胶剂，其凝胶具有质地细腻、柔软、黏弹性不强、口感好、入口即化等优点，非常适宜用作安全防噎可吸果冻的基质。其不足之处在于凝胶透明性稍差、略带黄色，且需较大用量(5%甚至更多)才能形成较为稠厚的凝胶，又因从不同产地青稞或不同提取方法得到的青稞

$\beta$ -葡聚糖的相对分子质量可能有一些差异<sup>[14]</sup>, 故其用量需根据实际情况进行调整。此外, 其凝胶的稠度受温度影响不大, 为方便配制, 应将其他原料先加入水中溶解后再添加青稞  $\beta$ -葡聚糖等基质原料。

4.2 果冻基质配方初步筛选时主要以感官指标进行评价, 这是由于感官指标易于观测、效率较高, 能在较短时间内筛选大量配方, 获得初步研究结果。感官指标中的关键要素如组织形态、硬度、脆性、弹性、黏性、咀嚼感等能够用凝胶强度、黏度、持水性等理化指标进行直接或间接衡量, 因此, 为保证实验的可靠性, 优化果冻基质的正交试验以这些理化指标作为评价指标。通常, 凝胶强度是以使单位面积的凝胶表面发生破裂所施加的力来表示的, 但是, 由于实验中一些凝胶的表面破裂不易观察, 甚至一些凝胶在玻棒陷入表面以下后仍难以确定是否破裂, 因此, 借鉴 Yong 等<sup>[9]</sup>的方法, 用玻棒进入凝胶 5cm 时所加的质量来计算凝胶强度。

4.3 青稞含有丰富的  $\beta$ -葡聚糖, 研究<sup>[18]</sup>表明, 西藏产区 75 个青稞品种的  $\beta$ -葡聚糖含量为 3.66%~8.62%、平均含量为 5.25%, 全国其他产区的 132 个品种的  $\beta$ -葡聚糖含量为 1.57%~6.52%、平均含量为 3.91%; 而且越来越多的高  $\beta$ -葡聚糖产量的青稞品种不断被培育成功并推广栽培<sup>[15-17]</sup>。因此, 青稞  $\beta$ -葡聚糖值得深入开发利用。

#### 参考文献:

[1] IGARASHI O, SAKURAI Y. Studies on the non-starchy polysaccharides of the endosperm of naked barley. Part I. Preparation of the water soluble  $\beta$ -glucans from naked barley endosperm and their properties[J].

Agric Biol Chem, 1965, 29(7): 678-686.

- [2] IGARASHI O, SAKURAI Y. Studies on the non-starchy polysaccharides of the endosperm of naked barley. Part II. The periodate oxidative degradation of F-1- $\beta$ -glucan prepared from endosperm of naked barley [J]. Agric Biol Chem, 1966, 30(7): 642-645.
- [3] IGARASHI O, IGOSHI M, SAKURAI Y. Studies on the non-starchy polysaccharides of the endosperm of naked barley. Part III. The laminarinase degradation of F-1- $\beta$ -glucan[J]. Agric Biol Chem, 1966, 30(12): 1254-1260.
- [4] IGARASHI O, SAKURAI Y. Studies on the non-starchy polysaccharides of the endosperm of naked barley. Part IV. The structure of F-4- $\beta$ -glucan[J]. Agric Biol Chem, 1967, 31(5): 578-580.
- [5] 申瑞玲, 曹高山, 常广双, 等. 青稞  $\beta$ -葡聚糖凝胶形成及其特性研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(7): 55-58; 80.
- [6] 文一. 青稞  $\beta$ -葡聚糖的降血脂功能研究[D]. 重庆: 西南农业大学, 2005.
- [7] 王恒良. 西藏青稞资源利用评价及其青稞提取物  $\beta$ -葡聚糖的生理功效研究[D]. 拉萨: 西藏大学, 2008.
- [8] 强小林, 顿珠次仁, 张文会, 等. 青稞  $\beta$ -葡聚糖生理功效、提取技术及其新产品研发[J]. 西藏科技, 2010(2): 6-9; 25.
- [9] YONG C S, CHOI J S, QUAN Q Z, et al. Effect of sodium chloride on the gelation temperature, gel strength and bioadhesive force of poloxamer gels containing diclofenac sodium[J]. Int J Pharm, 2001, 226(1/2): 195-205.
- [10] 黄少虹. 琼脂凝胶强度的测定方法及 Rheo Meter 的应用[J]. 广州食品工业科技, 1997, 13(3): 42-43.
- [11] 杨新亭, 王林风, 王香东, 等. 黄原胶与魔芋胶的协效凝胶性研究[J]. 食品科学, 2001, 22(3): 38-40.
- [12] MAO R, TANG J, SWANSON B G. Water holding capacity and microstructure of gellan gels[J]. Carbohydr Polymer, 2001, 46(4): 365-371.
- [13] 中华人民共和国药典编委会. 中华人民共和国药典(第二部): 附录 VIG[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010.
- [14] 张峰, 杨勇, 赵国华, 等. 青稞  $\beta$ -葡聚糖研究进展[J]. 粮食与油脂, 2003, 16(12): 3-5.
- [15] 任有成, 王显萍. 高  $\beta$ -葡聚糖青稞新品种昆仑 12 号的选育及其特征特性[J]. 作物杂志, 2006, 22(4): 43.
- [16] 任有成. 高  $\beta$ -葡聚糖青稞新品种昆仑 13 号的选育及特征特性[J]. 作物杂志, 2010, 26(2): 113.
- [17] 任有成, 王显萍, 吴昆仑, 等. 高  $\beta$ -葡聚糖昆仑 13 号青稞新品种栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2010, 40(10): 177-178.