Hans Journal of Agricultural Sciences 农业科学, 2026, 16(11), 1615-1625
Published Online November 2026 in Hans. https://www.hanspub.org/journal/hjas
https://doi.org/10.12677/hjas.2026.1611192

Hans汉斯

低GI荞麦玉米面条配方优化及品质研究

任永旋，郑倩娜*，李文芳，马一群，邢成硕

商洛学院现代农业与生物工程学院，陕西 商洛

收稿日期：2026年9月27日；录用日期：2026年10月23日；发布日期：2026年10月30日

摘　要

为满足高血糖人群对低升糖指数主食的需求，以荞麦粉、玉米粉和小麦粉为主要原料制作杂粮面条。通过单因素试验考察荞麦粉、玉米粉、食盐和水添加量对面条感官评分、断条率和蒸煮损失率的影响；在此基础上采用$L_9(3^4)$正交试验优化配方，并通过体外模拟消化试验测定面条中快速消化淀粉、慢速消化淀粉和抗性淀粉含量及预估血糖生成指数(eGI)。结果表明：以混合粉总质量100 g计，最佳配方为荞麦粉10 g、玉米粉15 g、食盐1.0 g、水添加量50%；该配方面条感官评分94.7分，断条率为0，蒸煮损失率4.21%，淀粉体外消化测定eGI为48.3，属于低GI食物。荞麦粉与玉米粉复配可改善面条的营养结构与蒸煮品质，所制面条感官良好、餐后血糖反应低，可为低GI主食开发和糖尿病患者膳食选择提供参考。

关键词

荞麦玉米面条，配方优化，感官评价，预估血糖生成指数

Formula Optimization and Quality Study of Low-GI Buckwheat-Corn Noodles

Yongxuan Ren, Qianna Zheng*, Wenfang Li, Yiqun Ma, Chengshuo Xing

College of Modern Agriculture and Bioengineering, Shangluo University, Shangluo Shaanxi

Received: September 27, 2026; accepted: October 23, 2026; published: October 30, 2026

Abstract

To meet the demand of people with hyperglycemia for low-GI staple foods, composite noodles were prepared with buckwheat flour, corn flour and wheat flour as the main raw materials. Single-factor experiments were conducted to investigate the effects of the additions of buckwheat flour, corn flour, salt and water, and an $L_9(3^4)$ orthogonal experiment was then carried out using sensory score, broken rate and cooking loss rate as indicators, while the contents of rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS), and resistant starch (RS) in the noodles and the estimated glycemic index (eGI)

*通讯作者。

文章引用: 任永旋, 郑倩娜, 李文芳, 马一群, 邢成硕. 低 GI 荞麦玉米面条配方优化及品质研究[J]. 农业科学, 2026, 16(11): 1615-1625. DOI: 10.12677/hjas.2026.1611192

of the noodles were determined by an *in vitro* simulated digestion test. The optimal formula, based on 100 g of mixed flour, consisted of 10 g of buckwheat flour, 15 g of corn flour, 1.0 g of salt and a water addition of 50%. The noodles achieved a sensory score of 94.7, a broken rate of 0, a cooking loss rate of 4.21% and an eGI of 48.3, indicating a low-GI food. Compositing buckwheat flour with maize flour can improve the nutritional composition and cooking quality of noodles. The resultant noodles exhibit favorable sensory attributes and low postprandial glycemic response, which can provide a reference for the development of low-GI staple foods and dietary options for individuals with diabetes.

Keywords

Buckwheat-Corn Noodles, Formula Optimization, Sensory Evaluation, Estimated Glycemic Index

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access

1. 引言

面条是我国北方居民的主要主食，市售面条多以小麦粉为原料。研究表明，长期食用小麦面制品后，血糖、甘油三酯及总胆固醇等指标易显著升高[1]，故普通小麦面条不宜作为高血糖人群尤其是糖尿病患者的常规主食。若能在传统面条中引入低血糖指数(glycemic index, GI)的杂粮原料，开发出兼具营养与风味的功能性面食，将有助于糖尿病患者的膳食管理[2] [3]。

荞麦富含蛋白质、膳食纤维及黄酮类等生理活性成分，具有抗氧化、降血压、降胆固醇和调节血糖等作用[4] [5]；玉米钙含量丰富，并富含叶黄素、亚油酸和维生素 E，对预防动脉粥样硬化和心脑血管疾病具有积极作用[6]-[8]，二者均适合作为低 GI 面条的杂粮原料。

近年来，低 GI 面条研究多集中于原料选择与配比优化。Beniwal 等[9]发现谷物与豆类成分复配可提高面条中膳食纤维和蛋白质含量，显著降低 GI；直链淀粉较支链淀粉能更明显地抑制餐后血糖与胰岛素应答[10]；Choo 等[11]报道添加 30%绿色香蕉粉或 10%燕麦 β-葡聚糖可减缓淀粉水解、降低面条 GI；张鑫等[12]研制出 eGI 低至 45 的藜麦面条；赵芳芳[13]证实高添加荞麦挂面有助于 II 型糖尿病患者的血糖控制；王润等[14]以荞麦粉、豌豆粉和藜麦粉复配青稞粉，使面条 GI 降至 42.73；华燕菲[15]研制的小米绿豆低 GI 面条 GI 为 48.94。

GI 用于衡量食物中碳水化合物引起餐后血糖反应的程度。长期坚持低 GI 饮食可降低 2 型糖尿病、妊娠期糖尿病以及肥胖、心血管疾病等的发生风险[16]-[20]。随着居民健康意识不断增强，低 GI 主食市场潜力巨大[21] [22]。本研究以荞麦粉、玉米粉部分替代小麦粉制作杂粮面条，通过单因素试验和正交试验优化配方，测定其蒸煮品质与 eGI，以期开发出适合高血糖人群的低 GI 面条，并为杂粮主食化提供参考[23]。

2. 材料与方法

2.1. 材料与试剂

荞麦粉(德昌信达电子商务有限公司)、玉米粉(新乡市新良粮油加工有限责任公司)、小麦粉(白象食品集团面业有限公司)、食盐(市售)、纯净水(杭州娃哈哈集团有限公司)；α-淀粉酶、胃蛋白酶、胰酶、淀粉葡萄糖苷酶、葡萄糖试剂盒、无水乙醇、HCl、NaOH、$NaHCO_3$，试剂均为分析纯。

2.2. 仪器与设备

PYT-224 电子天平，华质电子科技有限公司；JM-4-260 面条机，北京京美华研机械设备有限公司；

DC22-TD06 电磁炉及配套锅，长虹美菱日电科技有限公司；202-00B 电热恒温鼓风干燥箱，余姚市亚泰仪表有限公司；水浴振荡器，常州金坛良友仪器有限公司。

2.3. 试验方法

2.3.1. 面条工艺流程及操作要点

工艺流程：原料粉混合→和面→熟化→压片→切条→干燥。

操作要点：按配方称取荞麦粉、玉米粉和小麦粉混匀，加入溶有食盐的纯净水，常温和面 10 min，至面团色泽均匀、表面细腻；覆保鲜膜常温熟化 30 min；用面条机逐步辊压至面片厚约 1.5 mm，切成长 20 cm、宽 4 mm 的面条，悬挂于室内干燥 10 h，密封备用。

2.3.2. 单因素试验

以混合粉总质量 100 g 计，分别考察荞麦粉添加量(0%、5%、10%、15%、20%，固定玉米粉 15%、食盐 1.0%、水 50%)、玉米粉添加量(0%、5%、10%、15%、20%，固定荞麦粉 10%)、食盐添加量(0、0.5%、1.0%、1.5%、2.0%，固定荞麦粉 10%、玉米粉 15%)和水添加量(46%、48%、50%、52%、54%，固定荞麦粉 10%、玉米粉 15%、食盐 1.0%)对面条感官评分、断条率和蒸煮损失率的影响。

2.3.3. 正交试验

在单因素试验基础上，选择荞麦粉添加量(A)、玉米粉添加量(B)、水添加量(C)和食盐添加量(D)为因素，进行 L9(34)正交试验，因素与水平见表 1。

Table 1. Factors and levels of the orthogonal experiment
表 1. 正交试验因素与水平

水平	A 荞麦粉添加量/%	B 玉米粉添加量/%	C 水添加量/%	D 食盐添加量/%
1	5	5	48	0.5
2	10	10	50	1.0
3	15	15	52	1.5

2.3.4. 感官评价

由 10 名经培训的食品专业人员组成评定小组，参照 LS/T 3202-1993《面条用小麦粉》[24]，从色泽、表观状态、咬劲、韧性、黏性、光滑性和风味 7 个方面对煮熟面条进行评分，满分 100 分，评分标准见表 2，结果取均值。

Table 2. Sensory evaluation criteria of noodles
表 2. 面条感官评价标准

项目(分值)	评分标准	分值
色泽(10 分)	白色或淡黄色、光亮	8.5~10
	亮度一般	6.0~8.4
	发暗、发灰、亮度差	1.0~5.9
表观状态(10 分)	表面细密、光滑	8.5~10
	一般	6.0~8.4
	粗糙、膨胀或太软	1.0~5.9
咬劲(20 分)	软硬适中	17~20
	偏硬或偏软	12~16

续表

	太硬或太软	1~11
韧性(20 分)	富有弹性	17~20
	一般	12~16
	弹性不足	1~11
黏性(20 分)	咀嚼爽口、不黏牙	17~20
	较爽口、较黏牙	12~16
	不爽口、发黏	1~11
光滑性(10 分)	入口有光滑感	8.5~10
	一般	6.0~8.4
	光滑程度差	1.0~5.9
风味(10 分)	有清香味	8.5~10
	基本无异味	6.0~8.4
	有异味	1.0~5.9

2.3.5. 蒸煮特性测定

最佳蒸煮时间：向 500 mL 沸水中投入 20 根面条并保持微沸，每隔 10 s 取出 1 根，夹断面条观察白心，白心完全消失的时间即为最佳蒸煮时间。

断条率：取 20 根面条按最佳蒸煮时间煮制，记录断条根数 N，断条率 $= N/20 \times 100\%$。

蒸煮损失率：称取干面条 25 g (m_1)置于 200 mL 沸水中煮制 3 min 后捞出，面汤转入已恒重的平皿(m_2)中，于 80℃烘干至恒重(m_3)，蒸煮损失率 $= (m_3 - m_2)/m_1 \times 100\%$。

2.3.6. 体外消化与 eGI 测定

参照文献[25] [26]采用体外模拟消化法：样品经含 α-淀粉酶的人造唾液模拟口腔咀嚼，以胃蛋白酶于 37℃处理 30 min 模拟胃消化，再加入含胰酶和淀粉葡萄糖苷酶的混合酶液模拟肠消化，分别在 20、120 min 取样，采用葡萄糖试剂盒测定葡萄糖含量，按式(1)~式(3)计算快速消化淀粉(RDS)、慢速消化淀粉(SDS)和抗性淀粉(RS)含量。

$$\mathrm{RDS} = \frac{(G_{20} - \mathrm{FG}) \times 0.9}{W} \times 100\% \tag{1}$$

$$\mathrm{SDS} = \frac{(G_{120} - G_{20}) \times 0.9}{W} \times 100\% \tag{2}$$

$$\mathrm{RS} = 100\% - \mathrm{RDS} - \mathrm{SDS} \tag{3}$$

式中：G_{20}、G_{120} 分别为消化 20、120 min 时释放的葡萄糖质量，mg；FG 为游离葡萄糖质量，mg；W 为样品中总淀粉质量，mg。

以白面包为参照物(水解指数 HI = 100)，按淀粉水解曲线下面积计算 HI，并按式(4)计算预估血糖生成指数 eGI [26]。

$$\mathrm{eGI} = 0.862\mathrm{HI} + 8.198 \tag{4}$$

2.4. 数据分析

各项试验重复 3 次，结果以均值表示；采用 Excel 2016 进行数据整理与正交极差分析，SPSS 软件进

行差异显著性分析($p < 0.05$)。

3. 结果与分析

3.1. 单因素试验结果

3.1.1. 荞麦粉添加量对面条品质的影响

断条率低表明面条耐煮、弹性好，蒸煮损失率低表明营养成分保留好。由图 1 可知，荞麦粉添加量在 10%以内时，面条断条率和蒸煮损失率变化不大；超过 10%后二者急剧升高，这是因为过量荞麦粉稀释了面筋网络，面团结合力下降，淀粉更易溶出。由表 3 可知，感官评分随荞麦粉添加量增加呈先升后降趋势，添加量 10%时达到 94.9 分，面条色泽与风味协调；继续添加则面条表面粗糙、黏牙，风味变差。综合确定荞麦粉适宜添加量为 10%。

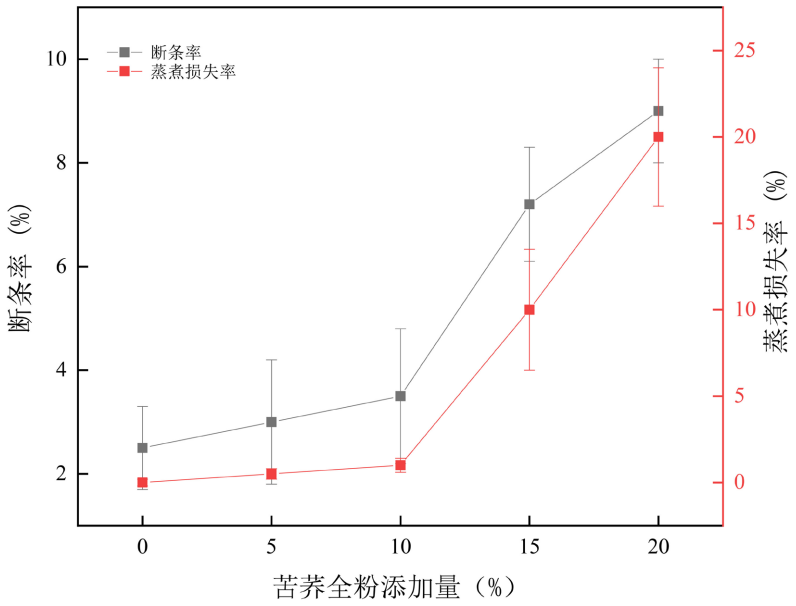


Figure 1. Effect of buckwheat flour addition on cooking quality of noodles
图 1. 荞麦粉添加量对面条蒸煮品质的影响

Table 3. Effect of buckwheat flour addition on sensory quality of noodles
表 3. 荞麦粉添加量对面条感官品质的影响

荞麦粉添加量/%	色泽	表观	咬劲	韧性	黏性	光滑性	风味	总分
0	9.3	8.9	15.0	16.0	17.0	7.8	8.6	82.6
5	9.0	8.4	16.7	17.2	16.5	8.8	9.1	85.7
10	9.8	9.5	18.8	19.2	18.6	9.6	9.4	94.9
15	9.4	9.4	18.7	18.2	18.5	8.8	9.1	92.1
20	5.7	7.2	17.2	16.7	12.5	8.3	6.8	74.4

3.1.2. 玉米粉添加量对面条品质的影响

玉米粉不含面筋蛋白，添加后会稀释并破坏面筋网络结构。由图 2 可知，随玉米粉添加量增加，面条蒸煮损失率持续升高；添加量不超过 15%时断条现象不明显，超过 15%后面条易断。由表 4 可知，玉米粉添加量为 15%时感官评分最高(97.2 分)，适量玉米粉赋予面条金黄色泽和玉米清香；过量添加则口

感变差、色泽发暗。综合确定玉米粉适宜添加量为 15%。

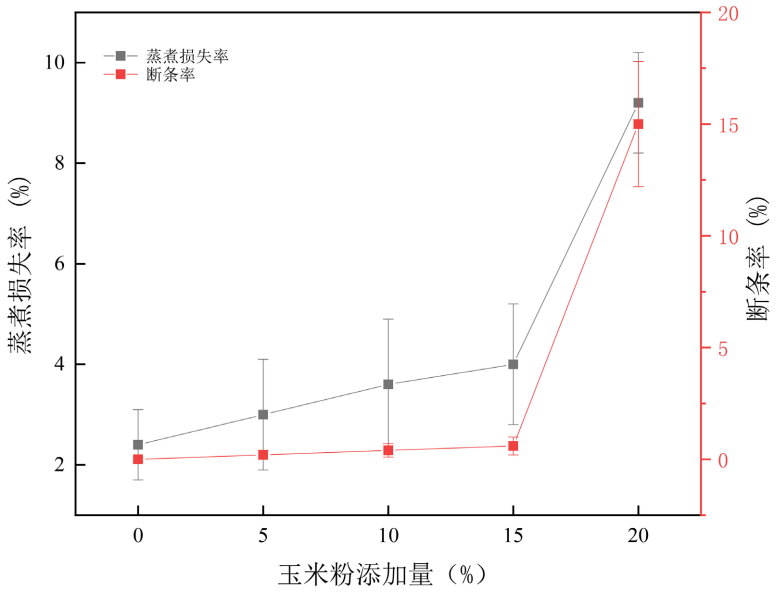


Figure 2. Effect of corn flour addition on cooking quality of noodles
图 2. 玉米粉添加量对面条蒸煮品质的影响

Table 4. Effect of corn flour addition on sensory quality of noodles
表 4. 玉米粉添加量对面条感官品质的影响

玉米粉添加量/%	色泽	表观	咬劲	韧性	黏性	光滑性	风味	总分
0	9.2	8.6	16.5	16.8	17.5	8.2	8.7	85.0
5	9.5	8.8	17.6	18.4	17.8	8.8	9.4	90.3
10	9.6	9.7	18.5	19.5	18.4	9.8	9.5	95.0
15	9.8	9.7	19.7	19.2	19.5	9.6	9.7	97.2
20	7.7	7.6	17.3	17.7	14.5	7.3	6.5	78.6

3.1.3. 食盐添加量对面条品质的影响

适量食盐可增强面筋弹性、改善面条蒸煮品质。由图 3 可知，食盐添加量为 1.0%时面条断条率和蒸煮损失率最低，用量过高或过低均使蒸煮损失率升高。由表 5 可知，适量食盐可改善面条的风味、弹性与光滑性，过量则使面条变软、风味劣变；食盐添加量 1.0%时感官评分为 95 分。综合确定食盐适宜添加量为 1.0%。

Table 5. Effect of salt addition on sensory quality of noodles
表 5. 食盐添加量对面条感官品质的影响

食盐添加量/%	色泽	表观	咬劲	韧性	黏性	光滑性	风味	总分
0	9.2	8.6	16.5	16.8	17.5	8.2	8.7	85.0
0.5	9.5	8.8	17.6	18.4	17.8	8.8	9.4	90.3
1.0	9.6	9.7	18.5	19.5	18.4	9.8	9.5	95.0
1.5	9.8	9.0	18.4	18.6	18.2	8.4	9.1	91.5
2.0	9.5	8.5	18.5	16.5	18.5	8.5	9.0	89.0

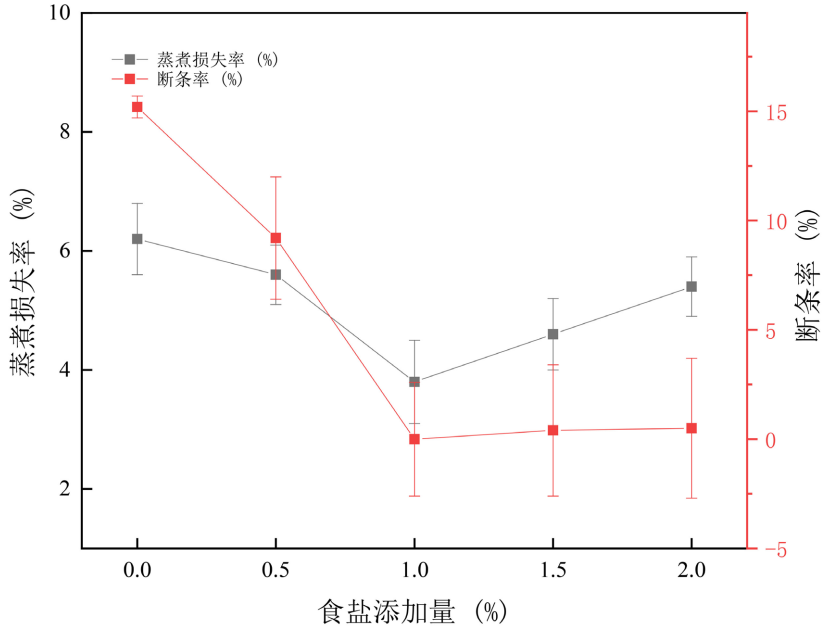


Figure 3. Effect of salt addition on cooking quality of noodles
图 3. 食盐添加量对面条蒸煮品质的影响

3.1.4. 水添加量对面条品质的影响

加水量直接影响面筋网络的形成。由图 4 可知，加水 50%时面条断条率和蒸煮损失率最低；加水不足时面团干硬、面条表面粗糙，加水过多时面团湿软、面筋网络松散，断条和损失均增加。由表 6 可知，加水 50%时感官评分最高(96.5 分)，面条黏性、嚼劲和韧性适中；继续加水则面条软烂、咀嚼性变差。综合确定适宜水添加量为 50%。

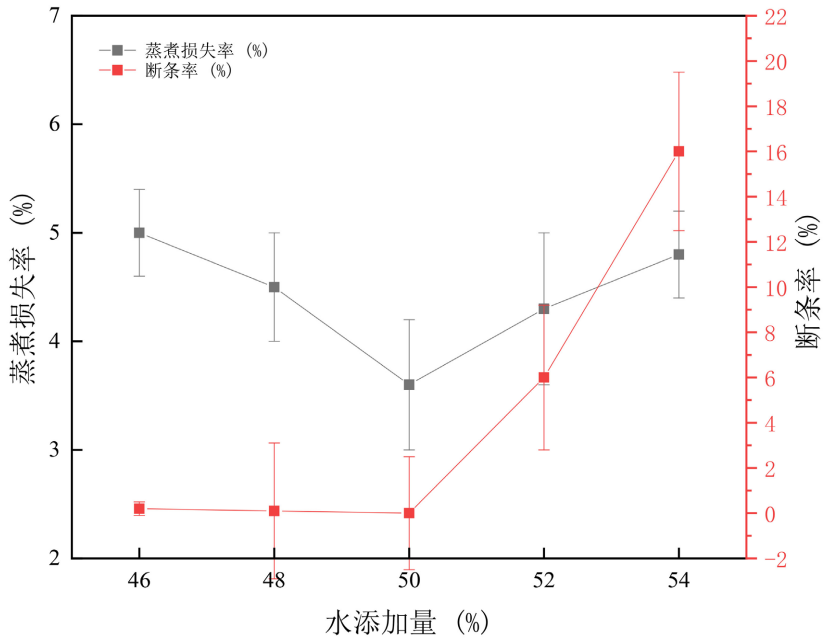


Figure 4. Effect of water addition on cooking quality of noodles
图 4. 水添加量对面条蒸煮品质的影响

Table 6. Effect of water addition on sensory quality of noodles
表 6. 水添加量对面条感官品质的影响

水添加量/%	色泽	表观	咬劲	韧性	黏性	光滑性	风味	总分
46	9.4	8.8	17.5	17.8	18.5	8.3	8.6	88.4
48	9.7	8.6	18.4	18.4	18.8	8.5	9.6	92.0
50	9.6	9.7	19.5	19.5	19.4	9.3	9.5	96.5
52	9.8	9.1	18.5	18.7	18.3	8.4	9.7	92.5
54	9.7	8.2	18.8	16.6	18.4	8.2	9.3	89.7

3.2. 正交试验结果与验证

3.2.1. 正交试验结果

以感官评分、断条率和蒸煮损失率为指标，正交试验结果见表 7。极差分析表明：各因素对感官评分的影响顺序为 A > B > C = D，感官最优组合为 $A_1B_3C_1D_2$；断条率和蒸煮损失率的因素影响顺序均为 D > A > C > B，最优组合分别为 $A_1B_3C_1D_1$ 和 $A_1B_2C_1D_2$。兼顾三项指标并以感官品质为主，确定理论最优配方为 $A_1B_3C_1D_2$，即荞麦粉 10%、玉米粉 15%、水 50%、食盐 1.0%。

Table 7. Results and analysis of the orthogonal experiment
表 7. 正交试验结果与分析

试验号		A	B	C	D	断条率/%	蒸煮损失率/%	感官评分
1		1	1	1	1	0	4.15	87
2		1	2	2	2	5	4.38	91
3		1	3	3	3	10	5.10	88
4		2	1	2	3	15	5.55	85
5		2	2	3	1	5	4.44	89
6		2	3	1	2	0	4.25	86
7		3	1	3	2	10	5.16	83
8		3	2	1	3	15	5.76	84
9		3	3	2	1	10	5.20	81
断条率	K_1	5.00	8.33	5.00	5.00			
	K_2	6.67	8.333	10.00	5.00			
	K_3	11.67	6.67	8.33	13.33			
	R	6.67	1.67	5.00	8.33			
蒸煮损失率	K_1	4.54	4.95	4.72	4.60			
	K_2	4.75	4.86	5.04	4.60			
	K_3	5.37	4.85	4.90	5.47			
	R	0.83	0.10	0.32	0.87			
感官评分	K_1	88.67	85.00	85.67	85.67			
	K_2	86.67	88.00	85.67	86.67			
	K_3	82.67	85.00	86.67	85.67			
	R	6.00	3.00	1.00	1.00			

注：K、R 值为感官评分的极差分析结果。

3.2.2. 验证试验

对理论最优配方 $A_1B_3C_1D_2$ 进行 3 次重复验证，并与正交试验中综合表现较好的组合比较，结果见表 8。最优配方制得的面条断条率为 0，蒸煮损失率 4.21%，感官评分 94.7 分，均优于其他组合，表明该配方稳定、可靠。

Table 8. Verification experiment results
表 8. 验证试验结果

配方组合	断条率/%	蒸煮损失率/%	感官评分
$A_1B_2C_1D_2$	0	4.44	93.5
$A_1B_3C_1D_2$	0	4.21	94.7
$A_1B_3C_1D_1$	0	4.36	93.8

3.3. 体外消化与血糖生成指数

根据 GI 分类标准，GI < 55 为低 GI 食物，55~70 为中 GI 食物，GI > 70 为高 GI 食物。最优配方面条的 RDS、SDS 和 RS 含量测定结果见表 9，淀粉水解曲线见图 5。随消化时间延长，面条淀粉水解率逐渐升高并趋于平缓，且明显低于白面包参照物；计算得面条 eGI 为 48.3，属于低 GI 食物，表明荞麦粉与玉米粉复配可延缓淀粉消化、降低餐后血糖反应。

Table 9. RDS, SDS and RS contents of the noodles
表 9. 面条 RDS、SDS 和 RS 含量

项目	RDS/%	SDS/%	RS/%
测定结果	33.32 ± 2.47	58.42 ± 1.99	8.17 ± 0.13

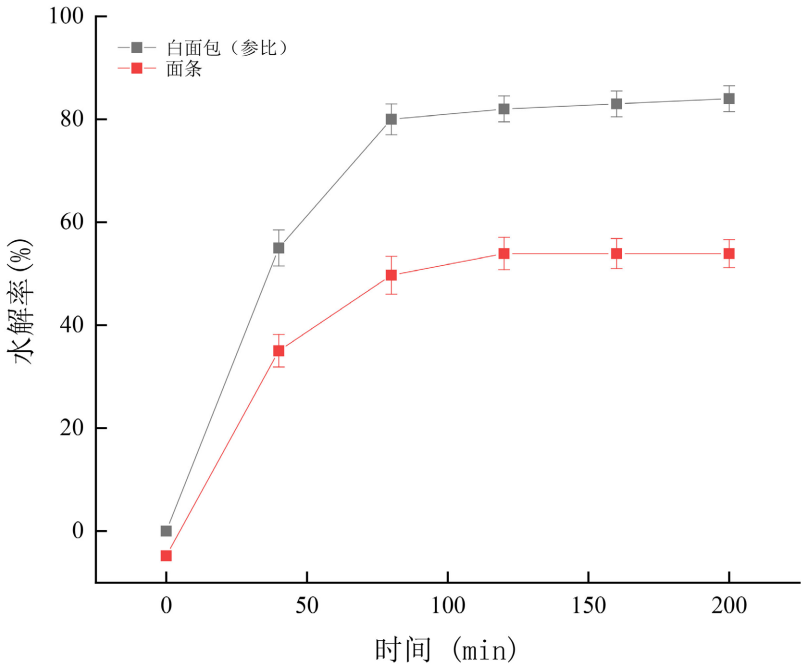


Figure 5. Starch hydrolysis rate of noodles
图 5. 面条淀粉水解率

4. 讨论

荞麦粉和玉米粉不含面筋蛋白，过量添加会稀释并破坏面筋网络连续性，使淀粉颗粒失去有效包埋，蒸煮时更易溶出，导致断条率和蒸煮损失率升高[27]；食盐通过静电屏蔽效应促进麦谷蛋白亚基聚集，1.0%时面筋网络最致密，蒸煮品质最优。本研究 eGI 降至 48.3，一方面与玉米淀粉较高直链淀粉含量、荞麦膳食纤维及黄酮类对淀粉酶的抑制有关[28]，另一方面得益于面筋网络对淀粉颗粒的“结构屏障”保护。可见感官评分、蒸煮损失率和 eGI 三者本质上面筋网络完整性与淀粉存在状态的统一体现：良好的网络同时赋予高感官品质、低蒸煮损失和低消化速率。与同类研究相比，本研究 eGI (48.3)与藜麦面条(45)、小米绿豆面条(48.94)等接近，而蒸煮损失率(4.21%)更优，体现了杂粮添加量与工艺参数平衡的优势。本研究尚未开展 SEM 微观结构及 RVA/DSC 糊化特性表征，未来可借此进一步验证上述机理推断。

5. 结论

本研究以荞麦粉、玉米粉部分替代小麦粉制作低 GI 面条，通过单因素试验、正交试验和验证试验确定最佳配方：以混合粉总质量 100 g 计，荞麦粉 10 g、玉米粉 15 g、食盐 1.0 g、水添加量 50%。该配方面条感官评分 94.7 分，断条率为 0，蒸煮损失率 4.21%；体外消化测定其 eGI 为 48.3，属于低 GI 食物。荞麦与玉米复配既改善了面条的营养结构和蒸煮品质，又显著降低了餐后血糖反应，所制面条适合高血糖人群及普通消费者食用，可为低 GI 杂粮主食的开发提供参考。

基金项目

陕西省大学生创新创业训练项目(S202511396087)；陕西省大学生创新创业训练项目(S202611396063)；商洛学院博士科研启动项目(23SKY026)。

参考文献

[1] 申丽媛, 陈金女, 周蒙蒙, 等. 红豆黑米面条的研制[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(7): 49-51.

[2] 范会平, 李菲菲, 符锋, 等. 紫薯全粉面条的制备及其品质影响研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(5): 151-158, 273.

[3] 孙耀军. 藜麦全粉对面条品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(7): 47-51.

[4] 何伟俊, 曾荣, 白永亮, 等. 荞麦的营养价值及开发利用研究进展[J]. 农产品加工, 2019(23): 69-75.

[5] 杨海莹, 张锐昌, 张应龙, 等. 荞麦营养及其制品研究进展[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(10): 10-13.

[6] 邬时民. 一把玉米须能助降血压[J]. 人人健康, 2014(17): 56.

[7] 马勇, 邵悦, 赵大军. 发酵玉米面条的制备及其营养成分分析[J]. 食品科学, 2007(9): 278-280.

[8] 张庆霞. 玉米面条的研究进展与展望[J]. 粮食与油脂, 2020, 33(5): 4-6.

[9] Beniwal, P. and Jood, S. (2015) Development of Low Glycemic Index Noodles by Legume and Cereal By-Products Incorporation. *Journal of Food Science and Technology*, **5**, 381-387.

[10] Behall, K., Scholfield, D. and Canary, J. (1988) Effect of Starch Structure on Glucose and Insulin Responses in Adults. *The American Journal of Clinical Nutrition*, **47**, 428-432. https://doi.org/10.1093/ajcn/47.3.428

[11] Choo, C.L. and Aziz, N.A.A. (2010) Effects of Banana Flour and B-Glucan on the Nutritional and Sensory Evaluation of Noodles. *Food Chemistry*, **119**, 34-40. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.004

[12] 张鑫, 任元元, 孟资宽, 等. 低 GI 藜麦面条挤压工艺及体外消化特性研究[J]. 食品与发酵科技, 2021, 57(4): 57-62, 85.

[13] 赵芳芳. 高添加苦荞挂面加工技术研究及其降血糖功能评价[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏大学, 2018.

[14] 王润, 等. 青稞低 GI 挤压面条制作工艺优化及营养与抗氧化活性分析[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 37-44.

[15] 华燕菲. 低 GI 小米绿豆面条配方优化及其品质特性的研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北经贸大学, 2020.

[16] Xu, J. and Ye, S. (2020) Influence of Low-Glycemic Index Diet for Gestational Diabetes: A Meta-Analysis of

Randomized Controlled Trials. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, **33**, 687-692. https://doi.org/10.1080/14767058.2018.1497595

[17] Ma, W., Huang, Z., Huang, B., Qi, B., Zhang, Y., Xiao, B., *et al*. (2015) Intensive Low-Glycaemic-Load Dietary Intervention for the Management of Glycaemia and Serum Lipids among Women with Gestational Diabetes: A Randomized Control Trial. *Public Health Nutrition*, **18**, 1506-1513. https://doi.org/10.1017/s1368980014001992

[18] Garber, A., Csizmadi, I., Friedenreich, C.M., Sajobi, T.T., Longman, R.S., Tyndall, A.V., *et al*. (2018) Association between Glycemic Load and Cognitive Function in Community-Dwelling Older Adults: Results from the Brain in Motion Study. *Clinical Nutrition*, **37**, 1690-1699. https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.07.011

[19] Zhu, R., Larsen, T.M., Fogelholm, M., Poppitt, S.D., Vestentoft, P.S., Silvestre, M.P., *et al*. (2021) Dose-Dependent Associations of Dietary Glycemic Index, Glycemic Load, and Fiber with 3-Year Weight Loss Maintenance and Glycemic Status in a High-Risk Population: A Secondary Analysis of the Diabetes Prevention Study Preview. *Diabetes Care*, **44**, 1672-1681. https://doi.org/10.2337/dc20-3092

[20] Kaur, J., Kaur, K., Singh, B., Singh, A. and Sharma, S. (2022) Insights into the Latest Advances in Low Glycemic Foods, Their Mechanism of Action and Health Benefits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, **16**, 533-546. https://doi.org/10.1007/s11694-021-01179-z

[21] 杨雯珺. 低 GI 杂粮杂豆面包的研制及其品质特性研究[D]: [硕士学位论文]. 石家庄: 河北经贸大学, 2020.

[22] 高婷婷, 刘静雪, 李凤林, 等. 低 GI 高膳食纤维谷物再制米工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(6): 166-170.

[23] 樊环环. 复合荞麦海带面条的研制与其品质特性研究[D]: [硕士学位论文]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.

[24] 中华人民共和国商业部. LS/T 3202-1993 面条用小麦粉[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.

[25] Liang, L., Zhang, X., Wang, X., Jin, Q. and McClements, D.J. (2018) Influence of Dairy Emulsifier Type and Lipid Droplet Size on Gastrointestinal Fate of Model Emulsions: *In Vitro* Digestion Study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **66**, 9761-9769. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b02959

[26] Åkerberg, A., Liljeberg, H. and Björck, I. (1998) Effects of Amylose/Amylopectin Ratio and Baking Conditions on Resistant Starch Formation and Glycaemic Indices. *Journal of Cereal Science*, **28**, 71-80. https://doi.org/10.1006/jcrs.1997.0173

[27] 彭湃, 王小龙, 马兰, 等. 燕麦麸粉和苦荞麸粉对小麦面条结构、蒸煮品质及消化特性的影响[J]. 中国农业科学, 2023, 56(20): 4102-4114.

[28] Xue, C., Guo, X. and Zhu, K. (2022) Effect of Tartary Buckwheat Bran Substitution on the Quality, Bioactive Compounds Content, and *in Vitro* Starch Digestibility of Tartary Buckwheat Dried Noodles. *Foods*, **11**, Article 3696. https://doi.org/10.3390/foods11223696