

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2024.06.007

李若凝, 刘兴浩, 李春红, 等. 适宜加工高绿豆含量面条的绿豆品种筛选研究[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6): 59-66.

LI R N, LIU X H, LI C H, et al. Preparation of noodles with high mung bean content and selection of suitable mung bean cultivars for processing[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(6): 59-66.

# 适宜加工高绿豆含量面条的 绿豆品种筛选研究

李若凝<sup>1</sup>, 刘兴浩<sup>1</sup>, 李春红<sup>2</sup>, 侯殿志<sup>1</sup>, 周素梅<sup>1</sup>✉

(1. 北京工商大学 食品与健康学院 北京市食品添加剂工程技术研究中心, 北京 100048;  
2. 中国农业科学院农产品加工研究所 农业农村部农产品加工综合性重点实验室, 北京 100091)

**摘要:** 绿豆面条是我国传统杂面产品, 但其绿豆添加量较低。选取国内主产区 6 个绿豆品种, 制备添加量为 70% 的高绿豆含量面条, 筛选适宜加工的绿豆原料品种。分析所加工绿豆面条的蒸煮特性、质构特性以及感官品质等, 采集相关特性品质数据; 基于主成分分析对不同绿豆品种加工面条进行品质综合评估, 提取出 3 类主成分, 确定了总淀粉、蛋白质、吸水率、硬度、咀嚼性和粘附性的绿豆面条品质评分关键指标, 获得不同绿豆品种加工适宜性评分排序结果, 筛选出加工高绿豆含量面条的优异绿豆品种——潍绿 7 号。

**关键词:** 绿豆面条; 品种; 品质; 主成分分析; 加工适宜性

**中图分类号:** TS201.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2024)06-0059-08

**网络首发时间:** 2024-11-08 09:15:24

**网络首发地址:** <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.ts.20241107.1435.016>

## Preparation of Noodles with High Mung Bean Content and Selection of Suitable Mung Bean Cultivars for Processing

LI Ruo-ning<sup>1</sup>, LIU Xing-hao<sup>1</sup>, LI Chun-hong<sup>2</sup>, HOU Dian-zhi<sup>1</sup>, ZHOU Su-mei<sup>1</sup>✉

(1. School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing Engineering Research Center of Food Additives, Beijing 100048, China; 2. Institute of Agricultural Product Processing, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Comprehensive Key Laboratory of Agricultural Product Processing, Agricultural and Rural Department, Beijing 100091, China)

**Abstract:** Mung bean noodles are traditional multigrain noodles in China, but generally, the addition of green beans is relatively low. Six mung bean cultivars from major production areas were selected to prepare noodles with a high mung bean content of 70%. Then, we screened suitable mung bean raw material varieties for processing based on principal component analysis (PCA). The cooking properties, texture properties, and

收稿日期: 2024-02-22

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2021YFD1600604); 财政部和农业农村部-国家现代农业产业技术体系(CARS-08)

Supported by: National Key Research and Development Project of the 14th five-year plan, China (No. 2021YFD1600604); China Agriculture Research System of MOF and MARA (No. CARS-08)

第一作者: 李若凝, 女, 1998 年出生, 在读硕士生, 研究方向为新型豆类营养健康食品研发, E-mail: 1430420233@qq.com

通信作者: 周素梅, 女, 1971 年出生, 博士, 教授, 研究方向为稻米、杂粮杂豆等大宗和特色粮食作物精深加工和新型营养健康产品研发, E-mail: zhousumei1001@163.com

sensory characteristics of the processed mung bean noodles were analyzed, and relevant data on these properties was collected for analysis. The quality of processed noodles of different mung bean cultivars was evaluated based on PCA. Three types of principal components were extracted from the PCA, and the key indicators of total starch, protein, water absorption, hardness, chewiness and adhesiveness were determined and scored. Finally, we ranked the processing suitability scores for different mung bean varieties and selected the excellent cultivar Weilv 7 to produce high mung bean content noodles.

**Key words:** mung bean noodles; cultivar; quality; principal component analysis; processing suitability

绿豆 (*Vigna radiata* L.) 是我国特色杂粮杂豆作物, 消费高且具有广泛认知的传统健康功效, 如“清热解毒、利尿消暑”等。另外, 绿豆富含蛋白质 (14.6%~32.6%) 和生物活性化合物<sup>[1]</sup>, 如多酚、黄酮、非淀粉多糖等。除了传统认知和基本营养外, 现代医学研究已证明绿豆还具有多种其他的健康益处, 如抗氧化作用和降血糖<sup>[2]</sup>等。

绿豆在国人日常饮食中最常见的消费方式除了绿豆汤, 就是绿豆面条。小麦粉中添加绿豆制作面条, 不仅能提高面条的营养品质, 还能带来特殊风味。绿豆面条 (或称杂面) 是我国北方不少地方的传统面制品和美食。但是, 传统的绿豆面条中绿豆添加量并不高 ( $\leq 10\%$ ), 其中原因之一有绿豆价值相比小麦较高, 成本上的考虑; 但更重要的是因为绿豆中缺乏小麦的面筋蛋白, 添加量过高会影响面团结构的形成, 在加工技术上更具挑战性<sup>[3]</sup>。

生物酶如谷氨酰胺转氨酶 (TG 酶) 可通过交联面筋蛋白, 促使其形成高分子聚合物, 从而构建更强的网络结构<sup>[3]</sup>。魔芋胶可通过形成稳定的凝胶网络, 有效地围绕淀粉分子, 增加面团的致密性和延伸性<sup>[4]</sup>, 改善口感。车前子壳因富含可溶性膳食纤维 (阿拉伯木聚糖) 而成为良好的高粘度、高粘性膳食纤维原料<sup>[5]</sup>。魔芋胶和车前子壳还具有高饱腹感特征, 是国内外减肥食品的重要功能性配料。这两种亲水胶的添加不仅可改善低面筋面团的网络结构和面条的质构特性, 也符合当前市场上对于高膳食纤维、肠道健康、降脂减肥食品的消费需求。

为了充分利用绿豆的营养健康功效, 本研发团队前期曾利用生物酶、亲水胶以及蛋清的辅助作用制备出绿豆添加量在 70%、加工和食用品质

优良的高绿豆含量面条<sup>[6]</sup>。本研究中则考虑到我国绿豆品种众多, 品质差异较大, 绿豆原料品种也可能对面条品质有一定影响, 因而选取国内绿豆主产区的 6 个代表性绿豆品种 (4 个新品种, 2 个传统地方品种), 基于主成分分析法筛选出影响面条品质的关键指标并对绿豆品种的加工适宜性进行综合评价, 进而筛选出适宜加工的绿豆品种, 以期高绿豆含量面条的产业化生产提供原料选择支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

潍绿 7 号、中绿 12 号、中绿 16 号以及中绿 18 号均为新培育绿豆品种, 其中潍绿 7 号产自山东, 其余三种产自河北: 国家农业产业技术体系食用豆体系专家提供; 毛绿豆和明绿豆则为地方传统品种, 分别来自河南和安徽; 高筋小麦粉: 益海嘉里金龙鱼粮油食品股份有限公司; TGase (100 U/g): 太原市东胜生物科技有限公司; 车前子壳 (纯度: 90%): 北京四品国际贸易有限公司。

### 1.2 仪器与设备

JHMZ 200 和面机、JMTD-168/140 实验面条机: 北京东福九恒仪器科技有限公司; FW-400A 磨粉机: 北京中兴伟业仪器有限公司; CR-400/410 色差仪: 柯尼卡美能达公司; TA.HDplus 物性分析仪: 英国 Stable Micro System。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 基本营养理化指标测定

水分测定: GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》; 灰分测定: GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》; 蛋白质测定: GB 5009.5—2010《食品安全国家标

准 食品中蛋白质的测定》；脂肪测定：GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》；总淀粉测定：GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》；直链淀粉测定：GB/T 15683—2008《大米 直链淀粉含量的测定》。

### 1.3.2 高绿豆含量面条制备工艺

将全籽粒绿豆清理干净后在磨粉机中磨制成粉，全部过筛（80 目），收集好备用。绿豆粉和小麦粉按质量比 7：3 比例称取，加入 TGase（0.25 g/100 g）和车前子壳（1.5 g/100 g），在和面机中混合均匀。加入适量蒸馏水（25 g/100 g），在和面机中搅拌均匀形成面絮；将面絮放入自封袋醒发 15 min。将面絮适当整形，在实验面条机进行压延，轧辊间距按以下顺序调节 2.8、2.6、2.4、2.2、2.0、1.6 mm。形成完好面片后，切条（宽 2.0 mm，厚 1.6 mm）；面条装入自封袋，冷

藏（4~5 ℃）、备用。

### 1.3.3 绿豆面条蒸煮特性的测定

吸水率和蒸煮损失的测定参考 Guo 等<sup>[7]</sup>的方法。

### 1.3.4 绿豆面片色度测定

按照 1.3.2 的方法压延成待切条的面片后，切分出 6 个直径为 8 cm 的圆面片样品。根据色差仪测定条件，在  $L^*a^*b^*$  系统中分别测定面片的  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  三个指标，每组样品重复测定 6 次，结果取平均值，以切条的前面片色度表征面条色度。

### 1.3.5 绿豆面条质构特性测定

基于 Li 等<sup>[6]</sup>的方法进行测定。

### 1.3.6 绿豆面条的感官评价

高绿豆含量面条的感官品质评价在 Niu 等<sup>[8]</sup>方法和 SB/T10137—1993《面条用小麦粉》的基础上进行适当改进。评定标准见表 1。

表 1 绿豆面条感官评价标准

Table 1 Sensory evaluation standards for mung bean noodles

项目	评分	评价标准
外观状态	10	面条表面结构细密、光滑为 8.5~10.0 分；一般为 6.0~8.4 分；表面粗糙、膨胀、变形严重为 1.0~6.0 分
适口性	20	软硬适中为 17.0~20.0 分；偏硬或偏软 12.0~17.0 分；过硬或太软 1.0~12.0 分
粘弹性	15	咀嚼时爽口、不粘牙为 13.0~15.0 分；较爽口、稍粘牙为 10.0~13.0 分；不爽口、粘牙为 1.0~10.0 分
色泽	15	颜色鲜亮、均匀一致 13.0~15.0 分；颜色不够鲜亮、色度不够一致均匀 10.0~13.0 分；颜色灰暗、明显不均匀 1.0~10.0 分
食味	25	具有绿豆明显的豆香味、气味愉悦 21.0~25.0 分；稍有豆腥味，无明显其它不良风味 15.0~21.0 分；有明显豆腥味或其它异味为 10.0~15.0 分
光滑性	15	在品尝面条时口感的光滑程度。光滑为 13.0~15.0 分；中间为 10.0~13.0 分；光滑程度差为 1.0~10.0 分

## 1.3 数据处理

采用 SPSS Statistic 19.0 以及 Microsoft Excel 2016 软件进行数据分析。使用 Origin 软件进行绘图，对数据进行主成分分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种绿豆的主要营养成分

不同种类绿豆的基本营养成分如表 2 所示，6 个绿豆品种的总淀粉含量在 45.63%~56.23%，总淀粉含量最高的是毛绿豆，最低的是潍绿 7 号，二者差值可达 20% 以上。而中绿系列的 3 个品种（中绿 12 号、中绿 16 号及中绿 18 号）总淀粉含

量无显著差异（ $P>0.05$ ）。在直链淀粉含量上，中绿 12 号的直链淀粉含量（42.84%）显著高于其他品种（ $P<0.05$ ）。蛋白质含量上，潍绿 7 号、中绿 12 号和中绿 16 号的蛋白质含量较高，毛绿豆的蛋白质最低，潍绿 7 号的蛋白质含量（25.05%）比毛绿豆（20.22%）高出约 24%。6 个绿豆品种间脂肪含量在 1.20%~1.50% 范围内，其中中绿 18 号和明绿豆的脂肪含量最高。灰分含量总体上差异也并不大，最高为潍绿 7 号（3.57%）、最低的为明绿豆（3.32%）。张剑<sup>[9]</sup>曾进行了绿豆粉（30%）添加对改善面条品质的研究，其所用绿豆粉的蛋白质含量为 23.80%，低于本研究所用潍绿 7 号、

中绿 12 号和中绿 16 号；总淀粉含量（60.50%）高于本研究所用 6 个绿豆品种。从弥补小麦面条

蛋白质含量偏低和营养价值的角度，高蛋白的绿豆品种尤其对绿豆面条产品品质的提升是有利的。

表 2 不同种类绿豆的基本营养成分

Table 2 Nutritional composition of cultivars of mung bean

%, 干重

品种	总淀粉	直链淀粉	蛋白质	脂肪	灰分
潍绿 7 号	45.63±0.42 <sup>a</sup>	38.93±1.27 <sup>a</sup>	25.05±0.35 <sup>c</sup>	1.30±0.00 <sup>a</sup>	3.57±0.04 <sup>b</sup>
中绿 12 号	48.55±1.03 <sup>b</sup>	42.84±0.72 <sup>b</sup>	24.71±0.28 <sup>c</sup>	1.20±0.00 <sup>a</sup>	3.51±0.13 <sup>b</sup>
中绿 16 号	47.77±0.66 <sup>b</sup>	38.16±0.46 <sup>a</sup>	24.63±0.23 <sup>c</sup>	1.40±0.00 <sup>a</sup>	3.55±0.01 <sup>b</sup>
中绿 18 号	47.77±0.47 <sup>b</sup>	38.41±0.47 <sup>a</sup>	23.35±0.01 <sup>b</sup>	1.50±0.00 <sup>a</sup>	3.43±0.04 <sup>ab</sup>
明绿豆	50.37±1.10 <sup>c</sup>	39.91±2.12 <sup>ab</sup>	23.69±0.16 <sup>b</sup>	1.50±0.00 <sup>a</sup>	3.32±0.06 <sup>a</sup>
毛绿豆	56.23±0.16 <sup>d</sup>	37.87±2.22 <sup>a</sup>	20.22±0.04 <sup>a</sup>	1.20±0.00 <sup>a</sup>	3.56±0.00 <sup>b</sup>

注：同列数据不同小写字母表示差异性显著（ $P < 0.05$ ），下表同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences ( $P < 0.05$ ), the same as below.

## 2.2 高绿豆含量面条的品质特性分析

### 2.2.1 高绿豆含量面片色度

色差仪是一种常用的测量颜色的仪器，其中  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  等参数是色差仪中常用的颜色参数，代表不同的颜色特征。 $L^*$  参数代表亮度，表示颜色的明暗程度； $a^*$  参数代表红绿度，正值越大样品颜色越红，负值越大颜色越绿； $b^*$  参数代表黄蓝度，正  $b^*$  表示黄色，值越大样品颜色越黄<sup>[10]</sup>。

如表 3 所示，6 个样品中，亮度值（ $L^*$ ）上，中绿 16 号制作的面片的亮度值最大（68.14），颜色最鲜明；中绿 18 号制作面片的亮度值最小（57.89），颜色偏暗。在红度值（ $a^*$ ）上，只有中绿 16 号面片的  $a^*$  为正，其余均为负值，表明面片颜色发绿，明绿豆绿值绝对值最大（-4.81），中绿 18 号和毛绿豆数值稍小，但无显著差异。在黄度值（ $b^*$ ）上，中绿 16 号面片的  $b^*$  最大，颜色偏黄。有研究表明，绿豆种皮中黄酮类化合物的含量与绿豆的种皮颜色有关，且偏绿的绿豆种

表 3 不同品种绿豆对高绿豆含量面片色泽的影响

Table 3 The color of different cultivars of mung bean dough sheets

绿豆品种	$L^*$	$a^*$	$b^*$
潍绿 7 号	62.85±0.02 <sup>c</sup>	-3.71±0.03 <sup>c</sup>	19.81±0.06 <sup>c</sup>
中绿 12 号	67.74±0.06 <sup>c</sup>	-4.58±0.04 <sup>b</sup>	18.28±0.06 <sup>b</sup>
中绿 16 号	68.14±0.09 <sup>f</sup>	1.11±0.19 <sup>d</sup>	24.56±0.40 <sup>e</sup>
中绿 18 号	57.89±0.01 <sup>a</sup>	-4.68±0.01 <sup>ab</sup>	16.44±0.01 <sup>a</sup>
明绿豆	65.49±0.01 <sup>d</sup>	-4.81±0.01 <sup>a</sup>	20.21±0.00 <sup>c</sup>
毛绿豆	58.89±0.20 <sup>b</sup>	-4.72±0.04 <sup>ab</sup>	23.85±0.08 <sup>d</sup>

皮中黄酮类化合物含量要高于偏黄色的品种<sup>[11]</sup>。而黄酮类化合物是绿豆营养功能发挥的重要活性组分，因此从提升绿豆制品营养功能的角度，色泽上可初步考虑选择  $a^*$  值呈负数、 $b^*$  较小、 $L^*$  居中的品种，如中绿 12 号、中绿 18 号和潍绿 7 号。

### 2.2.2 高绿豆含量面条蒸煮特性

6 个绿豆品种制备的面条吸水率和蒸煮损失见表 4。中绿 16 号品种制作的面条吸水率最高（118.55%），数值最低的是明绿豆品种制作的面条（94.96%）。在面条的蒸煮损失指标上，不同绿豆品种间差异较显著，其中以中绿 16 号面条为最低（7.50%），中绿 18 号的最高。另在实验中发现高绿豆含量的面条蒸煮后均无断条现象，此指标未作考量。总体上看，在蒸煮特性上，中绿 16 号品种制作面条的表现较好。

表 4 不同品种绿豆对绿豆面条蒸煮特性的影响

Table 4 The cooking properties of different cultivars of mung bean noodles

品种	吸水率/%	蒸煮损失率/%
潍绿 7 号	114.50±7.04 <sup>b</sup>	15.50±3.50 <sup>b</sup>
中绿 12 号	100.50±2.79 <sup>a</sup>	13.00±2.80 <sup>ab</sup>
中绿 16 号	118.55±3.57 <sup>b</sup>	7.50±1.70 <sup>a</sup>
中绿 18 号	98.55±2.06 <sup>a</sup>	16.50±2.30 <sup>b</sup>
明绿豆	94.96±2.75 <sup>a</sup>	14.00±4.20 <sup>ab</sup>
毛绿豆	104.50±4.19 <sup>a</sup>	9.50±2.10 <sup>a</sup>

### 2.2.3 高绿豆含量面条质构特性

如表 5 所示，潍绿 7 号制备的面条表现出了较大的硬度（8 773.60 g）和弹性（92.04%），毛绿豆制备的面条表现出较低的硬度（8 106.95 g）

和弹性 (82.01%)。原料中蛋白质和淀粉的含量、组成和理化特性明显影响面条的品质,一般认为,面条的弹性、咀嚼性和硬度越大,其品质就越好<sup>[12]</sup>。表 2 的营养组分反映潍绿 7 号具有最高的总淀粉含量和最低的蛋白质含量,然而毛绿豆与潍绿 7 号出现了相反的规律。有研究表明<sup>[13]</sup>,在小麦复合其它原料(如山药、大豆蛋白)的花色面条研究中,原料中蛋白质含量提高,可通过水合作用使面条质构品质得到一定程度的改善。汪

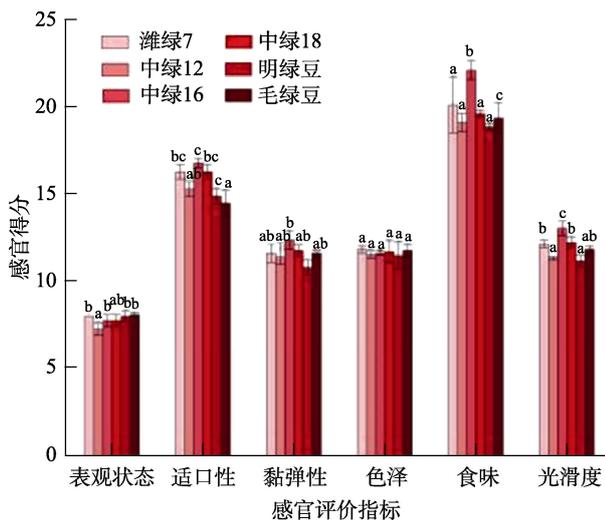
周俊<sup>[14]</sup>将绿豆添加量提高到 50%,通过添加谷朊粉等品质改良剂提高了绿豆面条的硬度、咀嚼性等。本研究则通过筛选适宜的绿豆品种(潍绿 7 号)也能实现较高的硬度和弹性品质。李慧<sup>[15]</sup>将 5 种杂豆粉(黄豌豆、红小豆、绿豆、红芸豆、扁豆)与小麦粉按照质量比 7:3 混合后,制得同样 70%杂豆含量的面条,在硬度、咀嚼性和弹性等数值上均小于本研究由最佳绿豆品种(潍绿 7 号)制作的面条。

表 5 不同品种绿豆对绿豆面条质构特性的影响  
Table 5 The texture properties of different cultivars of mung bean noodles

品种	硬度/g	粘附性/(g·sec)	弹性/%	咀嚼性/g
潍绿 7 号	8 773.60±49.23 <sup>c</sup>	-63.20±0.58 <sup>a</sup>	92.04±0.01 <sup>c</sup>	4 323.44±19.82 <sup>c</sup>
中绿 12 号	8 283.16±15.63 <sup>b</sup>	-48.11±1.28 <sup>c</sup>	86.84±2.23 <sup>b</sup>	3 642.88±36.22 <sup>b</sup>
中绿 16 号	8 388.87±84.41 <sup>b</sup>	-53.41±1.43 <sup>b</sup>	90.50±0.57 <sup>bc</sup>	4 197.31±51.53 <sup>c</sup>
中绿 18 号	7 561.34±67.68 <sup>a</sup>	-34.67±1.40 <sup>d</sup>	90.18±2.48 <sup>bc</sup>	3 297.96±53.98 <sup>a</sup>
明绿豆	8 196.44±65.09 <sup>b</sup>	-33.06±0.30 <sup>d</sup>	90.51±2.77 <sup>bc</sup>	3 707.23±58.49 <sup>b</sup>
毛绿豆	8 106.95±16.44 <sup>b</sup>	-46.85±0.50 <sup>c</sup>	82.01±0.69 <sup>a</sup>	3 554.44±17.88 <sup>b</sup>

### 2.2.4 感官评价

不同品种绿豆面条感官评价结果见图 1~2。面条感官总分靠前的是中绿 16 号和潍绿 7 号。具体来说,中绿 16 号和潍绿 7 号的面条较为光滑,表面细腻,表观状态得分较高。此外,这两个品



注:不同字母表示在感官评价指标上的差异性显著(P<0.05),下图同。

Note: Different letters indicated significant differences in sensory evaluation indicators (P<0.05), the same as below.

图 1 不同品种绿豆面条感官

Fig.1 Sensory evaluation of different cultivars of mung bean noodles

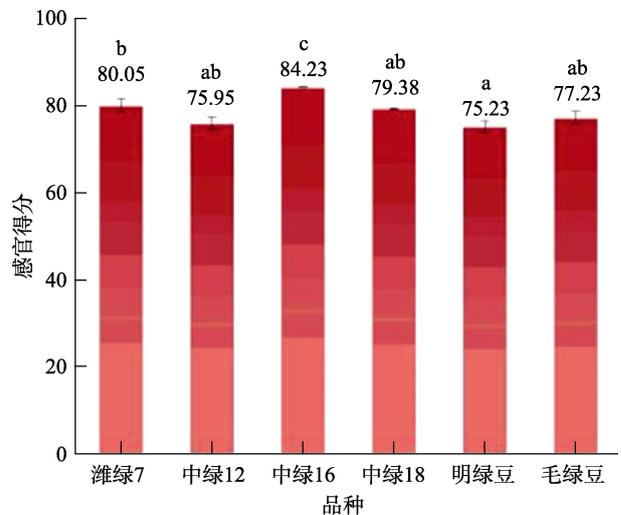


图 2 不同品种绿豆面条感官评价总分

Fig.2 Total score of sensory evaluation of different cultivars of mung bean noodles

种的面条软硬程度的被接受度较高,适口性得分也较高。中绿 16 号面条在咀嚼时不黏牙,爽口,较受欢迎。6 个绿豆品种面条煮后颜色差异不显著。中绿 16 号和潍绿 7 号的面条除了表面较为光滑以外,在品尝起来因有较好的绿豆风味,得分偏高。而明绿豆、中绿 12 号和毛绿豆的总体得分偏低。

### 2.3 不同品种高绿豆含量面条品质的主成分分析

为了准确地评价面条的品质以及指标贡献

程度，采用主成分分析的方法进行研究。将各品质指标按照 SPSS 软件标准化处理后进行主成分分析。通过 KMO 和巴特利检验<sup>[16]</sup>可知  $KMO=0.512>0.5$ ，显著性为 0.000，适合做主成分分析，得到初始特征值及累积贡献率如表 6。前 3 个主成分的特征值均大于 1，其中第一主成分的方差贡献率为 45.834%，第二主成分的方差贡献率为 71.113%，第三主成分的方差贡献率为 85.353%。综合绿豆面条特性的主要信息，故提取因素可以反映总体特征。

表 6 主成分的初始特征值及累积贡献率  
Table 6 Initial characteristic values and cumulative contribution of principal components

成分	初始特征值			提取载荷平方和		
	特征值	方差百分比	累积/%	特征值	方差百分比	累积/%
1	4.583	45.834	45.834	4.583	45.834	45.834
2	2.528	25.279	71.113	2.528	25.279	71.113
3	1.424	14.240	85.353	1.424	14.240	85.353
4	0.582	5.822	91.175			
5	0.523	5.226	96.401			
6	0.176	1.765	98.166			
7	0.090	0.899	99.065			
8	0.073	0.730	99.795			
9	0.016	0.157	99.952			
10	0.005	0.048	100			

由表 7 可知，第一主成分主要以咀嚼性，吸水率，粘附性的影响为主，其次是硬度、总淀粉和蛋白质，说明在第一个主成分中主要反映了这 6 个指标的信息；第二主成分主要以蒸煮损失的

表 7 原料绿豆的主要营养成分以及绿豆面条各品质指标的主成分载荷

Table 7 Principal component loading matrix of mung bean noodles quality indexes

指标变量	主成分 1	主成分 2	主成分 3
咀嚼性	0.930	-0.178	0.134
吸水率	0.830	-0.479	-0.059
粘附性	-0.806	0.316	-0.324
硬度	0.762	-0.146	0.568
总淀粉	-0.704	-0.644	0.225
蛋白质	0.700	0.665	0.040
感官总分	0.650	-0.245	-0.518
弹性	0.603	0.551	-0.409
烹饪损失	-0.148	0.776	-0.001
直链淀粉	-0.081	0.569	0.698

影响为主，其次是蛋白质含量和总淀粉含量；第三主成分主要是直链淀粉含量和感官评价影响。根据各主成分的贡献率，说明对绿豆面条品质影响较大的是咀嚼性、吸水率、粘附性、硬度、总淀粉含量和蛋白质含量等。

## 2.4 不同品种绿豆面条品质的综合评判

用各指标变量的主成分载荷除以主成分相对应的特征值开平方根，得到 3 个主成分中每个指标所对应的系数（特征向量）如表 8，进而得出各主成分表达式如下，其中  $X_1, X_2 \dots X_{10}$  分别表示各原始指标变量经过标准化处理后的数值。

表 8 原料绿豆的主要营养成分以及绿豆面条各品质指标的主成分得分矩阵

Table 8 Principal component score matrix of mung bean noodles quality indexes

指标变量	主成分 1	主成分 2	主成分 3
总淀粉	-0.154	-0.255	0.158
直链淀粉	-0.018	0.225	0.490
蛋白质	0.153	0.263	0.028
硬度	0.166	-0.058	0.399
粘附性	-0.176	0.125	-0.228
弹性	0.131	0.218	-0.287
咀嚼性	0.203	-0.070	0.094
烹饪损失	-0.032	0.307	-0.001
感官总分	0.142	-0.097	-0.364
吸水率	0.181	-0.190	-0.041

$$Y_1 = -0.154X_1 - 0.018X_2 + 0.153X_3 + 0.166X_4 - 0.176X_5 + 0.131X_6 + 0.203X_7 - 0.032X_8 + 0.142X_9 + 0.181X_{10} \quad \text{式 (1)}$$

$$Y_2 = -0.255X_1 + 0.255X_2 + 0.263X_3 - 0.058X_4 + 0.125X_5 + 0.218X_6 - 0.070X_7 + 0.307X_8 - 0.097X_9 - 0.190X_{10} \quad \text{式 (2)}$$

$$Y_3 = 0.158X_1 + 0.490X_2 + 0.028X_3 + 0.399X_4 - 0.228X_5 - 0.287X_6 + 0.094X_7 - 0.001X_8 - 0.364X_9 - 0.041X_{10} \quad \text{式 (3)}$$

$$Y = 4.583Y_1 + 2.258Y_2 + 1.424Y_3 \quad \text{式 (4)}$$

提取主成分特征值之和的比例作为权重系数，建立主成分综合得分模型如公式 (4)。由主

成分综合得分模型, 对不同品种绿豆面条进行综合评价比较, 结果见表 9。

从表 9 可以看出, 在第一主成分值  $Y_1$  中, 潍绿 7 号的得分最高, 为 3.03 分; 由表 7 可知, 第一主成分中以质构特性、吸水率、总淀粉含量和蛋白质含量的影响最为显著, 这与实验测定的结果相一致。此外, 潍绿 7 号是 6 个绿豆品种中蛋

白质含量最高和总淀粉含量最低的品种, 而蛋白质含量在第一主成分有大的载荷, 研究表明, 蛋白质含量越高其面条的硬度和咀嚼性就越高, 它还可以改善面条制品的延展性、弹性及表面光滑度<sup>[16]</sup>。因此潍绿 7 号的  $Y_1$  分值也较大, 并最终导致其综合得分  $Y$  达到了 15.74 分, 在 6 个品种综合得分排名中位居第一。

表 9 6 个品种绿豆面条的主成分得分及排序

Table 9 Principal component scores and ranking of 6 mung bean noodles

品种	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y$ (综合得分)	综合排序
潍绿 7 号	3.03±0.32	0.41±0.96	0.57±0.12	15.74±0.82	1
中绿 12 号	-0.42±0.80	1.18±0.23	2.12±0.09	4.07±2.96	3
中绿 16 号	2.50±0.02	-1.21±0.02	-1.14±0.33	6.79±0.31	2
中绿 18 号	-1.62±0.13	1.25±0.05	-2.39±0.81	-7.64±1.89	5
明绿豆	-1.28±0.36	1.10±0.55	0.21±1.01	-2.81±1.17	4
毛绿豆	-2.21±0.03	-2.73±0.21	0.63±1.24	-16.14±2.17	6

由表 9 可知, 面条得分最低的毛绿豆, 其总淀粉含量最高、面条弹性值最低。有研究表明, 面条中淀粉含量增加, 会导致面条硬度、黏附性、胶黏性、咀嚼性均会降低, 面条还会出现浑汤断条、咀嚼性差等不良品质<sup>[17]</sup>。

### 3 结论

在营养成分上, 6 个绿豆的淀粉和蛋白质含量差异化显著。由传统面条品质指标评价, 潍绿 7 号加工的绿豆面条有较高的感官得分, 弹性更大。另通过主成分分析法获取影响面条品质评价的关键指标, 根据分析结果, 构建高绿豆含量面条品质指标评价模型:  $Y = 4.583Y_1 + 2.258Y_2 + 1.424Y_3$ 。6 个绿豆品种制作出面条的品质综合评价排名依次为: 潍绿 7 号>中绿 16 号>中绿 12 号>明绿豆>中绿 18 号>毛绿豆。本研究为高绿豆含量面条加工适宜原料的筛选和优良品质高绿豆含量面条的制备提供了参考借鉴, 以满足人们对绿豆类新产品的营养健康需求。

### 参考文献:

[1] HOU D, FENG Q, NIU Z, et al. Promising mung bean proteins and peptides: A comprehensive review of preparation technologies, biological activities, and their potential applications[J]. Food Bioscience, 2023: 102972.

[2] KANG I, CHOI S, HA T J, et al. Effects of mung bean (*Vigna radiata* L.) ethanol extracts decrease proinflammatory cytokine-induced lipogenesis in the KK-Ay diabese mouse model[J]. Journal of Medicinal food, 2015, 18(8): 841-849.

[3] TANG C H, WU H, CHEN Z, et al. Formation and properties of glycinin-rich and  $\beta$ -conglycinin-rich soy protein isolate gels induced by microbial transglutaminase[J]. Food Research International, 2006, 39(1): 87-97.

[4] KAUR A, SHEVKANI K, SINGH N, et al. Effect of guar gum and xanthan gum on pasting and noodle-making properties of potato, corn and mung bean starches[J]. Journal of food science and technology, 2015, 52(12): 8113-8121.

[5] SHAO T, ZHOU Y, DAI H, et al. Regulation mechanism of myofibrillar protein emulsification mode by adding psyllium (*Plantago ovata*) husk[J]. Food Chemistry, 2022, 376: 131939.

[6] LI R, WANG L, HOU D, et al. Egg white improved the quality of noodles with high mung bean content by protein aggregation behavior[J]. Cereal Chemistry, 2024, 1-11.

[7] GUO X N, GAO F, ZHU K X. Effect of fresh egg white addition on the quality characteristics and protein aggregation of oat noodles[J]. Food Chemistry, 2020, 330: 127319.

[8] NIU M, HOU G G, KINDELSPIRE J, et al. Microstructural, textural, and sensory properties of whole-wheat noodle modified by enzymes and emulsifiers[J]. Food Chemistry, 2017, 223: 16-24.

[9] 张剑, 张杰, 李梦琴, 等. 绿豆配粉对面团特性及面条品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2015, 36(6): 10-15.

ZHANG J, ZHANG J, LI M Q, et al. Effects of mung bean flour on the dough properties and the quality of noodles[J]. Journal of

- Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2015, 36(6): 10-15.
- [10] 闫铭欢, 王立博, 陈静, 等. 甜荞全谷物粉对小麦面团流变特性及鲜湿面条品质的影响[J/OL]. 食品科学, 2024, 1-11.  
YAN M H, WANG L B, CHEN J, et al. Effects of common buckwheat whole grain flour on rheological properties of wheat dough and quality of fresh wet noodles[J/OL]. Food Science, 2024, 1-11.
- [11] 廉雪, 张耀文. 不同种皮色绿豆黄酮类含量的初步研究[J]. 山西农业科学, 2020, 48(1): 55-57.  
LIAN X, ZHANG Y W. Preliminary study on flavonoids content of mung bean in different seed coat color[J]. Journal of Shanxi Agricultural Science, 2020, 48(1): 55-57.
- [12] 王天姣, 杨玉玲, 卢朝银, 等. 小麦籽粒蛋白质和淀粉特性与面条品质的关系[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(7): 169-174.  
WANG T J, YANG Y L, LU C Y, et al. Relationship of wheat grain protein and starch properties with noodle quality[J]. Food Research and Development, 2023, 44(7): 169-174.
- [13] 孙恺浓. 怀山药-小麦复合粉面条品质的调控及其机理的研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2020, 1-84.  
SUN K N. The regulation of quality of noodles made of compound flour of yam and wheat and its mechanism[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2020, 1-84.
- [14] 汪周俊. 高含量绿豆挂面的研制及品质改良研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2016.  
WANG Z J. Study on the preparation and quality improvement of mung bean hanging noodles of high content[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2016.
- [15] 李慧. 鲜湿杂豆面条的加工工艺及保鲜的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.  
LI H. Study on the processing technology and fresh keeping of freshand wet miscellaneous bean noodle[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2020.
- [16] ROMERO H M, SANTRA D, ROSE D, et al. Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on proso millet flour[J]. Journal of Cereal Science, 2017, 74: 238-243.
- [17] 刘玉洁, 陆启玉. 湿面条蒸煮品质影响因素及其作用机理探析[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(7): 16-18.  
LIU Y J, LU Q Y. Analysis on the factors affecting the cooking quality of wet noodles and its mechanisms[J]. Cereals & Oils, 2019, 32(7): 16-18. 

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://ljspxk.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。