

## 运用计算机视觉识别技术进行馒头气孔结构分析

何胜美<sup>1,2</sup>, 陈东升<sup>1,3</sup>, 张艳<sup>1</sup>, 何中虎<sup>1,4</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院作物科学研究所/国家小麦改良中心/国家农作物基因资源与基因改良重大科学工程, 北京 100081; <sup>2</sup>广东金融学院基础部, 广州 510520; <sup>3</sup>宁夏农林科学院农作物研究所, 永宁 750105; <sup>4</sup>CIMMYT 中国办事处, 北京 100081)

**摘要:** 【目的】利用计算机数字图像分析提取馒头结构的气孔特征, 以评价计算机视觉分析在馒头品质评价中的作用。【方法】试验 1 选用强筋品种 Weaver、中筋品种宁春 4 号和弱筋品种京 411, 按粉质仪吸水率采用 3 个加水量处理, 共计 9 个不同样本。图像分析中, 采用 K-均值算法将气孔从背景中分割出来, 提取了 3 个气孔特征, 即气孔总面积、气孔平均面积和气孔总数目, 用于数据分析。试验 2 利用图像分析对 11 个样本进行馒头品质评价, 并与实验室人工主观评分进行比较。【结果】试验 1 结果表明所取的 3 个特征能够较好反映加水量和筋力强弱对馒头气孔结构的影响, 随着加水量增加和面筋强度增强, 气孔总面积增加, 这与馒头体积增大一致。试验 2 中馒头气孔图像特征的评价与人工评价具有较高的一致性, 表明计算机图像分析能够较好反映馒头内部结构优劣。【结论】利用图像分析进行馒头品质评价是可行的。

**关键词:** 图像处理; k-均值算法; 馒头品质; 加水量; 面筋强度

## Analysis of Cell Structure of Steamed Bread by Digital Image Analysis

HE Sheng-mei<sup>1,2</sup>, CHEN Dong-sheng<sup>1,3</sup>, ZHANG Yan<sup>1</sup>, HE Zhong-hu<sup>1,4</sup>

(<sup>1</sup>Crop Science Institute, National Wheat Improvement Center/The National Key Facility for Crop Gene Resources and Genetic Improvement, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081; <sup>2</sup>Department of Fundment, Guangdong University of Finance, Guangzhou 510520; <sup>3</sup>Crop Research Institute, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yongning 750105; <sup>4</sup>CIMMYT-China Office, Beijing 100081)

**Abstract:** 【Objective】Cell parameters of steamed bread crumb were obtained by digital image analysis (DIA) with the objective to evaluate the possibility of using computerized vision for steamed bread quality evaluation. 【Method】Three wheat cultivars, Weaver with strong gluten, Ningchun 4 with medium gluten, and Jing 411 with weak gluten were used in experiment 1. Three water addition levels based on farinograph's water absorption were used, thus 9 samples were included in this experiment. K-means algorithm was used to segment the steamed bread image. The total cell area, mean cell area, and the number of cells were obtained as characters of steamed bread image. In the second experiment, eleven samples were used to compare the results of machine vision with panel evaluation. 【Result】Results show that those characters are able to characterize the effect of water addition and gluten strength on steamed bread quality. That is, with increase of water addition or gluten strength, the cell total area increases. It corresponds with the change of steamed bread volume. The results of the second experiment indicated that evaluating steamed bread quality with a computer is consistent with manpower evaluation. 【Conclusion】The results show that it is feasible to evaluate steamed bread quality by computerized vision.

**Key words:** Image process; K-means algorithm; Steamed bread quality; Water addition; Wheat gluten strength

收稿日期: 2005-08-22; 接受日期: 2006-06-12

基金项目: 国家“948”重大农业国际合作项目(2003Q01)和“973”国家重点基础研究发展规划(2002CB111300)

作者简介: 何胜美(1979-), 男, 助教, 研究方向为生物数学和图像识别。通讯作者何中虎(1963-), 男, 博士, 研究员, 研究方向为小麦品质遗传育种。Tel: 010-68918547; E-mail: zhhe@public3.bta.net.cn

## 0 引言

【研究意义】馒头是中国的传统蒸制食品，但有关遗传改良和评价方法研究较少，导致育种选择的盲目性大。在实验室加工馒头过程中，面粉的质量、加水量、和面时间和强度、揉面时间等对馒头品质都有重要影响。陈东升等<sup>[1]</sup>研究了加水量对北方馒头品质的影响，表明面粉筋力和加水量影响馒头内部结构，并推荐了各种筋力面粉的最佳加水量。在馒头品质评价中，内部结构相当重要，但主要依赖主观观察，评价结果可能因人而异。因此提供一种客观和重复性好的评价方法具有重要意义。【前人研究进展】计算机图像视觉系统在小麦制品品质研究中得到较好的应用<sup>[2]</sup>，能有效识别面粉质量、添加剂和放置时间对面条表面状况的影响<sup>[3~6]</sup>，同时还能有效提取面包内部气孔的特征，识别不同小麦粉制作的面包片图像差异<sup>[7]</sup>。【本研究切入点】本试验基于计算机图像分析系统，利用数字图像处理技术提取馒头内部图像气孔特征。【拟解决的关键问题】为馒头品质评价提供新方法，从而为遗传改良提供理论依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 面粉准备和馒头蒸制

试验 1 包括 3 个品种，Weaver 是来自国际玉米小麦改良中心(CIMMYT)的强筋品种(样品来自巴盟)，宁春 4 号是来自宁夏的中筋品种(样品来自巴盟)，京 411 是北京地区的弱筋品种(样品来自北京)，其粉质仪稳定时间分别为 12.7、5.4 和 1.8 min。按 AACC 方法，经润麦后用 Buhler 试验磨制粉。3 个面粉样品按粉质仪吸水率(farinograph water absorption, FWA)选择 3 个加水量，分别为 70%FWA、最适加水量和 90% FWA，Weaver、宁春 4 和京 411 的最适加水量分别为粉质仪吸水率的 85%、80%和 75%<sup>[8]</sup>。馒头制作按陈东升等方法<sup>[1]</sup>，评价参照国标方法于 2005 年 7 月在国家小麦改良中心小麦品质实验室完成。每个样品做 3 个馒头，将蒸制好的馒头静置冷却 1 h，用专用电动切片刀将馒头横切成 10 mm 厚的馒头片，用于获取馒头片图像。每个样品取 10 幅图片用于图像分析和结果分析。

试验 2 为来自宁夏和甘肃的 11 个小麦样品(表 3)，按粉质仪最适加水量加水。试验于 2005 年 7 月在国家小麦改良中心小麦品质实验室完成。馒头片准备同试验 1。

### 1.2 图像获取与分析系统

图像采用 CCD(charge coupled device)彩色数码相机(型号: DSC F717, SONY)获取，相机装备一个 10×光学变焦(5 倍精确数码变焦)镜头(型号, Carl Zeiss Vario-Sonnar 10×)。制作一个底为边长 40 cm 的正方形、高 18 cm 的侧面一面开口的玻璃盒。在玻璃盒上底面中心凿一直径为 6.5 cm 的圆形小孔(刚好伸过镜头前部)，相机固定在玻璃盒上，镜头通过小孔深入箱中。通过玻璃盒侧面开口处在盒底面置一可以自由抽动的木制载物台，作为馒头片背景平台，平台表面背景颜色为黑色。拍摄过程中，使用手动调节、延迟和微距拍摄模式，以得到稳定的拍摄环境。将一根三基色环形荧光灯管(型号: PHILIPS.'TE'E 32W/33, COOL WHITE, 色温: 4100K)平放在样品平台周围，稍低于平台，用半径为 0.36 m 的半球形的灯罩扣在平台上方充当光源扩散体，目的是提供一致的扩散光照条件。将馒头片平放在载物平台中央，取其中心部分 50 mm×50 mm 的矩形部分图像，图片像素为 640×640，每个像素面积约为 0.006 mm<sup>2</sup>。将所得图像转入计算机作进一步处理。

图像处理和分析在台式计算机(Dell, Pentium 4)上完成。操作系统为 Windows XP，工程计算软件 MATLAB 的图像处理工具箱作为图像处理和分析主要平台<sup>[9]</sup>。数据统计分析采用常用统计软件 SAS(SAS Institute Inc USA 1976)<sup>[10]</sup>。

### 1.3 图像分析方法

利用上述图像获取系统得到的图像通过 USB 接口转入计算机处理。首先将所得的 RGB 三色图像转化为灰度图像，灰度级为 256，为了减少图像拍摄和传输过程中随机干扰带来的图像噪声的影响，本研究采取中值滤波平滑技术，在消除噪声的同时，较好地保持灰度图像的边缘<sup>[11]</sup>。同时，经过高帽变换和低帽变换增强灰度图像的对比度，以便后面的图像分割。在馒头片图像上，气孔主要位于灰度级较低的区域。由于馒头片图像灰度分布比较接近，灰度直方图基本成单峰状态，因此，采用通常的阈值二值化分割误差比较大，而且很难确定统一阈值。自适应 K-均值算法能够较好地解决这一问题。

将一幅图像分成 K 个区域的一种常用方法是 K-均值聚类算法<sup>[12]</sup>。试验中主要采用 3-均值算法分别对图像进行分割。通过图像分割，将气孔区域从整幅图像中分离出来，然后根据像素的连通性，对气孔区域像素进行标记，将单个气孔分离出来，分别计算面积。

单个孤立像素点属于无效气泡。总共提取了3个馒头片图像特征,即气泡总数、平均气泡面积和气泡总面积。在馒头片的分析中,气泡大小的分布用来检测气泡分布的一致性。

## 2 结果与分析

### 2.1 馒头实验室评价结果

试验1实验室评价主要测量馒头体积、底面宽度和

和高度,3个试验样本的结果见表1。随着加水量增加,馒头体积增大,但宽度也增加,高度下降。根据体积、宽度和高度综合考虑,在最适加水量的情况下,Weaver的馒头品质最好,宁春4号次之,京411最差。

### 2.2 图像分割及气孔特征提取

采用3-均值算法对馒头片图像进行分割,分割结果明显改进。通过对分割后的二值图像标号和统计,得到馒头片气孔特征如表2,为10幅图片特征的平均值。

表1 试验1中3个样本馒头体积、底部宽和馒头高度

Table 1 Steamed bread volume, width and height in experiment 1

样本	加水量	体积	宽度	高度
Sample	Water addition level	Volume (cm <sup>3</sup> )	Width (cm)	Height (cm)
Weaver	70% FWA <sup>1)</sup>	220	8.8	6.0
	最适(85%FWA)	275	9.0	5.7
	90% FWA	275	9.4	5.4
宁春4号 Ningchun 4	70% FWA	232	8.3	5.8
	最适(80%FWA)	240	8.7	5.5
	90% FWA	275	9.5	5.5
京411 Jing 411	70% FWA	232	8.0	5.8
	最适(75%FWA)	237	8.4	5.7
	90%FWA	267	9.5	5.2

<sup>1)</sup> FWA 粉质仪吸水率。下同 FWA: Farinograph water absorption. The same as below

表2 通过图像分析得到的Weaver、宁春4号和京411馒头片气孔的基本特征

Table 2 Typical feature measurements of steamed bread by image analysis

样品	加水量	平均面积	气孔数目	总面积
Sample	Water addition level	Average area (mm <sup>2</sup> )	Number	Total area (mm <sup>2</sup> )
Weaver	70%FWA	0.36b	1366a	488.18a
	最适(85%FWA)	0.47a	1170b	546.72a
	90%FWA	0.45a	1285ab	571.17a
宁春4 Ningchun 4	70%FWA	0.40a	1268a	505.75a
	最适(80%FWA)	0.39a	1368a	524.94a
	90%FWA	0.43a	1238a	525.55a
京411 Jing 411	70%FWA	0.33b	1618ab	543.76a
	最适(75%FWA)	0.32b	1699a	540.86a
	90%FWA	0.42a	1436b	592.56a

不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters represent significant difference at 5% probability level

### 2.3 水量和面筋强度对馒头结构的影响

从表2可知,加水量对馒头内部结构有显著影响,但不同样品差异较大。京411是典型的弱筋面粉,较低加水量就能形成较好的面筋网络结构,具有较强的气体保持力,蒸制过程中,气孔不易破裂。在最适加水量时,面筋结构较好,因而气孔总数多,平均面积小,这正是优质馒头的结构特征。采用90%加水量时,由于加水过多,蒸制过程中气孔容易破裂导致多个气

孔合并,从而气孔平均面积增加,气孔数目减少,这是劣质馒头的典型特征。对于强筋面粉Weaver而言,70%加水量太少,面絮难以成团,压片、揉圆和成型困难,影响发酵,气孔平均面积小,但数目多。85%的最佳加水量到90%加水量水平相差不大,均能形成较好的网络结构,气孔的气体保持力增强,气孔平均面积减小,总数目增多。中筋品种宁春4的馒头结构在不同加水量水平下差异不显著,这和不同加水量下

中筋面粉馒头品质相对稳定一致<sup>[7]</sup>。

## 2.4 馒头结构评价比较

按照计算机图像分析方法提取后，试验 2 的 11 个样本的馒头片的图像特征如表 3。其中平均面积、总数、总面积和方差是利用计算机图像分析提取的特征，评分是实验室对馒头结构的主观观察评分。

从所提取的特征来看，中筋面粉馒头的内部气孔平均面积小，总数多，变化幅度小（比较均匀），气孔总面积小。弱筋馒头的内部气孔平均面积大，总数少，变化幅度大（不太均匀，气孔面积的标准差都大

于 1.3），气孔总面积大。在实验室评价中，馒头内部结构要求气孔致密、均匀，对于中筋馒头而言，其气孔平均面积小，而且分布比较均匀（标准差较小），故而评分应该比较理想，这与人工评分结果一致。在实验室评价中，5 个中筋面粉馒头的得分比较好，均高于 8 分，弱筋的面粉馒头评分相对要低。两个辽春 10 样品（编号 7 和 10）做成的馒头，其内部气孔小、多而且分布比较均匀，是典型的优质结构，这与其评分为 9 相符合。评分较低的 5 号样品，其气孔面积稍大，而且分布不太均匀，标准差为 1.37，其内部结构稍差。

表 3 参试 11 个样本的馒头片图像特征及内部结构评分

Table 3 The features and score of the 11 samples

编号 Code	样本 Sample	筋力 Gluten type	平均面积 Average area	总数 Total number	总面积 Total area	方差 Variance	评分 Score
1	Chil/2*Star <sup>1)</sup>	弱 Weak	0.51	1 371	695.9	1.31	8.0
2	新春 2 <sup>1)</sup> Xinchun 2	弱 Weak	0.53	1 369	727.2	1.53	8.0
3	Gamenya <sup>1)</sup>	弱 Weak	0.56	1 230	681.6	1.34	7.5
4	Bow/Mor//Bau <sup>2)</sup>	弱 Weak	0.61	1 251	753.0	1.36	7.5
5	Gamenya <sup>2)</sup>	弱 Weak	0.58	1 291	732.2	1.37	7.0
6	宁春 4 <sup>1)</sup> Ningchun 4	中 Medium	0.39	1 851	725.6	1.03	8.5
7	辽春 10 <sup>1)</sup> Liaochun 10	中 Medium	0.39	1 772	692.6	1.06	9.0
8	Sunstate <sup>1)</sup>	中 Medium	0.48	1 565	759.0	1.25	8.0
9	陇春 15 <sup>2)</sup> Longchun 15	中 Medium	0.39	1 762	686.7	0.99	8.0
10	辽春 10 <sup>2)</sup> Liaochun 10	中 Medium	0.40	1 885	735.8	0.92	9.0
11	巴优 1 <sup>1)</sup> Bayou 1	强 Strong	0.47	1 480	697.2	1.29	8.0

<sup>1)</sup> 表示样品来源于宁夏; <sup>2)</sup> 表示样品来源于甘肃 <sup>1)</sup> Represents the samples of Ningxia; <sup>2)</sup> Represents the samples of Gansu

## 3 讨论

基于馒头和面包内部空隙结构的相似性，本研究尝试利用计算机图像分析进行馒头内部结构品质评价，取得了比较满意的结果。试验 1 表明，通过提取馒头片气孔总面积、平均面积和气孔总数 3 个特征，能较好反映加水量和筋力强弱对馒头品质的影响。馒头和面包品质评价有一定的相似性。国外在使用计算机图像处理分析面包气孔结构中取得了较好的结果，能够通过提取面包片气孔总面积、密度、平均面积等特征识别各种因素对面包结构的影响，但馒头和面包内部结构又有一定差异，面包的内部气孔结构明显，易于分割，而馒头图像灰度级比较接近，灰度直方图都呈单峰分布，造成图像分割困难，利用文献中通常的阈值分割很难达到较好的效果。本研究采用 3-均值算法进行分割，改善了分割效果，从而较好地反映馒头片气孔分布。但同时也使一部分气孔合并，使得气

孔总面积随加水量变化趋势比较一致，气孔平均面积和总数目对加水量的变化并不太明显。如能进一步加强图像分割效果，将大幅度提高分析结果。同时，馒头切片过程中的手工切片对馒头片的结构有一定影响，如能改进这两个环节，将进一步提高结果的可靠性。试验 2 中 11 个样品的特征分析表明，通过对图像特征进行评价，在一定程度上能较好反映馒头内部结构的优劣，与人为评价比较，所得结果更为客观和可靠。然而这只是对利用图像识别技术参与馒头内部结构评价的初步尝试，要将图像分析真正用于品质评价，还需进行更多研究，寻求馒头内部结构评分与 4 个气孔特征的关系，建立稳定的模型，从而为实验室馒头的内部结构评价提供参考。

## 4 结论

本研究首次将计算机图像视觉系统应用于馒头内部气孔结构的评价，试验表明研究中所采用的 3-均值

聚类算法能较好的从馒头片图像中提取出气孔区域。试验 1 表明计算机图像分析能够有效提取馒头内部气孔的平均面积、总数目和总面等特征,能够识别加水量和筋力强弱对馒头内部结构的影响。试验 2 通过对 11 个馒头样本 4 个气孔特征分析,并与人工评分比较,表明 4 个气孔特征能构反映馒头结构的优劣,和人工评分具有较高的一致性。因而利用计算机视觉技术进行馒头内部气孔结构评分是可行的,从而为实验室馒头品质评价提供客观方法和参考。

## References

- [1] 陈东升, 张 艳, 何中虎, 王德森, R J Pena. 不同加水量对北方馒头加工品质影响的研究. *作物学报*, 2005, 31: 730-735.  
Chen D S, Zhang Y, He Z H, Wang D S, Pena R J. Effect of water addition on northern style Chinese steamed bread processing quality. *Acta Agronomica Sinica*, 2005, 31: 730-735. (in Chinese)
- [2] Scanlon M G, Saoirstein H D. Digital image analysis for quality assurance in the wheat-to-bread supply chain. *Wheat Quality Elucidation: The Bushuk Legacy*. AACC Press, 2002.
- [3] Hatcher D W, Symons S J, Kruger J E. Measurement of the time-dependent appearance of alkaline doodles by image analysis. *Cereal Chemistry*, 1999, 76: 189-194.
- [4] Hatcher D W, Symons S J. Assessment of oriental noodle appearance as a function of flour refinement and noodle type by image analysis. *Cereal Chemistry*, 2000a, 77: 181-186.
- [5] Hatcher D W, Symons S J. Image analysis of Asian noodle appearance: impact of hexaploid wheat with a red seed coat. *Cereal Chemistry*, 2000b, 77: 388-391.
- [6] Hatcher D W, Symons S J. Influence of sprout damage on oriental noodle appearance as assessed by image analysis. *Cereal Chemistry*, 2000c, 77: 380-387.
- [7] Zghal M C, Scanlon M G, Sapirstein H D. Effects of flour strength, baking absorption, and processing conditions on the structure and mechanical properties of bread crumb. *Cereal Chemistry*, 2001, 78: 1-7.
- [8] 陈东升. 春小麦品种(系)馒头和面条品质评价. 中国农业科学院硕士学位论文, 2004.  
Chen D S. Northern style Chinese steamed bread and dry Chinese noodle quality of spring wheat varieties and advanced lines. Master degree thesis, Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2004. (in Chinese)
- [9] 徐 飞, 施晓红. *Matlab 应用图像处理*. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.  
Xu F, Shi X H. *Matlab Image Processing*. Xi'an: Xi'an Electronic and Technology University Press, 2002. (in Chinese)
- [10] 高惠璇. SAS 系统 SAS/STAT 软件使用手册. 北京: 中国统计出版社, 1997.  
Gao H X. *The SAS System User'Guide for SAS/STAT*. Beijing: Chinese Statistical Press, 1997. (in Chinese)
- [11] Gonzalez R C, Woods R E. *Digital Image Processing* (2nd edition), Beijing: Publishing House of Electronics Industry Press, 2003.
- [12] 章毓晋. 图像分割. 北京: 科学出版社, 2001.  
Zhang Y J. *Image Segmentation*. Beijing: Scientific Press, 2001. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)