

牛眼肌区域大理石花纹评级特征的研究

孟祥艳

(西安工业大学电子信息工程学院, 陕西 西安 710032)

摘 要: 针对我国牛肉分级制度中的大理石花纹等级评定特征不确定的问题, 提出用几何、粒度及形状参数来表征花纹几何、形状及分布特点的方法。选择对牛肉大理石花纹等级评定起主要作用的特征参数, 对中国、美国及日本 3 个国家的牛肉等级图进行深入地研究, 找寻 3 个国家牛肉大理石花纹分级标准的侧重点。对选取的参数数据进行相关性分析, 剔除原特征集中相关性较强的特征, 应用主成分分析法对影响大理石花纹等级的参数进行线性组合, 选取适合的主成分建立大理石花纹的等级预测模型。

关键词: 大理石花纹; 等级评定; 特征参数; 相关性分析; 主成分分析

Marbling Grading Characteristics in Beef *longissimus dorsi*

MENG Xiang-yan

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: In light of indefinite marbling characteristics in China's beef grading systems, a mathematical method was presented to characterize beef marbling based on geometric, distribution and shape parameters. Using chosen characteristic parameters playing an important role in beef marbling grading, the standard beef marbling images from the United States, Japan and China were studied to find the emphasis point of each country's beef marbling standard. The chosen characteristic parameters were correlated to eliminate the highly correlated features from the original ones. Principal component analysis was used for linear combination of the affecting parameters of beef marbling and the appropriate principal components were selected for establishing a marbling grading prediction model.

Key words: beef marbling; grading; characteristic parameters; correlation analysis; principal component analysis

中图分类号: TS251.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-8123(2011)10-0006-06

牛肉大理石花纹是评价牛肉等级的重要标志之一, 目前尚无量化的方法与国家标准, 多采用评价员人为肉眼分级, 将眼肌横切面处牛肉的大理石花纹图案和牛肉色泽, 与牛肉质量分级标准所描述和确定的各个等级牛肉大理石花纹标准图版和标准肉色版进行比对, 最后在特征匹配和经验的基础上确定牛肉的质量等级。这种评定方法有很大的主观性和随机性, 因为这个过程受分级员的感官阈值差异、经验丰富程度的差异以及工作疲劳程度等多个因素的影响。

我国牛肉分级行业标准目前关于大理石纹的标准主要分为 4 级(分别为 1、2、3、4 级), 是南京农业大学肉类研究室于 2003 年制定的, 汤晓艳等^[1]曾针对大理石花纹标准图谱中花纹量化不均的问题, 提出将原有的 4 级调整为 7 级; 美国的牛肉大理石纹分为 6 级(分别为 Moderately Abundant、Slightly Abundant、Modest、Small、Slight 及 Traces); 日本大理石纹等级标准划分比较细致, 分为 12 个等级; 澳大利亚牛肉分级系统将大理石花纹从少到多分别为 0、1、2、3、4、5、6

共 7 个级别。将图像处理技术引入牛肉质量分级, 是 Chen 等^[2]于 80 年代末提出, 他们通过图像处理技术, 计算出了美国牛肉分级系统中 6 张牛肉大理石花纹标准图版牛眼肌的肌内脂肪面积, 将其作为判定牛肉质量等级的定量指标。Chen 等^[3]首先提出了一套基于人工智能技术开发的、辅助评定师进行牛肉分级的半自动系统, 由评定师将所观测到的牛肉眼肌横截面视觉特征, 用标准化的叙述词输入到一套专家系统, 判断出牛肉相应的等级。Schutte 等^[4]通过视频图像分析来评价大理石花纹含量及得分值, 并将结果与专家评级员的结果进行对比, 结果表明两者间具有很高的相关性。Shiranita 等^[5]在牛眼肌图像上取出固定尺寸的矩形黑白图像, 采用神经网络技术, 得到一幅只包含脂肪和肌肉区域的牛肉大理石花纹图像, 选择参数如图像中肌内脂肪面积比、脂肪颗粒总数、大脂肪颗粒数、小脂肪颗粒数以及脂肪分布系数, 分析表明, 肌内脂肪面积比、大脂肪颗粒数和脂肪分布系数与牛肉大理石花纹等级之间具有显著的相关性。Yoshikawa 等^[6]采用了步长处理法进行特征参数

收稿日期: 2011-10-14

作者简介: 孟祥艳(1980—), 女, 讲师, 博士, 研究方向为图像处理与模式识别。E-mail: wulizu@126.com

的提取,实验结果表明,判断牛肉大理石花纹等级的准确率可以达到95.8%。Jeyamkondan等^[7]将牛胴体眼肌肌内脂肪的面积、周长以及脂肪颗粒数作为判定牛肉大理石花纹等级的特征参量,并且通过多元回归分析得到数学模型与由专业牛肉质量评定师判定的结果是等价的。陈坤杰^[8]研究了牛肉大理石花纹图像的分形特征,探讨了牛肉大理石花纹图像的各种分形维随牛肉大理石花纹等级的改变而发生变化的统计规律。通过将牛肉大理石花纹的分形维与其他能够反映牛肉肌间脂肪分布特征的参数相组合的方式,建立了该指标与牛肉大理石花纹等级关系的数学模型,并对大理石花纹分形特征:计盒维和信息维进行了测定^[9],结果表明两个特征均有随等级的增加而增大的变化趋势。高晓东等^[10]在530nm特征波段处提取出3个特征参数,分别为大颗粒脂肪密度、中等颗粒脂肪密度和小颗粒脂肪密度,使用特征参数分别建立多元线性回归模型(multiple linear regression, MLR)和正则判定函数模型,前者总的分级准确率是84.8%,后者为78.8%。贾君^[11]通过对大理石花纹的形态、分布等因素的研究,建立了模拟模型,定量描述了脂肪沉积的均匀分布与嫩度、多汁性和适口性有正相关性。谢元澄等^[12]对大理石花纹图像进行了纹理特征的提取,结果证明,通过局部二值模式处理后提取灰度共生矩阵的4个特征可以作为大理石花纹等级的评定特征参数。

美国标准牛肉图像大理石花纹等级与大理石花纹面积之间存在强相关性($R^2 > 0.9$)。国外的有关研究表明:样本牛胴体眼肌区域大理石花纹等级与大理石花纹面积之间也具有较强的相关性($R^2 = 0.47 \sim 0.69$)^[13-14]。大理石花纹等级还应包括的肌间脂肪大小、颗粒数量、形状参数及分布特征等量化指标目前都没有进行过系统的研究,评价大理石纹等级还是停留在以脂肪面积比率为指标或评价员肉眼分级的阶段,缺乏对于牛肉大理石花纹丰富程度的定量描述,并没有达到量化快速准确的目标,而对将颗粒粒度参数应用到描述大理石花纹分级上则没有相关报道。因此,亟需将不同等级大理石花纹量化,为大理石花纹智能化分级技术的研究提供依据。

本实验针对目前牛肉大理石花纹分级的局限性,提出应用粒度参数表征大理石花纹形状特性,并将会对影响大理石花纹等级的因素进行特征提取,寻找可以很好表征大理石花纹等级的主特征,建立预测模型。

1 牛肉眼肌及大理石花纹区域的提取

1.1 眼肌区域的提取

应用数学形态学方法提取牛肉眼肌,所用到的数学形态学方法有腐蚀、膨胀及开运算。流程如下:

原始图像→数学形态学处理→滤波→边界提取→标记

经过实验,选择结构元素 $SE = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$ 进行腐蚀与膨胀,而开运算平滑边界选择的结构元素为圆盘形结构元

素, $SE = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ 。对处理后的图像采用均值滤波,

则所选择的滤波器是半径为2像素的圆形均值滤波器。选择二值图像中各个分离部分进行4-连通区域标注,并对标记后的矩阵取属性,包括标记区域的面积及最小外接矩形的相关信息。

1.2 大理石花纹区域的提取

经过眼肌区域的分割,可以进一步通过与原图像的逻辑运算提取大理石花纹,具体操作流程为:

原图→二值化→与操作→二值化→标记→滤波→大理石花纹图
眼肌图

2 评价指标

针对大理石花纹自身分布及形状的特点,选择适当的特征参数来表征大理石花纹等级评定特征。

2.1 几何参数

大理石花纹颗粒的几何参数包括颗粒数量、颗粒面积及颗粒周长,主要表示颗粒几何外形的参数。

2.2 分布特征参数

2.2.1 面积密度 A_A

花纹颗粒的总面积与眼肌总面积之比,此项指标是目前国内外评价大理石花纹等级的主要指标。

2.2.2 周长密度 P_A

花纹颗粒的总周长与眼肌总面积之比,这一指标在一定程度上反映了花纹颗粒形状的不规则程度。

2.2.3 数密度 N_A

花纹个数与眼肌总面积之比,表示了花纹的丰富程度。

2.2.4 分区域属性

2.2.4.1 分区面积密度

利用被标记图像的最小外接矩形的中心线,将眼肌区域分成4份(各区域面积不一定相等)。统计各分区内的大理石纹面积与其所在分区的眼肌面积之比,这一参数可表征花纹分布的均匀性。通过计算各分区域面积密度的变异系数的大小表示各分区域的差异程度。

2.2.4.2 花纹颗粒的大小占有率

将全部大理石花纹分为3种颗粒,分别为大颗粒、较大颗粒和小颗粒,3种颗粒的面积占总面积的比率



为： $>0.8\%$, $[0.08\%, 0.8\%]$, $[0, 0.08\%]$ 。统计在3个区间内的花纹个数及花纹总面积，用3个区间内的个数比值或面积比率区别等级。

2.2.4.3 花纹相邻点间矩

利用花纹质点计算花纹相邻点间的欧氏距离，并计算各距离间的变异系数，以此来表征分布的均匀性。

2.3 粒径参数

2.3.1 粒径(D)

颗粒形状多种多样，粒径定义方法也不同，采用等效圆直径法，即面积等于颗粒投影面积的圆的直径作为被测颗粒的粒径。

$$D = \sqrt{4A/P} \quad (1)$$

式中： A 为颗粒的面积。

2.3.2 垂直距

花纹颗粒最大、最小纵坐标数值之差。

2.3.3 水平距

花纹颗粒最大、最小横坐标数值之差。

2.3.4 形状特征参数

2.3.4.1 延长指数(I_A)

延长指数代表颗粒单元的伸长属性，延性的最直观表达方式就是长宽比。通常颗粒的延长指数用式(2)表示。

$$I_A = \frac{R_i}{R_c} \quad (2)$$

式中： R_i 、 R_c 分别代表内切圆和外接圆的半径。

由于花纹形状大多数不规则，其凸集也呈不规则的多边形，所以不一定有内切圆和外接圆，将利用式(3)表示花纹颗粒的延长指数(也称延性系数)。

$$F = \frac{D_{\max}}{D_{\min}} \quad (3)$$

式中： $D_{\max}$ 为长轴，是与花纹区域具有相同标准二阶中心矩的椭圆的长轴。 $D_{\min}$ 为短轴，与花纹区域具有相同标准二阶中心矩的椭圆的短轴。 F 的变化区间为 $[0, 1]$ ，0表示直线，1表示圆。

2.3.4.2 Blaschke 系数^[15]

具有相同周长的平面图形中，圆的面积最大，而在面积相等的前提下，圆的周长最小。因此，周长应该是形状参数的因素之一；图形的凸性反映了其充填能力。

$$I_{cb} = \frac{32A}{(\pi P)^2} \quad (4)$$

式中： A 、 P 分别为颗粒的面积和周长。 I_{cb} 的定义区间为 $[0, 8/\pi^2]$ ，0表示线段， $8/\pi^2$ 表示圆。

2.3.4.3 形状参数(S)

形状参数通常是由面积与周长决定的。通过 S 的计算值可以看出^[16]，随着多边形边数的增多，多边形越接近于圆形， S 数值越接近于1。当 S 值小于0.886时，很明显是因为有锐角存在，在相同周长的前提下，所围限的面积更小，导致 S 值迅速降低。因此，形状参数 S 的大小还反映了颗粒有无尖锐棱角。

$$S = \frac{\sqrt{4A}}{P} \quad (5)$$

式中： A 、 P 分别为颗粒的面积和周长。

2.3.4.4 多边形形态特性

作为表述颗粒单元形态的参数，参数数值应该与多边形形态可以一一对应才便于使用。求出颗粒区域的凸集，画出花纹区域外切多边形，并统计此多边形的边数，也可作为表征花纹形状的指标之一。

2.3.4.5 似圆性

选择与区域具有相同标准二阶中心矩的椭圆的离心率来表示花纹形状的似圆情况，离心率越小形状越接近于圆，并求此离心率的变异系数，可作为评价颗粒形状一致性的指标之一。

3 数据处理

3.1 特征提取

特征的选取是模式识别的一个重要课题，也是模式识别成败的关键。模式识别中，要选择那些对分类影响大的特征，使所建立的模式空间在尽量减少特征数目的情况下，仍保持所研究对象的基本信息。

3.1.1 相关性分析

对花纹的各种特征参数与等级之间进行相关性分析，找到影响花纹分级的重要因素，选择与等级有较高相关性的特征参数作为回归模型的变量。相关性分析选择确定系数(相关系数的平方)来表示，确定系数是指一个变量的变化有百分之多少可以由另一个变量来解释。

设原高维特征集为 $T_N = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ，样本总数为 K ，相关分析选择法具体过程如下：

- 1) 利用某一个评价准则，将 n 个特征优劣进行排序。
- 2) 求出这 n 个特征的自相关矩阵

$$r = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nn} \end{bmatrix} \quad (-1 \leq r_{ij} \leq 1)$$

3) 设置一个门限值 $\delta (0 < \delta < 1)$, 按顺序 $i=1, 2, \dots, n; j=i+1, i+2, \dots, n$ 来考察这 n 个特征。当 $r_{ij} > \delta$ 时, 比较 x_i, x_j 在优劣排序中的次序, 将排序在后的那个特征剔除; 然后继续考察剩下的特征, 当遇到两个特征中已有一个特征被剔除时, 无条件保留剩下的那个特征, 全部考察完毕之后, 将保留下来的特征构成一个降维的特征子集 T_p , 这里 p 为集合 T_p 中的元素个数。

3.1.2 主成分分析法

原始数据在进行主成分分析前必须进行标准化, 标准化处理也称方差归一化, 它是将原数据集各元素减去该元素所在列的元素的均值再除以该列元素的标准差。

$$x'_{ik} = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{S_k} \quad (6)$$

$$S_k = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_{ik} - \bar{x}_k)^2} \quad (7)$$

3.2 模型的建立

主成分的数目根据预测残差平方和来确定^[17]。使用一定数目的主成分建立一个模型, 并对参加建模的每个样本进行预测, 求出每个样本的预测值和已知值的差, 则:

$$PRESS = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^d (Y_{p,ij} - y_{ij})^2 \quad (8)$$

式中: m 为校正集中样本数目; d 为使用的主成分数目; $Y_{p,ij}$ 为样本的预测值; y_{ij} 为样本已知值。

4 结果与分析

4.1 特征参数的计算

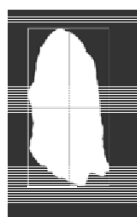
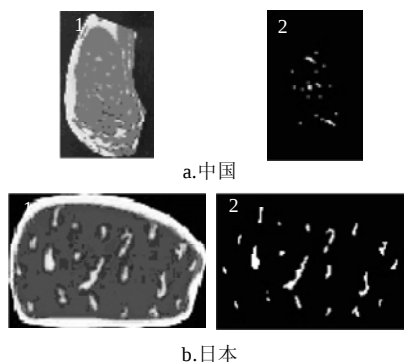


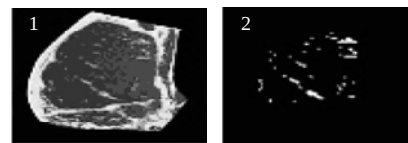
图1 牛眼肌区域分区

Fig.1 Partition of beef longissimus dorsi



a. 中国

b. 日本



c. 美国

1. 牛肉大理石花纹原图; 2. 牛肉大理石花纹图。

图2 中国、日本、美国3个国家的大理石花纹图

Fig.2 Beef marbling images from the United States, Japan and China

3 个国家的大理石花纹分区图及大理石花纹图如图 1、2 所示, 均选择第 3 个等级的标准图进行处理。并将 3 个国家的大理石花纹的标准图进行特征提取, 对上述提出的各种参数进行计算, 以便进行后续的相关性分析。

4.2 相关性分析

选取的 17 个特征参数分别为面积密度 A_A 、周长密度 P_A 、延长指数变异系数 V_F 、延长指数平均值 M_F 、粒径变异系数 V_D 、粒径平均值 M_D 、Blaschke 系数的变异系数 V_I 、Blaschke 系数平均值 M_I 、形状参数 S 、外接多边形边数的变异系数 V_m 、外接多边形边数的平均值 M_m 、分区域面积密度的变异系数 V_{SA} 、大花纹个数比 R_N 、大花纹面积比 R_A 、花纹间距离的变异系数 V_d 、花纹似圆度的变异系数 V_E 及花纹似圆度的平均值 M_E 。变异系数是为了表征不同花纹特征参数的离散程度。特征参数与等级的确定系数如表 1 所示。

表1 特征参数与等级的相关系数表

Table 1 Correlations between characteristic parameters and beef marbling grading

参数	中国花纹 等级(1~4)	日本花纹 等级(1~12)	美国花纹 等级(1~6)
A_A	0.9621	0.9816	0.8926
P_A	0.9578	0.9948	0.9034
V_F	0.2909	0.0059	0.7142
M_F	0.0947	0.6411	0.7081
V_D	0.8806	0.6691	0.8267
M_D	0.9781	0.5518	0.7715
V_I	0.3251	0.4547	0.6090
M_I	0.9421	0.0892	0.8533
S	0.8438	0.9295	0.7947
V_m	0.9111	0.8445	0.0074
M_m	0.9850	0.2582	0.9572
V_{SA}	0.8102	0.5505	0.6817
R_N	0.8999	0.6850	0.6013
R_A	0.8794	0.7889	0.6702
V_d	0.7948	0.6334	0.0099
V_E	0.9559	0.0014	0.1527
M_E	0.9905	0.5048	0.2198

根据表 1, 对特征参数与等级的确定系数从大到小进行排序, 排序结果为: 对中国大理石花纹等级评定影

响程度的排序: M_E 、 M_m 、 M_D 、 A_A 、 P_A 、 V_E 、 M_I 、 V_m 、 R_N 、 V_D 、 R_A 、 S 、 V_{SA} 、 V_d 、 V_I 、 V_F 、 M_F 。依据自相关系数矩阵, 得到特征参数为: M_E 、 V_{SA} 、 V_I 、 V_F 、 M_F 。对日本大理石花纹等级评定影响程度的排序: P_A 、 A_A 、 S 、 V_m 、 R_A 、 R_N 、 V_D 、 M_F 、 V_d 、 M_D 、 V_{SA} 、 M_E 、 V_I 、 M_m 、 M_I 、 V_F 、 V_E 。依据自相关系数矩阵, 得到特征参数为 P_A 、 R_A 、 V_D 、 M_F 、 M_D 、 V_{SA} 、 V_I 、 M_I 、 V_F 、 V_E 。对美国大理石花纹等级评定影响程度的排序: M_m 、 P_A 、 A_A 、 M_I 、 V_D 、 S 、 M_D 、 V_F 、 M_F 、 V_{SA} 、 R_A 、 V_I 、 R_N 、 M_E 、 V_E 、 V_d 、 V_m 。依据自相关系数矩阵, 得到特征参数为 M_m 、 M_D 、 V_{SA} 、 R_A 、 V_I 、 R_N 、 M_E 、 V_d 、 V_m 。

4.3 主成分分析

4.3.1 中国大理石花纹等级评定模型的建立

4.3.1.1 主成分的获得

选取 M_E 、 V_{SA} 、 V_I 、 V_F 、 M_F 在 4 个等级中的参数值, 将数据标准化, 进行主成分分析, 主成分贡献率为 $\text{Per}=[52.9900, 37.6521, 9.3578, 0, 0]$ 。

4.3.1.2 回归

分别选择第 1 主成分、前两个主成分、前 3 个主成分、前 4 个主成分及全部主成分对等级进行线性回归, 得到各自残差平方和, 主成分个数与残差平方和的关系如图 3 所示。

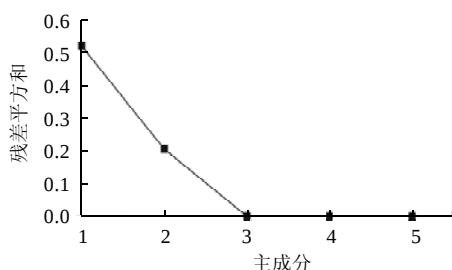


图3 主成分个数与回归残差平方和关系图

Fig.3 Relationship between number of principal components and residual sum of squares for Chinese standard beef marbling image

由图 3 可知, 选取 3 个主成分时残差平方和即已达到要求 ($\text{PRESS} = 1.2326 \times 10^{-30}$), 而累积百分率达到 100%, 则对前 3 个主成分与等级数进行线性回归, 得到回归方程:

$$Y_1 = -0.7506 + 0.2368P_1 + 0.3825P_2 + 2.5P_3 \quad (9)$$

式中: P_1 、 P_2 、 P_3 为第 1 主成分、第 2 主成分及第 3 主成分。

4.3.2 日本大理石花纹等级评定模型的建立

4.3.2.1 主成分的获得

选取 P_A 、 R_A 、 V_D 、 M_F 、 M_D 、 V_{SA} 、 V_I 、 M_I 、 V_F 、 V_E 在 12 个等级中的参数值, 将数据标准化, 进行主成分分析, 主成分贡献率为 $\text{Per}=[51.3030, 16.5477,$

$14.2280, 10.4492, 4.4374, 1.5496, 1.1187, 0.2113, 0.1547, 0.0005]$ 。

4.3.2.2 回归

分别选择第 1 主成分、前两个主成分、前 3 个主成分、前 4 个主成分及至全部主成分对等级进行线性回归, 得到各自残差平方和, 主成分个数与残差平方和的关系如图 4 所示。

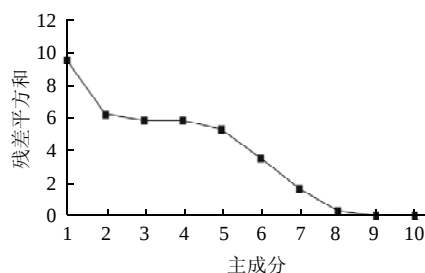


图4 主成分个数与回归残差平方和关系图

Fig.4 Relationship between number of principal components and residual sum of squares for Japanese standard beef marbling image

如图 4 所示, 选取 10 个主成分时残差平方和才达到最小 ($\text{PRESS}=1.0255 \times 10^{-28}$), 所以为了观测的准确性, 对全部 10 个主成分与等级数进行线性回归, 得到回归方程:

$$Y_2 = 1.3994 - 0.4495N_1 + 0.1568N_2 + 0.0249N_3 + 0.3598N_4 - 1.0661N_5 + 1.278N_6 + 2.5881N_7 + 1.2464N_8 + 6.2525N_9 + 7N_{10} \quad (10)$$

式中: $N_1, N_2, \dots, N_{10}$ 为第 1 主成分到第 10 主成分。

4.3.3 美国大理石花纹等级评定模型的建立

4.3.3.1 主成分的获得

选取 M_m 、 M_D 、 V_{SA} 、 R_A 、 V_I 、 R_N 、 M_E 、 V_d 、 V_m 在 6 个等级中的参数值, 将数据标准化, 进行主成分分析, 主成分贡献率为 $\text{Per}=[51.4253, 22.1974, 11.4202, 10.3072, 4.6499, 0, 0, 0, 0]$ 。

4.3.3.2 回归

分别选择第 1 主成分、前两个主成分、前 3 个主成分、前 4 个主成分及至全部主成分对等级进行线性回归, 得到各自残差平方和, 主成分个数与残差平方和的关系如图 5 所示。

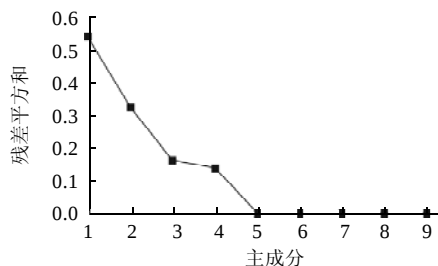


图5 主成分个数与回归残差平方和关系图

Fig.5 Relationship between number of principal components and residual sum of squares for US standard beef marbling image



如图 5 所示, 选取 5 个主成分时残差平方和最小 ($PRESS=3.37 \times 10^{-29}$), 对 5 个主成分与等级数进行线性回归, 得到回归方程:

$$Y_3 = 0.8567 - 0.1379M_1 - 0.1772M_2 + 0.0739M_3 - 0.2564M_4 + 3.5M_5 \quad (11)$$

式中: $M_1, M_2, \dots, M_5$ 为第 1 主成分到第 5 主成分。

5 结 论

本实验对中国、日本、美国的牛眼肌区域大理石花纹等级图片进行了数学形态学处理, 成功地提取了眼肌区域及大理石花纹, 并对其几何、形状及分布参数进行计算, 得到如下结论:

日本的牛肉大理石花纹形状更为复杂, 对于单个参数而言, 与其等级分级相关性最高的是花纹颗粒的周长密度(0.9941)、面积密度(0.981)、形状参数(0.9295)、大花纹的面积比(0.8454)及多边形的变异系数(0.8445), 总体来说评定过程中更注重花纹的面积大小及所占比率的多少。中国的大理石花纹颗粒间的形状比较相似, 由于等级少(4 级), 与单个参数的相关性都较高, 似圆度(0.9905)、粒径(0.9781)、面积密度(0.9621)、似圆度变异系数(0.9559)、Blaschke 系数(0.9421), 说明在中国大理石花纹等级中, 花纹的形状及大小有着比较重要的影响。在美国牛肉大理石花纹等级中, 花纹多边形形态及花纹的面积是首先要考虑的重要因素, 与其等级分级相关性较高的单个参数有: 花纹外接多边形的边数(0.9572)、周长密度(0.9034)及面积密度(0.8926)。

总结了 3 个国家对大理石花纹的评级重点, 我国的牛肉大理石花纹等级还存在着级别较少的问题, 而且由于肉牛品种及饲养条件的限制, 牛眼肌大理石花纹无论在面积还是个数方面还与日本及美国有一定的差距。近几年来我国对牛肉自动分级的细化已经产生了强烈的需求, 因此根据我国国情, 及时开展牛肉自动分级特别在质量分级方面的技术研究, 对确保我国肉食品安全、提高牛肉品质、促进我国牛肉行业的健康发展, 都具有十分重要的实际意义。

参考文献:

- [1] 汤晓艳, 徐幸莲, 钱永忠, 等. 中国牛肉大理石花纹等级图谱的改进研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 2101-2106.
- [2] CHEN Y R, MCDONALD T P, CROUSE J D. Determining percent intramuscular on rib-eye surface by image processing[C]// 1989 ASAE Annual International Meeting. St. Joseph, MI, USA: ASAE, 1989.
- [3] CHEN Y R. Application knowledge-based system to meat grading[C]// AI Systems in Government Conference, Proceedings of the Annual. Washington D C: IEEE Computer Society, 1989: 120-123.
- [4] SCHUTTE B R, BIJU N, KRANZLER G A, et al. Color video image analysis for augmenting beef carcass grading: animal Science Research Report[R]. Corvallis: Department of Animal Sciences, OSU. 1998: 32-36.
- [5] SHIRANIATA K, OTSUBO A, HAYASHI K, et al. Grading meat quality by image processing[J]. Pattern Recognition, 2000, 33(1): 97-104.
- [6] YOSHIKAWA F, TORAIKHI K, WADA K, et al. On a grading system for beef marbling[J]. Pattern Recognition Letters, 2000, 21(12): 1037-1050.
- [7] JEYAMKONDAN S, RAY N, KRANZLER G A, et al. Beef quality grading using machine vision[C]//Conference on Biological Quality and Precision Agriculture II, Boston, USA: IEEE, 2000: 91-101.
- [8] 陈坤杰. 基于分形理论及机器视觉的牛肉自动分级技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2005.
- [9] 陈坤杰. 牛肉大理石花纹计盒维和信息维的测定[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 145-149.
- [10] 高晓东, 吴建虎, 彭彦昆, 等. 基于高光谱成像技术的牛肉大理石花纹的评估[J]. 农产品加工, 2009(10): 33-37.
- [11] 贾君. 牛肉组织结构中大理石纹形态分布的模型建立及分析[J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 18-21.
- [12] 谢元澄, 徐焕良, 谢庄. 基于牛肉大理石花纹标准(BMS)图像的纹理特征分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(24): 5121-5128.
- [13] McDONALD T P, CHEN Y R. A geometric model of marbling in beef *longissimus dorsi*[J]. Trans of ASAE, 1992, 35(3): 1057-1062.
- [14] GERRARD D E, GAO X, TAN J L. Beef marbling and color score determination by image processing[J]. Journal of Food Science, 1996, 61(1): 145-148.
- [15] 吴继敏. 应用图像分析法评价花岗岩结构特征[J]. 河海大学学报, 1998, 26(4): 1-7.
- [16] 涂新斌, 王思敬. 图像分析的颗粒形状参数描述[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(5): 659-662.
- [17] 史永刚, 冯新泸, 李子存. 化学计量学[M]. 北京: 中国石化出版社, 2002.