

鸡爪跖跖骨的剥离特性及其影响因素

高东明, 徐闻远

(北京工商大学人工智能学院 北京 100048)

摘要 目前鸡爪在脱骨加工过程中存在骨肉剥离特性不明确,几何形貌不规整,机械化脱骨难的问题。本文首先建立具有统计学意义的鸡爪及其跖跖骨的数字模型以及参考坐标系。在此坐标系下,以剥离强度为衡量指标,通过各向剥离法对鸡爪的各向剥离强度及相应的剥离残留率进行测定,分析影响剥离强度的因素。结果表明,轴向剥离强度曲线整体趋势呈 U 型,最大剥离强度为 3.23 kN/m。周向剥离强度曲线大多呈锯齿状,最大剥离强度出现的位置在跖跖骨顶部,为 5.12 kN/m。在剥离过程中跖跖骨的骨外组织呈层性的特征,肉质内部存在脱层现象。在跖跖骨不同界面处的生物结构及组成对界面结合强度的影响不同,跖骨槽处界面结合强度最低,滑车凹口处骨外组织的呈层性特征并未影响界面的结合强度,且其正交方向上表现为各向同性,韧带脊和杯状凹处的界面结合存在着比较明显的各向异性。轴向剥离强度在峰值大小及数量上远小于周向剥离强度,剥离残留率结果也表明,轴向剥离残留率远小于周向的剥离残留率,这表明采用轴向剥离的方式在实际脱骨中是最优的选择。

关键词 鸡爪; 跖跖骨; 剥离强度; 剥离残留率

文章编号 1009-7848(2024)07-0278-08 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.07.028

鸡爪是鸡肉加工的副产品,不仅具有丰富的胶原蛋白,而且营养价值颇高^[1-2],深受消费者喜爱,市场销量可观且前景广阔^[3-4]。如今销售的鸡爪多数连带骨头,不仅影响鸡爪的口感和风味,也给消费者的食用带来不便,因此研究鸡爪脱骨对扩大这种特色美食的市场以及工业化加工具有重要意义^[5-7]。鸡爪中的跖跖骨段作为整个腿部耐冲击力的弹性和稳定性支持系统以及控制脚趾屈伸的主要部位,内部肌肉和韧带复杂且发达^[8-10]。基于这种生物结构,鸡爪在加工过程中的剥离强度和剥离机理并不明确。目前针对鸡爪的加工利用研究主要集中于鸡爪凝胶及胶原蛋白的利用^[11-15],以及手工脱骨后的食品质地、品质研究^[16-21]。鸡爪如何通过机械化脱骨仍是一个难题。此外,鸡爪的几何形貌不规整也是当前难以实现机械化批量加工的一个障碍。针对上述问题,本文首先建立具有统计学意义的鸡爪及其跖跖骨数字化模型,进而建立能够合理表征鸡爪各个方向剥离强度的坐标系,解耦各向黏结特性对剥离强度的交互影响,进

而在此坐标系下,以剥离强度为衡量指标,选取脱骨难度较大的跖跖骨段作为研究对象,通过各向剥离法,对鸡爪的各向剥离强度及相应的剥离残留率进行测定,建立鸡爪解耦空间下的正交剥离强度矩阵并对影响剥离强度的因素进行分析,为鸡爪的合理性加工以及鸡爪脱骨装备参数的设计提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

挑选无破损、无穿孔、大小基本一致的冷冻鸡爪,购于本地超市。

1.2 仪器与设备

TMS-Pro 质构仪,美国 FTC 公司;HWS-恒温恒湿培养箱,天津市泰斯特仪器有限公司;Tango-S 手持式激光三维扫描仪,瑞典海克斯康;自制剥离强度试验专用夹具。

1.3 方法

1.3.1 鸡爪的数字化建模与剥离试验流程 鸡爪的数字化建模与剥离试验如图 1 所示,将冷冻鸡爪放入恒温恒湿箱,在 5℃,相对湿度 40%~50% 条件下,静置 1 h,取出,将其置于分布若干定位点的 3 个正交坐标平面中,使用激光三维扫描仪扫描,得到鸡爪的点云数据,将点云数据进行降噪及

收稿日期: 2023-07-12

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目(2018YFD0400800)

第一作者: 高东明,男,博士,副教授

E-mail: gaodongming@btbu.edu.cn

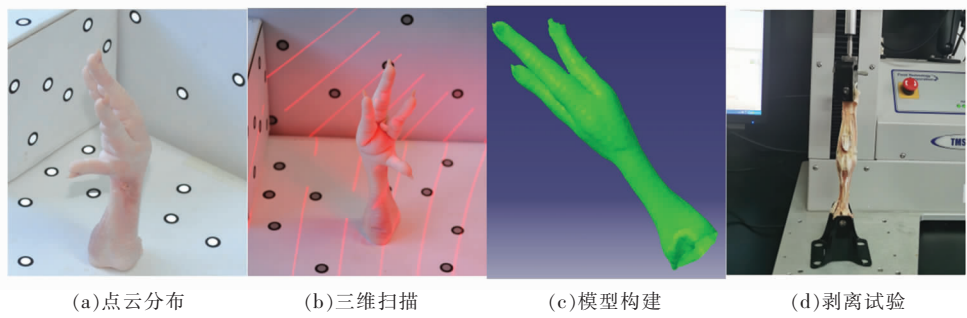


图1 鸡爪的数字化建模与剥离试验

Fig.1 Digital modeling and stripping test of chicken feet

差值修补后,得到鸡爪外表面的三维数字模型。采用同样的方法得到跖跖骨的三维数字模型。

在进行剥离试验时,首先去除鸡爪表皮角质层,去除趾骨,画出2条间距为25 mm的标记线,沿标记线切开,作为剥离试样,预剥离一定长度。为了保证剥离力和跖跖骨轴线方向一致,采用试样一端铰接另一端夹持的方式进行剥离试验。具体方法是在跖跖骨一端开直径为3 mm的小孔,试样一端穿孔固定,试样未胶接一端夹持在专用夹具中。保证夹持部位不滑移,以保证施加的拉力均匀的分布在试样的宽度上。剥离力采用质构仪测定,以100 mm/min的恒定速率分离,直至试样被完全剥离,质构仪采样频率为1 000 Hz。

1.3.2 三维坐标系的建立 由于鸡爪沿各个方向上的剥离强度存在各向异性,如果采用直角坐标系表征各向的剥离强度则会存在三维方向上相互耦合的问题,且会造成表征结果的物理意义不明确。由于剥离现象发生于跖跖骨表面且剥离强度与跖跖骨内部无关,为了更加高效、精准的描述鸡爪各个部分的剥离强度,本文建立柱面坐标系用于表征鸡爪的剥离强度。在该坐标系中剥离强度可解耦为 x 方向和 θ 角度上的剥离强度。如图2所示,首先建立一个与鸡爪横截面重合的固定参考平面,这个平面的法线将用单位向量 i_x 表示,法线方向即为鸡爪主骨朝向。在参考平面上的分量用2个极坐标的单位矢量 i_ρ 和 i_θ 表示。因此,三维空间的位置矢量可由 i_ρ 、 i_θ 和 i_x 的线性组合表示。在剥离试验中,鸡爪剥离主要发生在骨头表面,决定剥离强度大小的主要是筋膜对骨头的黏结特性,所以在测定剥离强度时忽略 ρ 的大小,即鸡爪跖跖骨的剥离强度可以用 i_θ 和 i_x 的线性组合表

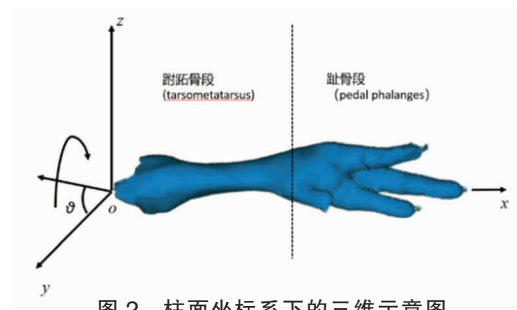


图2 柱面坐标系下的三维示意图

Fig.2 Three dimensional schematic diagram in cylindrical coordinate system

示。

1.3.3 剥离强度的测定 剥离强度是指在规定的试验条件下,2个相互黏接的被粘物沿着黏接线逐渐分离的单位宽度上所需的平均力^[22]。依据《胶粘剂180°剥离强度试验方法 挠性材料对刚性材料》(GB/T 2790-1995)的剥离试验流程对剥离试样进行试验,每个试样用于计算剥离力的剥离长度至少达到100 mm。首先,根据TMS-Pro质构仪记录的数据对试验数据进行处理,得到剥离载荷曲线,然后,通过等高线法得到平均剥离力,并记录剥离长度内的剥离力的最大值和最小值。依据公式(1)计算式样的剥离强度^[23]。

$$P_s = \frac{F}{B} \quad (1)$$

式中: P_s 为剥离强度,kN/m; F 为剥离力,N; B 为剥离试样宽度,mm。

1.3.4 剥离残留率的测定 剥离残留率(P_{tr})是指鸡爪按照特定方法脱骨后,骨头上附着的非骨物质所占鸡爪上所有非骨物质的质量百分比。具体做法是试验前对整个鸡爪称重得到总质量 M_0 ,将鸡爪按照特定的方法进行剥离试验,剥离后将

剥离得到的非骨物质称重得到 M_1 , 用手术刀将骨头上残留的非骨成分刮掉并称量骨头的质量 M_2 , 按式(2)计算剥离残留率(Prr,%)。试验数量至少5次, 取其平均值。

$$Prr = \frac{\sum M_1}{\sum (M_0 - M_2)} \quad (2)$$

2 结果与分析

2.1 沿 x 轴方向的轴向剥离强度

在图2所示的跖跗骨 $\theta=90^\circ$ 和 $\theta=270^\circ$ 的位置

沿 x 轴方向切开, 然后沿 x 轴方向对其进行剥离试验, 分别得到 θ 为 0° (后骨面) 和 180° (前骨面) 时的轴向剥离强度, 如图3所示。

当 θ 为 0° 时的轴向剥离强度如图3a所示。按照一定的生物组织结构相似性, 将鸡爪跖跗骨分为三部分, 分别是顶部、中部和尾部。剥离强度曲线整体趋势呈U型, 跖跗骨顶部和尾部的剥离强度较大, 越靠近中部剥离强度越小, 跖跗骨中部剥离强度远低于顶部和尾部的剥离强度且围绕一定数值上下波动。

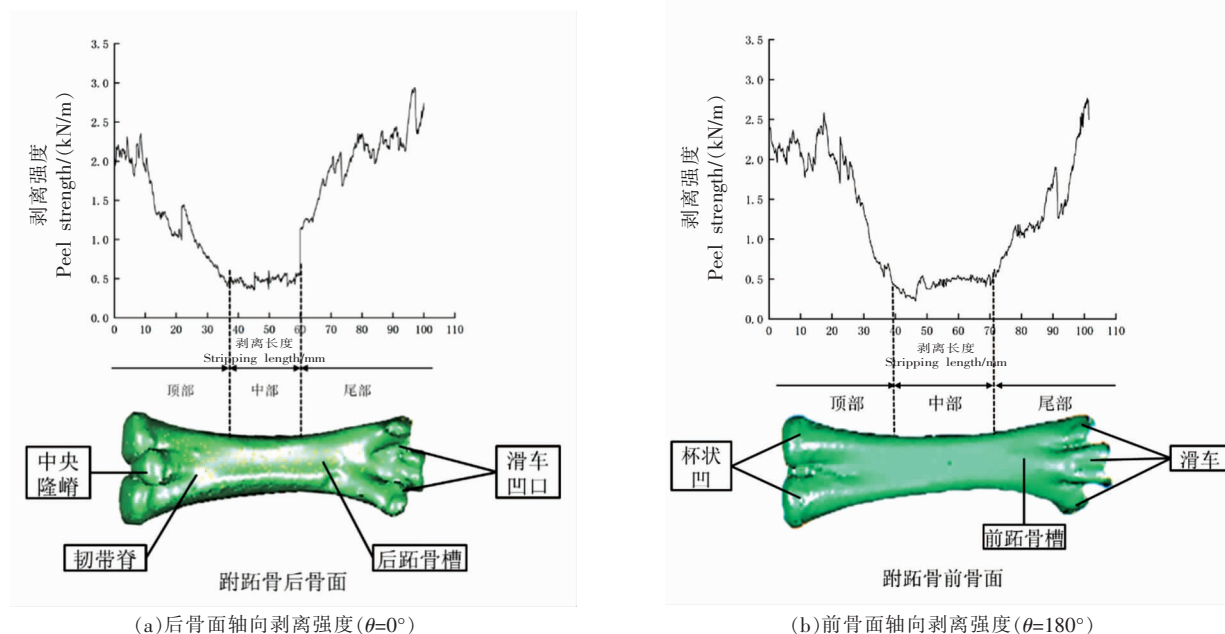


图3 跖跗骨轴向剥离强度

Fig.3 Axial peeling strength of tarsometatarsus

鸡爪跖跗骨顶部和尾部的剥离强度在2~3 kN/m, 远高于鸡爪跖跗骨中部的剥离强度。这是由于跖跗骨尾部和跖跗骨顶部分别与趾骨和腓骨相连, 分布有更多的软组织、关节软骨和肌肉纤维等, 所以其筋膜分布更加广泛, 筋膜黏结性也更强, 剥离时需要的剥离力更大, 剥离强度更高。此外, 跖跗骨顶部有内外杯状凹和中央隆嵴, 其体积较大且3个关节剥离时需要同时剥离, 所以剥离强度较大。跖跗骨中部有韧带脊和后跖骨槽, 韧带脊宽度较小且基本保持不变, 筋膜分布比较平均, 所以剥离强度基本保持在一定数值上下波动且幅度较小。尾部的3个滑车及滑车凹口处筋膜附着

较少而结构复杂, 所以剥离强度较大且呈现波浪形增长。

当 θ 为 180° 时, 前骨面轴向剥离强度示意图, 如图3b所示。与后骨面轴向剥离强度相比, 前骨面的剥离强度也呈U型分布。而前骨面轴向剥离强度在顶部波动剧烈, 这是因为此时跖跗骨顶部其它相同位置筋膜强度和数量基本一致, 然而内外杯状凹中间存在凹陷, 所以筋膜面积变小, 延展性增强, 此时剥离强度基本一致, 而剥离长度变长。跖跗骨尾部剥离强度增长、平滑, 基本无波动。这是因为此时跖跗骨尾部滑车呈圆弧形, 滑车凹口间隔较小, 筋膜连接处截面比较平滑, 因此剥离

强度不会出现围绕一定剥离强度上下波动的情况。

2.2 周向剥离强度

将鸡爪按照顶部、中部、尾部分成 3 段,然后跖跖骨绕 x 轴进行剥离试验,分别得到鸡爪的 3 段周向剥离强度。

2.2.1 跖跖骨顶部的周向剥离强度 跖跖骨顶部周向剥离强度变化如图 4 所示。剥离强度变化曲线有 4 个波峰,体现在 θ 为 $-30^\circ, 50^\circ, 150^\circ, 210^\circ$ 时,剥离强度较大,而 θ 为 $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$ 时,剥离强度较小。

当 θ 为 $[-90^\circ, 90^\circ]$ 时,剥离位置为跖跖骨顶部前侧。剥离强度曲线的 2 个峰值关于 $\theta=0^\circ$ 对称。这是因为跖跖骨顶部前侧在 $\theta=0^\circ$ 有 2 个体积比较大的内外杯状凹,其关于 x 轴对称,关节体积较大,筋膜的黏结强度越高,剥离强度越高。两杯状凹之间凹陷处筋膜分布较少且均匀,因此剥离强度较低且数值基本保持稳定。

当 θ 为 $[80^\circ, 110^\circ]$ 时,剥离位置为跖跖骨侧面。剥离曲线比较平缓,剥离强度保持在一定数值上下波动,此时剥离强度平均值为 1.2 kN/m 。这是因为跖跖骨顶部侧面的韧带脊宽度小,基本没有筋膜附着,因此剥离强度较小。

当 θ 为 $[110^\circ, 270^\circ]$ 时,剥离位置为跖跖骨后侧。剥离强度曲线与 θ 为 $[-90^\circ, 90^\circ]$ 时趋势基本一致,第 1 个极大值为 4.85 kN/m ,第 2 个极大值为

5.21 kN/m ,极小值为 2.14 kN/m 。两个极大值和极小值都更大。这是因为在跖跖骨顶部后侧内外杯状凹间隔距离较小,筋膜附着更多,黏结强度也更大,因此剥离强度也更高。跖跖骨后侧两杯状凹中间的中央隆嵴有少量筋膜附着,因此此时剥离强度更大。

2.2.2 跖跖骨中部的周向剥离强度 跖跖骨中部的周向剥离强度变化如图 5 所示。中部的周向剥离强度整体较小且剥离强度变化平缓。只有 θ 在 $[130^\circ, 270^\circ]$ 区间有 2 个较小的波峰。

当 θ 为 $[-90^\circ, 90^\circ]$ 时,剥离位置为跖跖骨中部后侧。剥离强度曲线保持在一定数值上下波动,此时剥离强度平均值为 0.74 kN/m 。这是因为在跖跖骨中部后侧有后跖骨槽,其筋膜分布较少且比较均匀,因此此时剥离强度也比较小且波动较小。

当 θ 为 $[90^\circ, 270^\circ]$ 时,剥离位置为跖跖骨中部前侧,剥离曲线有 2 个波峰,分别位于 $\theta=150^\circ$ 和 $\theta=240^\circ$,剥离强度分别为 1.33 kN/m 和 1.77 kN/m 。这是因为这 2 个位置有韧带脊,附着长条状筋膜,所以剥离强度较高,而在前跖骨槽,其筋膜分布和后跖骨槽相似,剥离强度较小。

2.2.3 跖跖骨尾部的周向剥离强度 跖跖骨尾部的周向剥离强度变化如图 6 所示。当 θ 为 $[90^\circ, 270^\circ]$ 时,周向剥离强度有 3 个波峰,分别位于 θ 为 $130^\circ, 180^\circ, 230^\circ$,说明跖跖骨顶部这 3 个角度剥离强度较大。

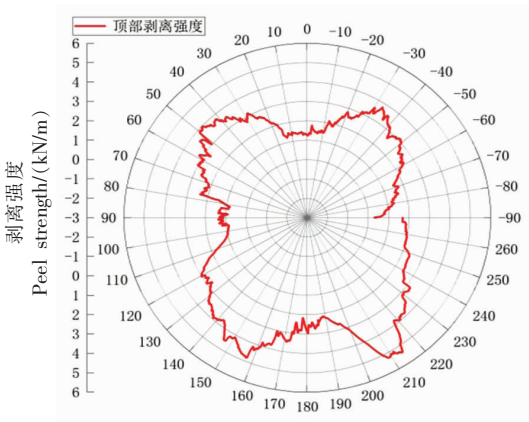


图 4 跖跖骨顶部的周向剥离强度
Fig.4 Circumferential peel strength of the top of the tarsometatarsus

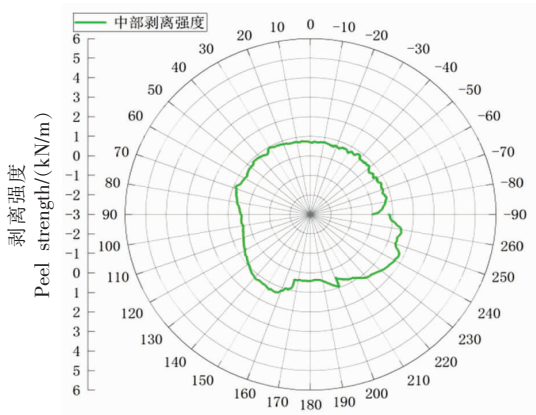


图 5 跖跖骨中部的周向剥离强度
Fig.5 Circumferential peel strength of the middle part of the tarsometatarsus

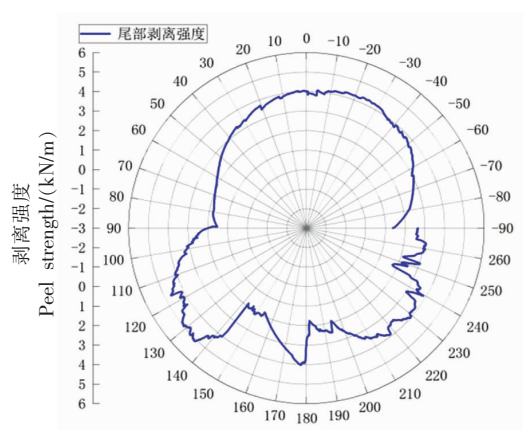


图6 跖跗骨尾部周向剥离强度

Fig.6 Circumferential peel strength of the tail of the tarsometatarsus

当 θ 为 $[-90^\circ, 90^\circ]$ 时,剥离位置为跖跗骨尾部后侧。剥离强度曲线先上升后下降,在 $\theta=-22^\circ$ 时,取得唯一的极大值,此时剥离强度为4.28 kN/m。当 θ 为 $[-50^\circ, -36^\circ]$ 时和 θ 为 $[-4.27^\circ, 12^\circ]$ 时有两段

剥离强度基本一致的曲线,此时剥离强度为3.83 kN/m。这是因为跖跗骨尾部有3个大小不一的跖骨滑车,滑车处有软骨关节,筋膜数量体积均增加,所以此时的剥离强度较大,取得极值。在后侧时,跖骨滑车向外突起,剥离面呈圆弧形,滑车凹口间隔较小,所以跖骨之间的剥离强度没有明显波动,剥离强度曲线没有明显的波峰。

当 θ 为 $[90^\circ, 270^\circ]$ 时,剥离位置为跖跗骨尾部前侧。剥离强度曲线相较于后侧波动较大,有3个波峰。波峰分别位于 θ 为 $120^\circ, 180^\circ, 230^\circ$ 。波峰处的剥离强度分别为5.10, 4.02, 3.97 kN/m,这是因为跖跗骨尾部前侧跖骨滑车筋膜分布较多,剥离强度较大。

2.3 剥离强度的正交对比

为了研究鸡爪脱骨时非骨组织和跖跗骨的黏结特性对各向的剥离强度的影响,进而选取合适的脱骨方向,将柱坐标系展开,得到鸡爪跖跗骨正交方向的剥离强度如图7所示。

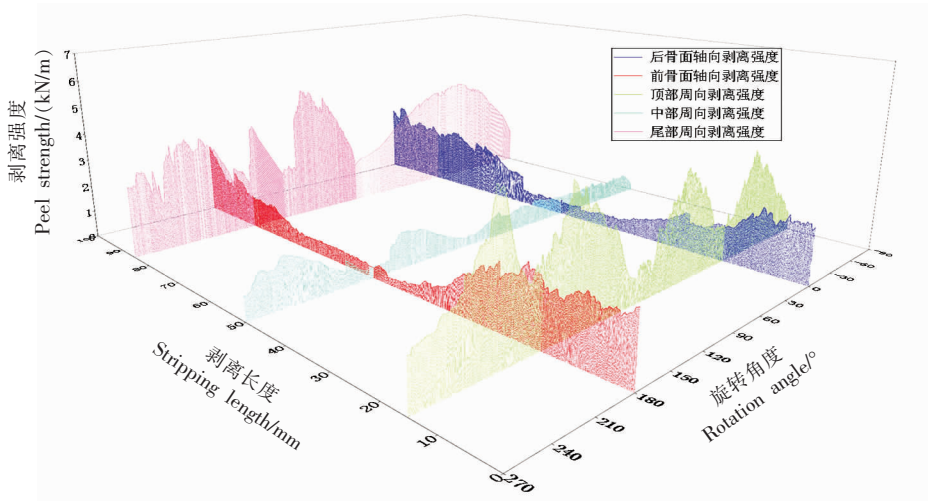


图7 正交方向的剥离强度

Fig.7 Peel strength in orthogonal direction

由于跖跗骨外组织的单向层片是由肌腱、血管通道等纤维状物和皮质基体共同构成,图7中剥离强度在各向均存在振荡,表明这种组合形式除了在单向层片之内存在不均匀以外,沿厚度方向也增加了一重不均匀性,体现了呈层性的特征,在剥离过程中肉质内部存在脱层现象。

在跖跗骨不同界面处的生物结构及组成对界面结合强度影响不同。对比关节凹、韧带脊两侧、

滑车凹口、跖骨槽处的剥离强度可以发现:由于跖骨槽处比较平坦,因此界面结合强度最低;滑车凹口处虽然结构复杂,但其正交方向上表现为各向同性,骨外组织呈层性的特征并未影响界面的结合强度;韧带脊和关节凹处正交方向上的剥离强度存在着较大的差异,这表明跖跗骨与骨外组织的界面结合存在着比较明显的各向异性。

图中前、后骨面的轴向剥离强度与3段周向

剥离强度在峰值数量上存在着较大的差异,峰值数量越多则表明实际剥离过程难度较大。图中剥离强度的周向峰值远多于轴向,则表明采用轴向剥离的方式在实际的脱骨中是最优的选择。

2.4 剥离残留率分析

依据公式(2)对每次试验的剥离残留率进行测定,对于每种剥离试验方法重复5次试验,取其平均值,得到剥离残留率的试验结果,如图8所示。

轴向剥离时,跖跖骨前骨面平均剥离残留率为3.167%,后骨面平均剥离残留率为3.268%。周向剥离时,跖跖骨顶部平均剥离残留率为4.697%,中部平均剥离残留率为2.349%,尾部平均剥离残留率为6.697%。周向平均剥离残留率大于轴向平均剥离残留率。

这是因为跖跖骨前、后侧存在一定的生物组织相似性,轴向剥离的剥离方向与筋膜生长方向基本一致,因此轴向剥离时的整体残留率较小,且前骨面剥离和后骨面剥离的残留率差异较小。在跖跖骨顶部存在杯状凹和中央隆嵴,关节凹陷比较深,中部有韧带脊和跖骨槽,前、后跖骨槽凹陷浅,其剥离强度较低。尾部有跖骨滑车和滑车凹口,关节凹陷和剥离强度均介于顶部和中部之间,所以周向剥离时整体残留率较大,且前骨面剥离和后骨面剥离的残留率差异较大。

3 结论

1) 建立了鸡爪及其跖跖骨的数字化模型,在此基础上建立柱面坐标系,并采用轴向及周向剥离强度对鸡爪内部的跖跖骨及骨外组织之间的结合强度进行表征,这种表征方法解耦了鸡爪脱骨过程中各向剥离强度之间的交互影响。对鸡爪轴向及周向的剥离强度的试验结果表明,轴向剥离强度曲线整体趋势呈U型,最大剥离强度为3.23 kN/m;周向剥离强度曲线大多呈锯齿状,最大剥离强度出现的位置在跖跖骨顶部为5.12 kN/m。

2) 跖跖骨外组织在剥离过程中体现了呈层性的特征,在剥离过程中,肉质内部存在脱层现象。在跖跖骨不同界面处的生物结构及组成对界面结合强度影响不同,跖骨槽处界面结合强度最低,滑车凹口处骨外组织的呈层性并未影响界面的结合强度,且其正交方向上表现为各向同性,切

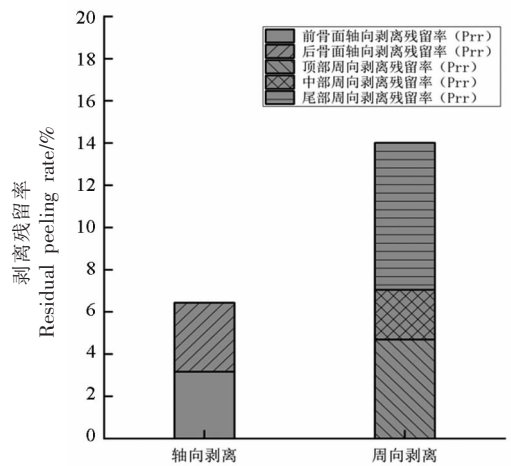


图8 不同剥离方式下的剥离残留率

Fig.8 Residual peeling rate under different peeling methods

带脊和杯状凹处的界面结合存在着比较明显的各向异性。

3) 周向剥离强度在峰值大小及数量上远大于轴向剥离强度,剥离强度越大且峰值数量越多则表明实际剥离过程难度较大。此外,剥离残留率结果也表明,轴向剥离残留率远小于周向的剥离残留率。这些结论表明采用向轴向剥离的方式在实际的脱骨中是最优的选择。

参 考 文 献

- [1] DHAKAL D, KOOMSAP P, LAMICHHANE A. Optimization of collagen extraction from chicken feet by papain hydrolysis and synthesis of chicken feet collagen based biopolymeric fibres[J]. Food Bioscience, 2018, 23: 23-30.
- [2] ÍRIS A B S, LIMA D A S, PEREIRA S F, et al. Effect of storage time on the quality of chicken sausages produced with fat replacement by collagen gel extracted from chicken feet[J]. Poultry Science, 2021, 100(2): 1262-1272.
- [3] 李思宁, 卢晓黎. 去骨凤爪凝胶特性影响因素的研究[J]. 食品与发酵科技, 2013, 49(6): 11-18.
LI X N, LU X L. Study on influencing factors for gel characteristics of boneless chicken feet[J]. Sichuan Food and Fermentation, 2013, 49(6): 11-18
- [4] 黄海江, 应丽竹. 互联网背景下休闲食品零售业转型发展研究[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(9):

- 225–226.
- HUANG H J, YING L Z. Research on the transformation and development of leisure food retail industry under the Internet background[J]. Food Research and Development, 2021, 42(9): 225–226.
- [5] 赵东平. 脱骨鸡爪开袋即食软包装制品加工工艺的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012.
- ZHAO D P. Study on the processing technology of instant soft packaging products for deboned chicken feet[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2012.
- [6] 毕金峰, 易建勇, 陈芹芹, 等. 国内外休闲食品产业与科技现状及发展趋势[J]. 中国食品学报, 2020, 20(12): 320–328.
- BI J F, YI J Y, CHEN Q Q, et al. Current status and development trend of international leisure food industry and technology[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(12): 320–328.
- [7] 王灵. 休闲食品市场的发展趋势研究——评《食品市场分析》[J]. 食品工业, 2020, 41(4): 369.
- WANG L. Research on the development trend of the leisure food market -- Review of food market analysis[J]. The Food Industry, 2020, 41(4): 369.
- [8] 江田真毅, 刘羽阳. 试论家鸡骨骼的形态特征[J]. 南方文物, 2016(2): 104–107.
- JIANG T Z Y, LIU Y Y. On the morphological characteristics of chicken bones[J]. Cultural Relics in Southern China, 2016(2): 104–107.
- [9] 张玉光, 田晓阳. 鸟类跗跖骨形态结构多样性及其功能分析[J]. 四川动物, 2006(4): 703–709.
- ZHANG Y G, TIAN X Y. Analyses of diversity of avian tarsometatarsus shape and its function [J]. Sichuan Journal of Zoology, 2006(4): 703–709.
- [10] 张玉光. 猛禽类跗跖骨形态特征与功能的分析[J]. 动物学杂志, 2004(6): 27–32.
- ZHANG Y G. Morphological characteristics and function of raptorial tarsometatarsus[J]. Chinese Journal of Zoology, 2004(6): 27–32.
- [11] YASIN H, BABJI A S, NORRAKIAH A S. Modification of chicken feet gelatin with aqueous sweet basil and lemongrass extract [J]. LWT, 2017, 77: 72–79.
- [12] MAS –CAPDEVILA A, IGLESIAS –CARRES L, AROLA –ARNAL A. Long –term administration of protein hydrolysate from chicken feet induces antihypertensive effect and confers vasoprotective pattern in diet-induced hypertensive rats[J]. Journal of Functional Foods, 2019, 55: 28–35.
- [13] CHOE J, KIM H Y. Effects of chicken feet gelatin extracted at different temperatures and wheat fiber with different particle sizes on the physicochemical properties of gels[J]. Poultry Science, 2018, 97(3): 1082–1088.
- [14] 聂新艳, 曹栋, 耿亚男, 等. 鸡爪脱皮蛋白质提取工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2013, 34(6): 280–283, 288.
- NIE X Y, CAO D, GENG Y N, et al. Research on the extraction process of chicken claw peeling protein[J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(6): 280–283, 288.
- [15] 周婷, 卢方云, 黄瑾, 等. 响应面法优化超声辅助酶法制备无骨鸡爪胶原蛋白肽[J]. 食品工业科技, 2021, 42(19): 182–189.
- ZHOU T, LU F Y, HUANG J, et al. Optimization of ultrasound-assisted enzymatic preparation of boneless chicken feet collagen peptide by response surface methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 182–189.
- [16] 豆成林, 王清, 吴振业, 等. 无骨泡椒鸡爪的研制[J]. 现代食品科技, 2013, 29(5): 1072–1075, 1169.
- DOU C L, WANG Q, WU Z Y, et al. Development of boneless chicken feet with pickled pepper [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(5): 1072–1075, 1169.
- [17] 冯婷婷, 叶阳, 李蓉, 等. 超声波辅助腌制对卤鸡爪出品率和保藏期品质的影响[J]. 中国调味品, 2018, 43(9): 49–54.
- FENG T T, YE Y, LI R, et al. Effects of ultrasonic assisted curing on the yield and quality of marinated chicken feet[J]. China Condiment, 2018, 43(9): 49–54.
- [18] 王晓霞, 徐宁, 秦晓杰, 等. 不同贮藏温度泡椒凤爪品质变化及货架期预测[J]. 食品科学, 2013, 34(22): 315–321.
- WANG X X, XU N, QIN X J, et al. Quality change and shelf life prediction of chicken feet with pickled peppers stored at different temperatures [J]. Food Science, 2013, 34(22): 315–321.
- [19] 张隐, 赵靓, 王永涛, 等. 超高压处理对泡椒凤爪微生物与品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(3): 46–50.
- ZHANG Y, ZHAO L, WANG Y T, et al. Effects

- of high pressure processing on microorganisms and quality of chicken feet with pickled peppers[J]. Food Science, 2015, 36(3): 46–50.
- [20] 高伟伟, 霍香如, 李桂霞, 等. 加热和冻藏对鸡爪胶原纤维超微结构的影响[J]. 肉类研究, 2015, 29(8): 13–16.
- GAO W W, HUO X R, LI G X, et al. Effects of heating and frozen storage on ultrastructure of collagen fibers from chicken claw[J]. Meat Research, 2015, 29(8): 13–16.
- [21] 王林, 卢雪松, 侯智勇. 正交试验优化休闲即食糟卤鸡爪工艺研究[J]. 中国调味品, 2016, 41(2): 100–102.
- WANG L, LU X S, HOU Z Y. Research on technology of leisure and instant bad halogen chicken claw optimized by orthogonal experiment[J]. China Condiment, 2016, 41(2): 100–102.
- [22] 中华人民共和国化学工业部. 胶粘剂 180°剥离强度试验方法挠性材料对刚性材料: GB/T 2790–1995[S]. 北京: 中国标准出版社, 1996: 1–3.
- Ministry of Chemical Industry of the People's Republic of China. Adhesives 180° peel strength test method flexible material to rigid material: GB/T 2790–1995[S]. Beijing: China Standards Press, 1996: 1–3.
- [23] 杨卓培, 邱明, 李迎春, 等. 剥离速度对自润滑关节轴承衬垫剥离强度的影响[J]. 轴承, 2015(9): 38–40.
- YANG Z P, QIU M, LI Y C, et al. Effect of peeling speeds on peeling strengths of liners for self-lubricating spherical plain bearings[J]. Bearing, 2015(9): 38–40.

The Peeling Characteristics and Affected Factors of Chicken Feet Tarsometatarsus

Gao Dongming, Xu Wenyan

(School of Artificial Intelligence, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract It was difficult to remove bones from chicken feet by mechanization. The reason for this result was that the peeling characteristics were not clear and the geometric shape was irregular during the processing. Firstly, the digital model and reference coordinate system of chicken feet and tarsometatarsal bones with statistical significance were established in the paper. Under this coordinate system, the peel strength of chicken feet in all directions and the corresponding peel residue rate were determined, and the factors affecting the peel strength were analyzed, with the peel strength as the measurement index. The results show that the overall trend of axial peel strength curve is U-shaped, and the maximum peel strength is 3.23 kN/m. The circumferential peel strength curve is mostly zigzag at the top of tarsometatarsal bone, and the maximum peel strength is 5.12 kN/m. The extraosseous tissue shows the characteristics of layering, and there is delamination phenomenon during the peeling. The biological structure and composition at different interfaces of tarsometatarsal bone have different effects on the interface peeling strength. The peeling strength at the metatarsal groove is the lowest. The layered characteristics of the extraosseous tissue at the trochlear notch do not affect the peeling strength, and it is isotropic in the orthogonal direction. There is obvious anisotropy in the peeling strength at the ligament ridge and cup shaped concave. Axial peeling strength and peeling residual rate are better than circumferential peeling, which indicates that axial peeling is the best choice in actual chicken feet peeling.

Keywords chicken feet; tarsometatarsal bone; peel strength; peel residual rate