

# 基于食品测色仪的肉色变化规律研究

黄彩霞<sup>1</sup>, 冯岗<sup>1,2</sup>, 卢凌<sup>1\*</sup>, 张松山<sup>1</sup>, 孙宝忠<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100193;

2. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 兰州 730070)

**摘要:** **目的** 为实现仪器测定肉色的规范化、标准化提供参考依据。**方法** 采用食品测色仪研究了牛肉、羊肉、猪肉和鸡肉肉色 L\*、a\*、b\*、C\*、h、L、a、b 值随氧合时间及肉块厚度的变化规律。**结果** 时间方面, 鲜切牛肉在 24~28 min, 鲜切羊肉、猪肉在 8~12 min 内各肉色指标均未发生显著变化( $P>0.05$ ), 鸡肉在 0~40 min 的测定过程中肉色比较稳定; 厚度方面, 牛肉、羊肉厚度由 1.5 cm 增至 2.0 cm 过程中肉色变化不显著, 而猪肉厚度增至 2.5 cm 之前肉色持续变化。**结论** 食品测色仪测定肉色的适宜条件为: 鲜切牛肉氧合 24 min, 厚度不小于 2 cm; 鲜切羊肉氧合 10 min, 厚度不小于 2 cm; 鲜切猪肉氧合 10 min, 厚度不小于 2.5 cm; 鸡肉不需氧合可直接测定。

**关键词:** 肉色; 仪器测量; 氧合时间; 厚度

## Characteristics of meat color using food color measuring instrument

HUANG Cai-Xia<sup>1</sup>, FENG Gang<sup>1,2</sup>, LU Ling<sup>1\*</sup>, ZHANG Song-Shan<sup>1</sup>, SUN Bao-Zhong<sup>1</sup>

(1. Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100193, China;

2. College of Food Science and Engineering, Gansu Agriculture University, Lanzhou 730070, China)

**ABSTRACT: Objective** To provide references for the standardization of instrumental color measuring of meat. **Methods** The L\* a\* b\* C\* h L a b values were detected by food color measuring instrument as the changes of blooming time and thickness. **Results** Significant changes did not occur for freshly-cut beef during 24 min to 28 min, as well as mutton and pork during 8 min to 12 min, and chicken during 0 min to 40 min. Meat color changed little when the thickness increased from 1.5 cm to 2.0 cm for beef and mutton. And pork color changed until the thickness reached to 2.5 cm. **Conclusion** The applicable requirements for instrumental color measures on freshly-cut meat were 24 min for beef, 10 min for mutton and pork, and 0 min for chicken, with samples at least 2.0 cm thick for beef and mutton, and 2.5 cm for pork.

**KEY WORDS:** meat color; instrumental color measurements; bloom time; thickness

## 1 引言

人们对肉及肉制品大都从色、香、味、嫩等几个方面来评价, 其中颜色给人的第一印象最明显, 肌肉颜色是消费者选择接受或者拒绝产品的基本评估标准之一。肉的颜色主要取决于肌肉中的色素物质——

肌红蛋白和血红蛋白, 在放血充分的情况下, 前者约占肉中色素的 80%~90%<sup>[1]</sup>。肌红蛋白本身为紫红色, 与氧结合可生成氧合肌红蛋白, 为鲜红色, 是新鲜肉的象征; 肌红蛋白和氧合肌红蛋白均可以被氧化生成高铁肌红蛋白, 呈褐色, 使肉色变暗。鲜肉贮藏期间三种形态的肌红蛋白(脱氧肌红蛋白、氧合肌红蛋

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003008)

\*通讯作者: 卢凌, 副研究员, 主要研究方向: 畜产品质量安全与检测。E-mail:fxzxlinda@126.com

白、高铁肌红蛋白)的相互转化导致肉色的变化<sup>[2,3]</sup>。

测定肉色的方法主要有比色板法、化学测定法、色差仪测定法等。传统的比色板评定方法直观、易操作,但易受外界光源和人为主观因素影响,导致结果存在较大偏差。化学测定法即提取色素并测定其含量,耗费时间及化学试剂<sup>[4]</sup>。目前,国内外多采用色差仪直接测定肉样颜色,这种仪器将原始的三刺激值(X, Y, Z),通过一系列数学关系转换,表示成易于理解的颜色数值,如L\*、a\*、b\*等,从而获得肉色的客观量化指标<sup>[5]</sup>。色差仪测定肉色具有明显优势:快速准确的色差数值有助于对原料肉进行肉色评定及等级划分<sup>[6,7]</sup>;监测原料肉的新鲜程度<sup>[8]</sup>;及时了解工艺过程对样品的影响等。

肉色客观准确的仪器测量一方面为视觉特征描述提供支持,作为产品被接受或者拒绝的基本参考,另一方面为进行数据比较分析提供客观公正的依据。但是目前我国尚缺乏仪器测量肉色的相关标准及操作规程,本研究探究鲜切肉颜色随氧合时间及样品厚度的变化规律,得出食品测色仪测定肉色的最佳氧合时间及样品厚度,为实现肉色仪器测定的标准化、规范化提供参考。

## 2 材料及方法

### 2.1 材料与仪器

牛肉取小黄瓜条、米龙两个部位,每个部位10个肉样;羊肉取外脊、后腿肉两个部位,每个部位10个肉样;猪肉取背最长肌、后腿肉两个部位,每个部位10个肉样;鸡肉取胸肉20个肉样。样品等量取自超市和农贸市场,鲜肉样品装入保温箱中于2 h内带

回实验室测定。

MiniScan EZ(美国 Hunter Lab 公司), 45/0 结构, D65 光源, 测量孔径 31.8 mm, 10° 标准观测角。

### 2.2 实验方法

肉色随时间变化实验:以肉新切开计为 0 min,每隔 4 min 测量肉色,测量过程中避开淤血、筋膜、大块脂肪等颜色不均匀的位置,并尽量保持测量位置的一致性。

肉色随厚度变化实验:肉样切成 0.5 cm 厚的薄片,从 6 层肉片(厚度为 3 cm)开始测量肉色,依次减少 1 层肉片(厚度减少 0.5 cm),观察肉色随厚度的变化规律。

## 3 结果

### 3.1 氧合时间对肉色影响

#### 3.1.1 牛肉

观察表 1 发现, L\*和 L 值在 40 min 的测定过程中变化不显著。a\*、C\*、a 值在 0~24 min 内持续变化,在 24~28 min 短暂稳定后,28~36 min 变化显著。b\*和 b 值在 20~32 min 有一段较长的稳定后在 36 min 变化显著。h 值只在 4 min 时发生了极显著的变化,然后趋于稳定。牛肉的所有肉色指标在 24~28 min 和 36~40 min 期间变化不显著,肉色比较稳定。

#### 3.1.2 羊肉

表 2 显示,羊肉鲜切面在 4 min 时 L\*、a\*、b\*、C\*、L、a、b 均发生了极显著的变化,4~8 min 期间只有 h 值变化显著,而在 16 min 时 L\*、a\*、C\*、h、L、a 均变化显著,16~36 min 期间,a\*和 a 在 28 min、h 值在 28 min、32 min 有所变化,其他指标趋于稳定。

表 1 牛肉肉色指标随时间变化显著性水平 P 值表

Table 1 P-value of beef color changes with time

时间/min	L*	a*	b*	C*	h	L	a	b
4	0.3280	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0005	0.3355	<0.0001	<0.0001
4~8	0.6539	0.0026	0.0047	0.0032	0.1385	0.6432	0.0018	0.0030
8~12	0.2646	0.0219	0.0499	0.0192	0.2181	0.2644	0.0102	0.0180
12~16	0.3533	0.0026	0.1143	0.0091	0.0762	0.3457	0.0032	0.2094
16~20	0.3892	0.0004	0.0073	0.0007	0.1292	0.3800	0.0002	0.0138
20~24	0.9015	0.0573	0.0646	0.0362	0.4346	0.8504	0.0350	0.0572
24~28	0.3524	0.5108	0.1745	0.2892	0.3010	0.3539	0.4047	0.1096
28~32	0.9643	0.0361	0.1216	0.0477	0.1626	0.9848	0.0240	0.0685
32~36	0.3856	0.0026	0.0227	0.0050	0.2726	0.4079	0.0021	0.0209
36~40	0.8623	0.3963	0.5275	0.4478	0.1879	0.8391	0.5808	0.4901

注: L\*、a\*、b\*、C\*、h 为 CIE 色空间指标, L、a、b 为 Hunter 色空间指标。

表 2 羊肉肉色指标随时间变化显著性水平 *P* 值表  
Table 2 *P*-value of mutton color changes with time

时间/min	L*	a*	b*	C*	h	L	a	b
0~4	0.0014	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.6250	0.0018	<0.0001	<0.0001
4~8	0.2859	0.9301	0.1989	0.5054	0.0278	0.2574	0.7827	0.1345
8~12	0.3039	0.1057	0.2254	0.1310	0.7953	0.3191	0.1020	0.2803
12~16	0.0169	0.0195	0.2775	0.0448	0.0258	0.0163	0.0240	0.6021
16~20	0.7870	0.6440	0.1270	0.3952	0.2480	0.7850	0.6257	0.1263
20~24	0.5653	0.5626	0.4505	0.9687	0.0847	0.5551	0.4809	0.4705
24~28	0.5366	0.0484	0.5148	0.1315	0.0179	0.5262	0.0249	0.6264
28~32	0.6365	0.8512	0.0912	0.4709	0.0151	0.6507	0.9355	0.0684
32~36	0.9267	0.6024	0.3380	0.4183	0.3767	0.9028	0.5833	0.3289

### 3.1.3 猪肉

分析表 3, 猪肉的 L\* 值和 L 值在测定过程中变化不显著, 比较稳定。4 min 时, a\*、C\*、h、a 值发生了极显著变化, b\* 值发生了显著变化, 而 8 min 时只有 a 值变化显著, 16 min 时 h 和 a 变化显著, 24 min 时 a\* 和 a 变化显著, 说明在 0~4 min 期间猪肉氧合变化比较迅速。28~36 min 期间, b\*、C\*、b 变化显著, 36~40 min 期间各指标没有发生显著变化。

### 3.1.4 鸡肉

由表 4 可得, 鸡肉在 0~8 min 期间各指标没有发生显著变化, 肉色比较稳定。12 min 时, h 值和 a 值变化显著, 24 min 时 a 值变化显著, 32 min 时 b\*、C\*、h、a 值变化显著。32~36 min 期间肉色变化不显著。

## 3.2 厚度变化对肉色影响

### 3.2.1 牛肉

表 5 显示, 牛肉厚度由 0.5 cm 增加至 1.0 cm 时, L\*、a\*、C\*、h、L、a 变化极显著, b\* 变化显著, 由 1.0 cm 增加至 1.5 cm 时, L\*、a\*、b\*、C\*、L、a、b 变化极显著, 而厚度由 1.5 cm 增加至 2.0 cm 时, 只有 L 变化显著。牛肉厚度由 2.0 cm 增加至 2.5 cm, 以及由 2.5 cm 增至 3.0 cm 的过程中, a\*、b\*、C\*、a、b 变化显著。

### 3.2.2 羊肉

表 6 中羊肉厚度由 0.5 cm 增加至 1.0 cm 时, 各肉色指标均发生了显著的变化, 而由 1.0 cm 增加至 1.5 cm 时, 只有 L\*、L 值变化显著, 厚度为 1.5 cm 和 2.0 cm 的羊肉肉色变化不显著。而厚度由 2.0 cm 增加至 2.5 cm 时 a\*、a、C\* 变化显著, 由 2.5 cm 增加至 3.0 cm 的过程中 a\*、a、h 变化极显著。

### 3.2.3 猪肉

观察表 7 发现, 猪肉厚度由 0.5 cm 增至 1.0 cm,

所有指标均发生了极显著的变化, 1.0 cm 到 1.5 cm 的变化过程中 L\*、a\*、h、L、a、b 变化极显著, 由 1.5 cm 变为 2.0 cm 时 L\*、b\*、C\*、h、L、b 变化显著, 2.0 cm 变为 2.5 cm 时, L\*、L 变化显著, 而 2.5 cm 与 3.0 cm 厚度的猪肉肉色指标没有显著性变化。

## 4 讨论

### 4.1 孔径

研究发现, 仪器测量孔径在一定程度上影响肉色的测定。Tapp 等<sup>[9]</sup>搜集 1998 年至 2007 年已经发表过的关于肉色测定的期刊文章共 1068 篇, 只有 26.3% 的文献标注测量孔径, 这其中标注的超过 10 种的测量孔径中以 8 mm 和 25 mm 最为常见。Yancey 等<sup>[10]</sup>证明在 A、C、D<sub>65</sub> 光源下, L\*、a\*、b\* 以及饱和度随着孔径尺寸的减小而减小。但是 Hulsegge 等<sup>[11]</sup>推测, 如果采用比被测物表面大的光圈口径来测量, 可能会产生“边际缺失”效应。因此, 本研究在保证测量肉样足够大的情况下, 参照美国肉类科学协会<sup>[12]</sup>建议, 即当表面颜色测量以均值最为重要时选择最大孔径尺寸, 选择 31.8 mm 的仪器测量孔径以保证真实客观反映样品肉色品质。

### 4.2 氧合时间

肉的氧合过程中氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白的形成和转化对肉的色泽最为重要, 因为前者为消费者喜欢的鲜红色, 代表肉新鲜; 而后者为褐色, 表示肉放置时间较长。周光宏认为肉的颜色一般将经过两个转变: 第一个是由紫红色转变为鲜红色, 在肉置于空气 30 min 内就发生; 第二个是由鲜红色转变为褐色, 可能经历几个小时甚至几天<sup>[1]</sup>。

表3 猪肉肉色指标随时间变化显著性水平 *P* 值表Table 3 *P*-value of pork color changes with time

时间/min	L*	a*	b*	C*	h	L	a	b
0~4	0.9197	<0.0001	0.0335	0.0011	<0.0001	0.9408	<0.0001	0.0629
4~8	0.1813	0.0646	0.1122	0.0531	0.5079	0.1813	0.0320	0.0902
8~12	0.9267	0.6683	0.3087	0.3810	0.5275	0.9251	0.6150	0.3834
12~16	0.5501	0.0685	0.4524	0.6915	0.0358	0.5330	0.0442	0.4169
16~20	0.7834	0.5916	0.1143	0.1664	0.4634	0.7810	0.6191	0.1976
20~24	0.4489	0.0342	0.2138	0.1143	0.0745	0.4689	0.0468	0.2935
24~28	0.8905	0.8789	0.3820	0.3892	0.5639	0.9172	0.8009	0.4554
28~32	0.8058	0.0916	0.0151	0.0273	0.3929	0.8376	0.0552	0.0093
32~36	0.8869	0.3485	0.0250	0.0126	0.6721	0.8430	0.2857	0.0377
36~40	0.8635	0.2949	0.9736	0.7597	0.0949	0.8922	0.3016	0.9064

表4 鸡肉肉色指标随时间变化显著性水平 *P* 值表Table 4 *P*-value of chicken color changes with time

时间/min	L*	a*	b*	C*	h	L	a	b
0~4	0.1312	0.0626	0.2145	0.1640	0.2561	0.1275	0.0685	0.2907
4~8	0.5487	0.1544	0.2406	0.1930	0.5253	0.5475	0.1836	0.1508
8~12	0.8734	0.0695	0.3059	0.5315	0.0082	0.8499	0.0438	0.1977
12~16	0.1502	0.0834	0.1408	0.1232	0.1734	0.1398	0.0840	0.1239
16~20	0.4072	0.8492	0.2640	0.2854	0.3613	0.3915	0.8801	0.3122
20~24	0.9687	0.0557	0.1343	0.1044	0.9450	0.9595	0.0417	0.0968
24~28	0.8409	0.2447	0.8209	0.9261	0.1304	0.8542	0.1733	0.8509
28~32	0.0795	0.8913	0.0239	0.0323	0.0197	0.0797	0.7874	0.0054
32~36	0.9889	0.9073	0.9545	0.9460	0.9705	0.9862	0.9828	0.8993

表5 牛肉肉色指标随厚度变化显著性水平 *P* 值表Table 5 *P*-value of beef color changes with thickness

厚度/cm	L*	a*	b*	C*	h	L	a	b
0.5~1.0	0.0002	0.0002	0.0124	0.0012	0.0023	0.0002	0.0006	0.1737
1.0~1.5	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	0.2765	<0.0001	0.0021	0.0032
1.5~2.0	0.0597	0.3842	0.3754	0.3799	0.4944	0.0450	0.4604	0.5711
2.0~2.5	0.6195	0.0019	0.0009	0.0005	0.7913	0.6402	0.0014	0.0014
2.5~3.0	0.6879	0.0015	0.0331	0.0029	0.1244	0.7073	0.0006	0.0242

表6 羊肉肉色指标随厚度变化显著性水平 *P* 值表Table 6 *P*-value of mutton color changes with thickness

厚度/cm	L*	a*	b*	C*	h	L	a	b
0.5~1.0	0.0003	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0296	0.0002	<0.0001	<0.0001
1.0~1.5	0.0147	0.3390	0.2504	0.2724	0.6826	0.0136	0.6330	0.7160
1.5~2.0	0.1840	0.8244	0.3764	0.5579	0.2781	0.1801	0.5372	0.1446
2.0~2.5	0.9790	0.0024	0.0919	0.0120	0.1687	0.9838	0.0021	0.0988
2.5~3.0	0.2293	0.0061	0.3274	0.3679	0.0049	0.2419	0.0021	0.4052

Tapp 等<sup>[9]</sup>发现 63.2%的文章标注了鲜切肉颜色测定的氧合时间, 其中 20.5%将氧合时间定为 30 min, 18.9%将氧合时间定为 60 min。Honikel<sup>[13]</sup>建议氧合时

间至少 1 h, 最好是 2 h。Lee 等<sup>[14]</sup>观察认为, 牛肉的背最长肌和臀中肌暴露空气中, 第一个小时内有超过 90%的 L\*、a\*、b\*、C\*、h 以及氧合肌红蛋白发

表 7 猪肉肉色指标随厚度变化显著性水平  $P$  值表  
Table 7  $P$ -value of pork color changes with thickness

厚度/cm	L*	a*	b*	C*	h	L	a	b
0.5~1.0	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0007
1.0~1.5	<0.0001	0.0001	0.0715	0.6919	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0048
1.5~2.0	0.0022	0.1932	0.0021	0.0101	0.0011	0.0017	0.2985	0.0006
2.0~2.5	0.0404	0.3044	0.6141	0.4808	0.2991	0.0329	0.1472	0.6639
2.5~3.0	0.3368	0.4674	0.3032	0.2729	0.8115	0.6371	0.1413	0.1338

生了变化。Wulf 等<sup>[15]</sup>研究表明, 牛背最长肌的  $L^*$  在大约 30 min 氧合后稳定,  $a^*$ 、 $b^*$  要达到 78 min 才稳定。Rentfrow 等<sup>[16]</sup>指出, 仪器测定牛背最长肌肉色在 12 min 达到稳定。与 Wulf 和 Rentfrow 结论不相符合的是, 本研究中牛肉  $L^*$  值在 40 min 以内没有发生显著变化, 在 12 min 时,  $a^*$ 、 $C^*$ 、 $a$  仍然变化显著, 肉色尚未稳定。而在 24~28 min 期间肉色指标没有发生显著变化, 因此认为将牛肉的氧合时间定为 24 min 比较合理。

Millar 等<sup>[17]</sup>发现, 猪背最长肌暴露在 23 空气中 60 min, 只有很少的氧合肌红蛋白形成, 但氧合过程可以观察到。Lindahl 等<sup>[18]</sup>研究发现,  $a^*$ 、 $b^*$  值的变化以及氧合肌红蛋白的形成在暴露空气中开始的 30 min 内发生最快, 并且持续 24 h。这与 Zhu 等<sup>[19]</sup>的研究一致, 即认为氧合在 30 min 以内不会完成。Brewer 等<sup>[20]</sup>研究发现, 与视觉颜色关系最大的是  $L^*$  值, 且  $L^*$  值不受氧合时间的影响, 并认为不同部位猪肉氧合速率相同。这与实验中猪肉的  $L^*$  值在测量过程中没有发生显著变化的结果是一致的。但是本研究中猪肉的  $a^*$  在 4 min 和 24 min 时均发生了显著变化,  $b^*$  和  $C^*$  在 4 min、32 min、36 min 时也都变化显著, 这与 Brewer 等<sup>[20]</sup>研究的  $h$  值 5 min 后稳定、 $a^*$  和  $b^*$  值 10 min 稳定、 $c$  值 20 min 稳定的结果并不一致。本研究中 8~12 min 期间  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $C^*$ 、 $h$ 、 $L$ 、 $a$ 、 $b$  变化不显著, 肉色比较稳定, 因此认为 Rees 等<sup>[21]</sup>采用的氧合 10 min 测定猪肉背最长肌肉色的方法比较合理。

表 2 和表 3 对比发现, 羊肉和猪肉均在 0~4 min 期间肉色变化比较剧烈, 而在 8~12 min 及 16~20 min 期间比较稳定, 因此建议仪器测定羊肉和猪肉颜色适宜采用 10 min 的氧合时间。鸡肉由于肌红蛋白含量较少, 氧合过程不显著, 表 4 显示 0~8 min 内肉色稳定, 因此鸡肉可以不需氧合直接仪器测量肉色。

Ledward<sup>[22]</sup>研究发现氧合在低温下进行较剧烈, Young 等<sup>[23]</sup>通过  $L^*$  和  $c$  值判断, 认为氧合时间与尸僵

过程中鲜肉的氧气消耗有关, 同时, 氧合时间还受动物品种、环境中  $O_2$  分压、pH、细菌繁殖程度等的影响, 因此针对不同的种类肉样产生上述不同结论。

### 4.3 样品厚度

实验中肉块厚度由 1.5 cm 降低到 1.0 cm 时, 牛肉  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 、 $C^*$ 、 $L$ 、 $a$ 、 $b$  变化极显著, 羊肉  $L^*$ 、 $L$  值变化显著, 猪肉  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $h$ 、 $L$ 、 $a$ 、 $b$  变化极显著, 实验结果很好地解释了美国肉类科学协会在肉色测量指南中样品厚度不少于 12~15 mm 的规定<sup>[11]</sup>。

Sanchez-Zapata 等<sup>[24]</sup>以白瓷板作背景测量金枪鱼肉色, 发现 1 cm 厚样品的反射比显著高于 2 cm 和 3 cm 样品, 并建议以 2 cm 作为样品肉色测量的最小厚度。Bianchi 等<sup>[25]</sup>研究了鱼胸肉片和火鸡胸肉片, 也认为肉色测定中 2 cm 厚度应该作为重要标准。与上述研究一致, 本研究中肉片厚度由 1.5 cm 增至 2.0 cm 的过程中, 牛肉只有  $L$  值变化显著, 而羊肉肉色指标没有显著变化, 因此认为, 牛羊肉颜色测定过程中样品厚度应不小于 2 cm。

Lindahl 等<sup>[18]</sup>测定猪肉颜色时规定厚度为 2 cm, 但是本研究中, 猪肉厚度由 1.5 cm 变为 2.0 cm 时  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $C^*$ 、 $h$ 、 $L$ 、 $b$  变化极显著, 而由 2.0 cm 增至 2.5 cm 时  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $C^*$ 、 $h$ 、 $a$ 、 $b$  变化均不显著, 因此以 2.5 cm 厚度作为仪器测定猪肉颜色的最小厚度比较合理。

## 5 结 论

肉色随氧合时间及厚度的变化在不同种类肉样之间差别比较大, 由于氧合肌红蛋白和高铁肌红蛋白的不断形成和转化, 在 40 min 的测定过程中, 并不能明确说明某一肉色指标在达到一定时间后就稳定不变了, 但总体而言, 羊肉、猪肉在 0~4 min 肉色变化比较快, 氧合进行程度较大, 而牛肉在 0~24 min 期间肉色持续变化, 考虑到各肉色指标的相对稳定性及仪器测定的时间因素, 认为鸡肉不需氧合可直

接测量, 牛肉鲜切面氧合 24 min, 羊肉、猪肉氧合 10 min 测量比较合理。

肉片厚度方面, 根据实验数据在 1.5 cm、2.0 cm、2.5 cm 的变化情况, 结合国内外相关研究, 考虑到肉品成分及组织状态等因素, 将 2.0 cm 厚度作为牛肉、羊肉, 2.5 cm 厚度作为猪肉肉色仪器测定的重要参考标准。

#### 参考文献

- [1] 周光宏. 畜产品加工学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [2] Giddings GG. Reduction of ferrimyoglobin in meat [J]. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr*, 1974, 5(2): 143–145.
- [3] Vanlack RL, Francs JM, Smulder JM. Color stability of bovine Longissimus and Psoas major muscles as affected by electrical stimulation and hot boning [J]. *Meat Sci*, 1990, 28: 211–221.
- [4] 杨明, 文勇立, 王建文, 等. 牦牛与黄牛背长肌和股二头肌宰后色差变化及差异性分析[J]. *食品科学*, 2009, 30(19): 104–108.
- [5] Ansorena D. Colour evaluation of chofizode pamplona, a spanish dry fermented sausage: comparison between the CIE L\*a\*b\* and the hunter lab system with illuminants D65 and C [J]. *Meat Sci*, 1997, 46: 313–318.
- [6] 赵红霞. CIEDE2000 色差公式在猪肉颜色分级中的应用[J]. *沈阳农业大学学报*, 2007, 38(2): 198–201.
- [7] 周波, 黄瑞华, 曲亮, 等. 色差仪和肉色板在猪肉肉色评定中的应用[J]. *江苏农业科学*, 2007, (2): 121–123.
- [8] 丁武, 魏益民. 色彩色差计在肉品新鲜度检验中的应用[J]. *肉类工业*, 2003, (6): 22–24.
- [9] Tapp WN, Yancey JWS, Apple JK. How is the instrumental color of meat measured [J]. *Meat Sci*, 2011, (89): 1–5.
- [10] Yancey JWS, Kropf DH. Instrumental reflectance values of fresh pork are dependent on aperture size [J]. *Meat Sci*, 2008, (79): 734–739.
- [11] Hulsegge B, Engel B, Buist W, *et al.* Instrumental colour classification of veal carcasses [J]. *Meat Sci*, 2001, 57(2): 191–195.
- [12] American Meat Science Association Committee. Guidelines for Meat Color Evaluation [M]. Chicago: National Live Stock and Meat Board, 1991.
- [13] Honikel, KO. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat [J]. *Meat Sci*, 1998, 49(4): 447–457.
- [14] Lee MS, Apple JK, Yancey JWS, *et al.* Influence of vacuum-aging period on bloom development of the beef gluteus medius from top sirloin butts [J]. *Meat Sci*, 2008, 80: 592–598.
- [15] Wulf DM, Wise JW. Measuring muscle color on beef carcasses using the L\* a\* b\* color space [J]. *J Anim Sci*, 1999, 77: 2418–2518.
- [16] Rentfrow G, Linville ML, Stahl CA, *et al.* The effects of the antioxidant lipoic acid on beef longissimus bloom time [J]. *J Anim Sci*, 2004, 82: 3034–3037.
- [17] Millar S, Wilson R, Moss BW, *et al.* Oxymyoglobin formation in meat and poultry [J]. *Meat Sci*, 1994, 36: 397–406.
- [18] Lindahl G, Karlsson AH, Lundstrom K, *et al.* Significance of storage time on degree of blooming and colour stability of pork loin from different crossbreeds [J]. *Meat Sci*, 2006, (72): 603–612.
- [19] Zhu LG, Bidner B, Brewer MS. Postmortem pH, muscle, and refrigerated storage effects on ability of vacuum-packaged pork to bloom [J]. *J Food Sci*, 2001, 66: 123–1235.
- [20] Brewer MS, Zhu LG, Bidner B, *et al.* Measuring pork color: effects of bloom time, muscle, pH and relationship to instrumental parameters [J]. *Meat Sci*, 2001, (57): 169–176.
- [21] Rees MP, Trout GR, Warner RD. Tenderness, ageing rate and meat quality of pork M. Longissimus thoracis et lumborum after accelerated boning [J]. *Meat Sci*, 2002, (60): 113–124.
- [22] Ledward DA. The chemistry of muscle-based foods—Colour of raw and cooked meat [M]. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 1992
- [23] Young OA, Priolo A, Simmons NJ, *et al.* Effects of rigor attainment temperature on meat blooming and colour on display [J]. *Meat Sci*, 1999, (52): 47–56.
- [24] Sanchez-Zapata E, Fuentes-Zaragoza E, Navarro-Rodriguez C, *et al.* Effect of tuna pate thickness and background on CIEL\*a\*b\* color parameters and reflectance spectra [J]. *Food Control*, 2011, (22): 1226–1232.
- [25] Bianchi M, Fletcher DL. Effects of broiler breast meat thickness and background on color measurements [J]. *Poultry Sci*, 2002, 81: 1766–1769.

(责任编辑: 张宏梁)

#### 作者简介



黄彩霞, 在读研究生, 研究方向: 食品科学。

E-mail: huangcaixia129@sina.com



卢凌, 副研究员, 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所分析中心主任, 主要研究方向: 畜产品质量安全与检测。

E-mail: fxzxlinda@126.com