

Моделирование цветовых переходов между формами миоглобина

Мурашев С.В, Воробьёв С.А.
vorobevsa@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий

Возникновение цвета вещества представляет процесс избирательного поглощения части видимого спектра из падающего на его поверхность белого света. Поглощение части видимого света пигментами происходит в электронных переходах. В гемовой группе миоглобина, основного пигмента мышечной ткани, возможны два вида таких переходов: резонансное поглощение световой энергии в π -электронной системе порфиринового кольца и в d -электронных переходах иона металла комплексообразователя. Комбинация видимого света не поглощенного в электронных переходах создает цвет пигментов. Для моделирования цветовых переходов между формами миоглобина необходимо суммировать в определенной последовательности не поглощенный пигментами видимый свет.

Ключевые слова: метмиоглобин, миоглобин, оксимиоглобин, коричневый, пурпурный, красный цвет.

The colour transitions between the forms of myoglobin simulation

Vorobev S.A., Murashev S.V.

St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering

A substance colour formation is a process of selective absorption of a part of the visible light from the white light falling on its surface. Absorption of a part of the visible light by the pigments occurs in the electronic transitions. In the haem group of myoglobin, the basic muscular tissue pigment, 2 types of such transitions are possible: resonance absorption of the luminous energy in the porphyrin ring π - electronic system and the d -electronic ion transitions of the complex former metal. Visible light combination, which has not been absorbed in the electronic transitions, generates pigments' colour. To simulate the colour transitions between the forms of myoglobin it is necessary to summarize in a certain sequence the visible light not absorbed by the pigments.

Key words: myoglobin, oksimioglobin, metmyoglobin, brown, red color

Миоглобин является основным пигментом мяса. Он существует в трех формах, отличающихся между собой по цвету. Эти формы миоглобина способны к взаимному превращению с соответствующими цветовыми изменениями. В составе миоглобина пигментной группой является гем, представляющий собой комплексное соединение иона железа с 4-х дентатным лигандом порфирином. Изменение заряда комплексообразователя ($Fe^{3+} \rightarrow Fe^{2+}$) и последующее связывание кислорода сопровождается изменением цвета пигментов: коричневый \rightarrow пурпурный \rightarrow красный. Цветовые переходы между формами миоглобина можно моделировать, суммируя в определенной последовательности участки видимого спектра соответствующие не поглощенному свету в спектрах поглощения пигментов.

Объекты и методы исследования

Цвет форм миоглобина реконструировали на основании их спектров поглощения. Для этого смешивали цвета соответствующие длинам волн в минимумах поглощения в спектрах пигментов. Каждым цветом, соответствующим минимуму поглощения, с учетом оптической плотности на его длине волны в спектре поглощения пигмента, покрывались сегменты круга. Этот круг с сегментами различной окраски использовали для суммирования цветов по программе Adobe Imagemaker. Одновременно для окружностей с сегментами различной окраски получали спектры отражения на спектрофотометре СФ-18. Цвета для окраски сегментов круга, соответствующие определенным длинам волн видимого спектра, находили на сайте [1].

Переходы цветов соответствующие превращению одной формы миоглобина в другую получали, сохраняя совпадающие цветовые составляющие в их цвете и последовательно заменяя не совпадающие цветовые компоненты. Для этого использовали окружности с сегментами определенной окраски, в которых сохраняли сегменты с совпадающими цветовыми компонентами и заменяли окраску сегментов с не совпадающими цветовыми компонентами.

Результаты и их обсуждение

Для возникновения цвета вещества необходимо избирательное поглощение части или частей видимого спектра из падающего на его поверхность белого света. При этом окраска определяется не поглощенной частью видимого спектра, которая отражается. В зависимости от поглощения определенной части видимого спектра возникает соответствующий цвет вещества, так как не поглощенные части спектра, комбинируясь между собой, создают определенную окраску [2, 3, 4, 5].

В спектре поглощения метмиоглобина существуют два максимума поглощения: более интенсивный при длине волны 505 нм и более слабый при длине волны 627 нм [6]. Соответственно существуют три минимума поглощения, отвечающие голубому (480 нм), желтому (580 нм) и красному цветам (рис. 1).

Поэтому коричневый цвет метмиоглобина представляет комбинацию этих трех не поглощенных частей видимого спектра в определенных пропорциях. Смешивание этих цветов с образованием коричневого цвета может осуществляться одновременно или в любой последовательности (рис. 2). В последнем случае можно получать промежуточные цвета. Например, желтый и голубой в сумме дают зеленый цвет, а уже зеленый в комбинации с красным образует коричневый цвет (рис. 2 А).

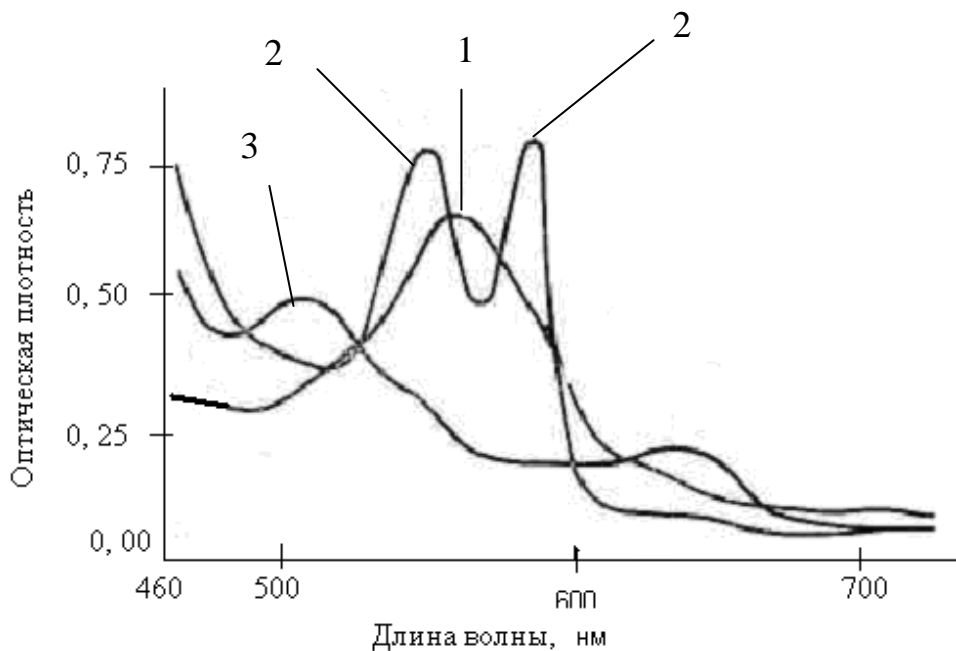
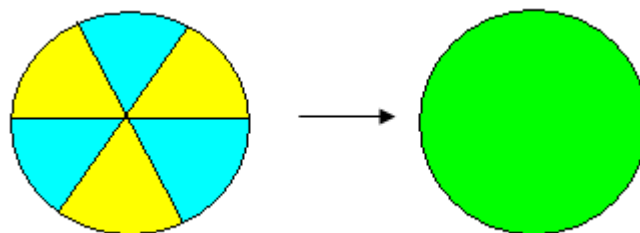
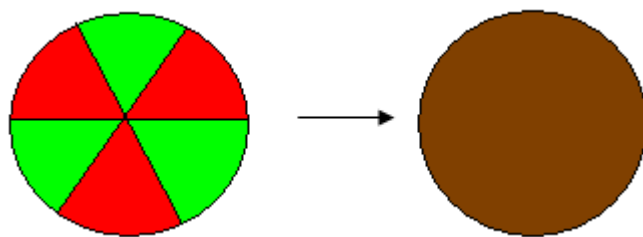
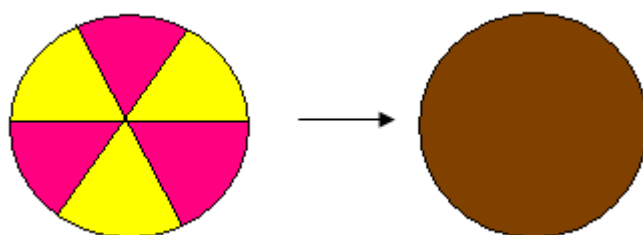
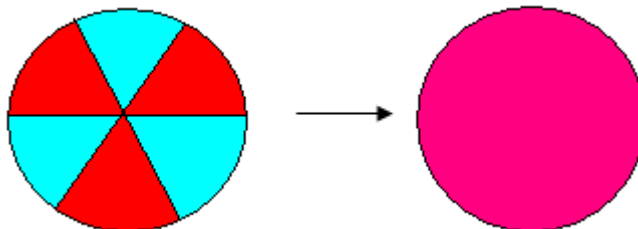


Рис. 1. Спектры поглощения трех форм миоглобина [6]: 1 – миоглобин, 2 – оксимиоглобин, 3 – метмиоглобин.

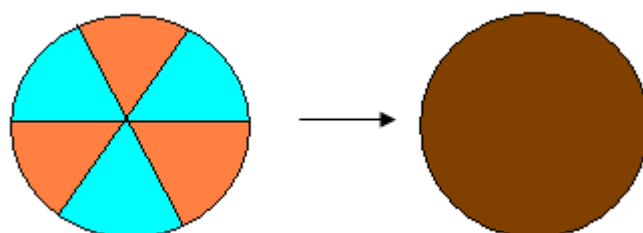
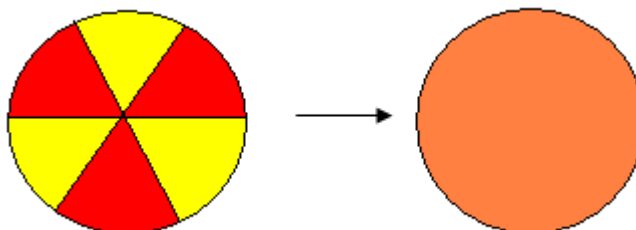




А) Желтый + голубой + красный = коричневый



Б) Голубой + красный + желтый = коричневый



В) Красный + желтый + голубой = коричневый

Рис. 2. Суммирование голубого, желтого и красного цветов с образованием коричневого цвета метмиоглобина в трех различных последовательностях.

Возможность образования коричневого цвета из голубого, желтого и красного цветов можно доказать экспериментально, если получить на спектрофотометре СФ-18 спектры отражения от коричневой поверхности и поверхности содержащей определенные доли голубого, желтого и красного цветов. Учитывая, например, что комбинацией голубого и желтого цветов

является зеленый (рис. 2 А), то аналогичные результаты могут быть достигнуты при сопоставлении спектров отражения красно-зеленой и коричневой поверхностей (рис. 3), которые почти полностью совпадают. Незначительное несовпадение обусловлено необходимостью более точного определения соотношения сегментов круга с различной окраской.

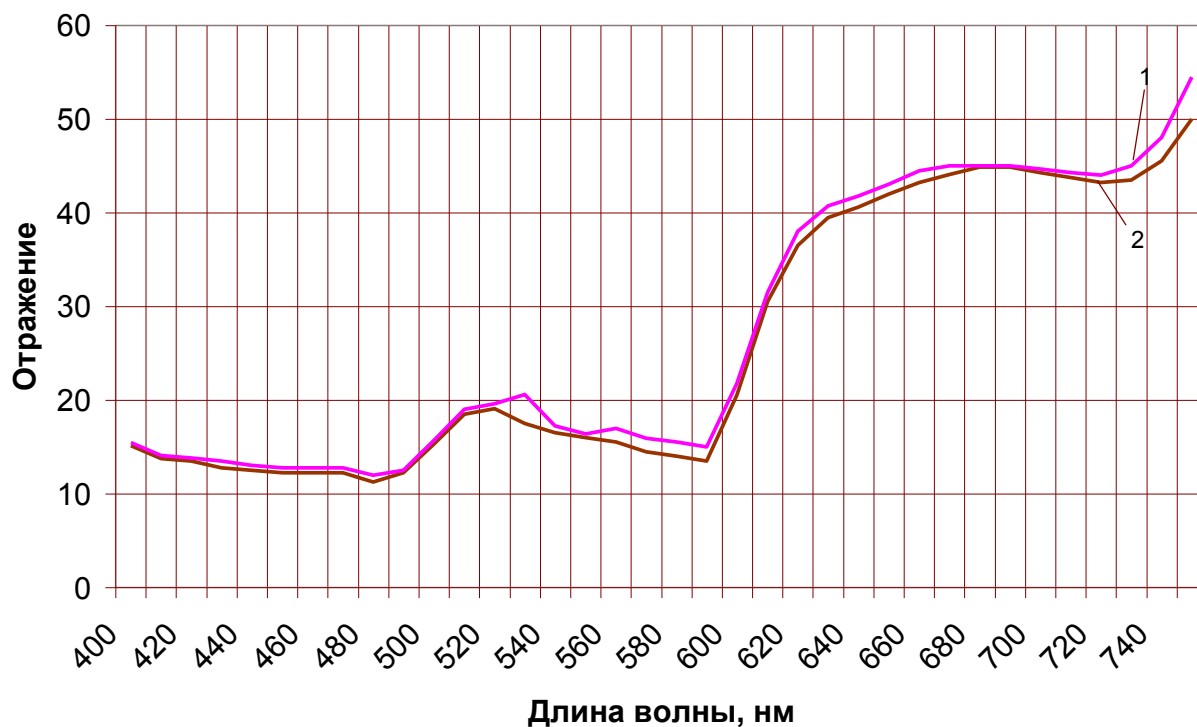


Рис. 3. Спектры отражения красно-зеленой (1) и коричневой поверхностей (2).

Миоглобин имеет пурпурно-красную [6], пурпурную [7] окраску. Пурпурный цвет состоит из двух составляющих – красной и фиолетовой [3]. Это происходит в силу того, что максимум поглощения миоглобина в видимой области находится при длине волны 555 нм [6]. Вследствие чего, пурпурный цвет миоглобина представляет собой комбинацию света отраженного в более коротковолновой и более длинноволновой частях видимого спектра по отношению к максимуму поглощения при длине волны 555 нм (рис. 1). Это также легко доказать экспериментально, если сопоставить спектры отражения полученные для пурпурной и красно-фиолетовой поверхностей (рис. 4). Миоглобин подобно метмиоглобину имеет в своем цвете красную составляющую.

Спектр поглощения оксимиоглобина имеет три полосы поглощения: 580 – 582 нм, 542 – 543 нм и 415 – 418 нм [6]. Такое расположение полос поглощения в видимой области (рис. 1) обеспечивает возникновение красного цвета оксимиоглобина.

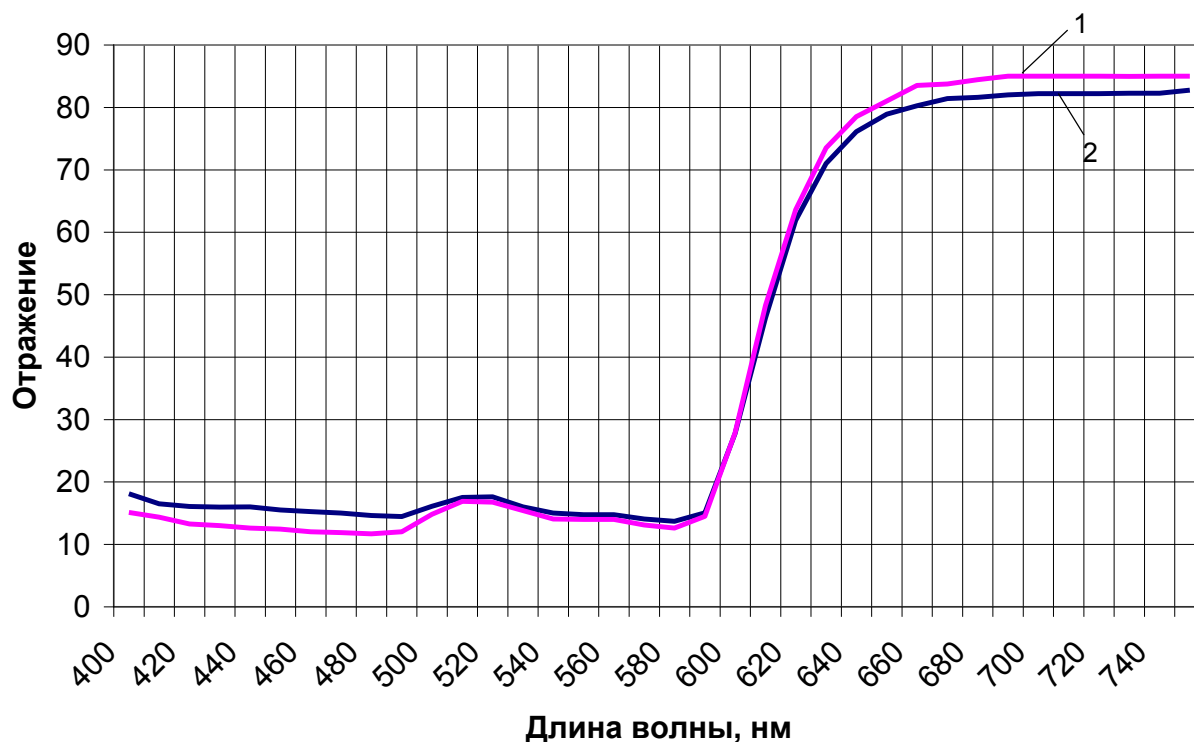


Рис. 4. Спектры поглощения красно-фиолетовой (1) и пурпурной поверхностей (2).

Таким образом, реконструкция цвета трех форм миоглобина подтвердила тот факт, что образование цвета происходит в результате комбинации (смешивания) не поглощенных участков видимого спектра, а поглощенная в электронных переходах часть спектра вычитается.

Как уже показано коричневый цвет метмиоглобина образуется смешением голубого желтого и красного или зеленого (голубой + желтый = зеленый) и красного цветов. Пурпурный цвет миоглобина представляет комбинацию фиолетового и красного. Следовательно, в образовании цвета метмиоглобина и миоглобина участвует красная область видимого спектра. Поэтому моделирование цветового перехода метмиоглобина в миоглобин представляет собой последовательную замену желто-голубых или зеленых сегментов на фиолетовые с сохранением красных (рис. 5). Аналогичное моделирование изменения цвета в ходе оксигенирования миоглобина представляет постепенное заполнение поверхности красным цветом (рис. 6).

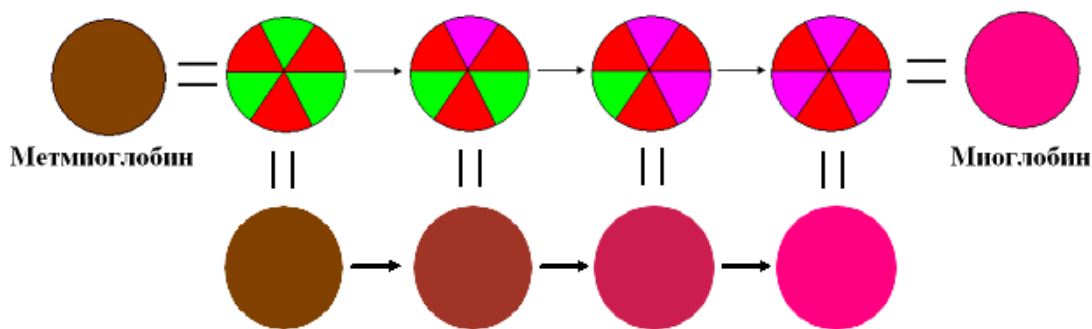


Рис. 5. Моделирование изменения цвета при переходе метмиоглобина в миоглобин

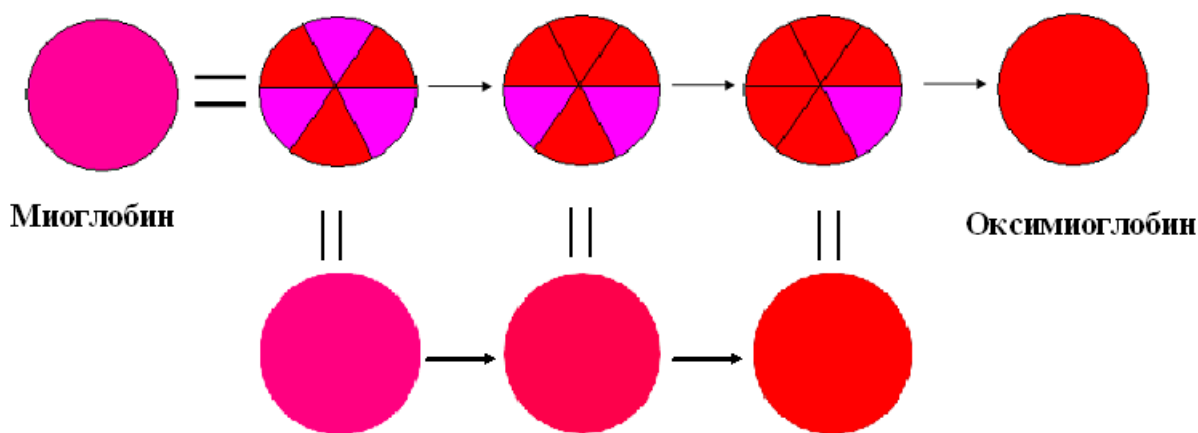


Рис.6. Моделирование превращения цвета при переходе из миоглобина в оксимиоглобин

Для цветовых переходов изображенных на рис. 5 и 6 получены спектры отражения, представленные на рис. 7 и 8, соответственно. Моделирование цветовых изменений, происходящих при переходе метмиоглобин \rightarrow миоглобин \rightarrow оксимиоглобин, показало, что в спектрах отражения постепенно усиливается отражение в красной области спектра, которое достигает своего максимума для оксимиоглобина. Это подтверждает тот факт, что усиление красного цвета в ходе взаимодействия с кислородом характерно только для гемовых пигментов. Аналогичные выводы следуют из анализа спектральных особенностей трех форм миоглобина (рис. 1), из которых следует, что наиболее сильное отражение в красном свете характерно для оксимиоглобина. Следовательно, минимизация оптической плотности в красной области является показателем интенсификации образования оксимиоглобина.

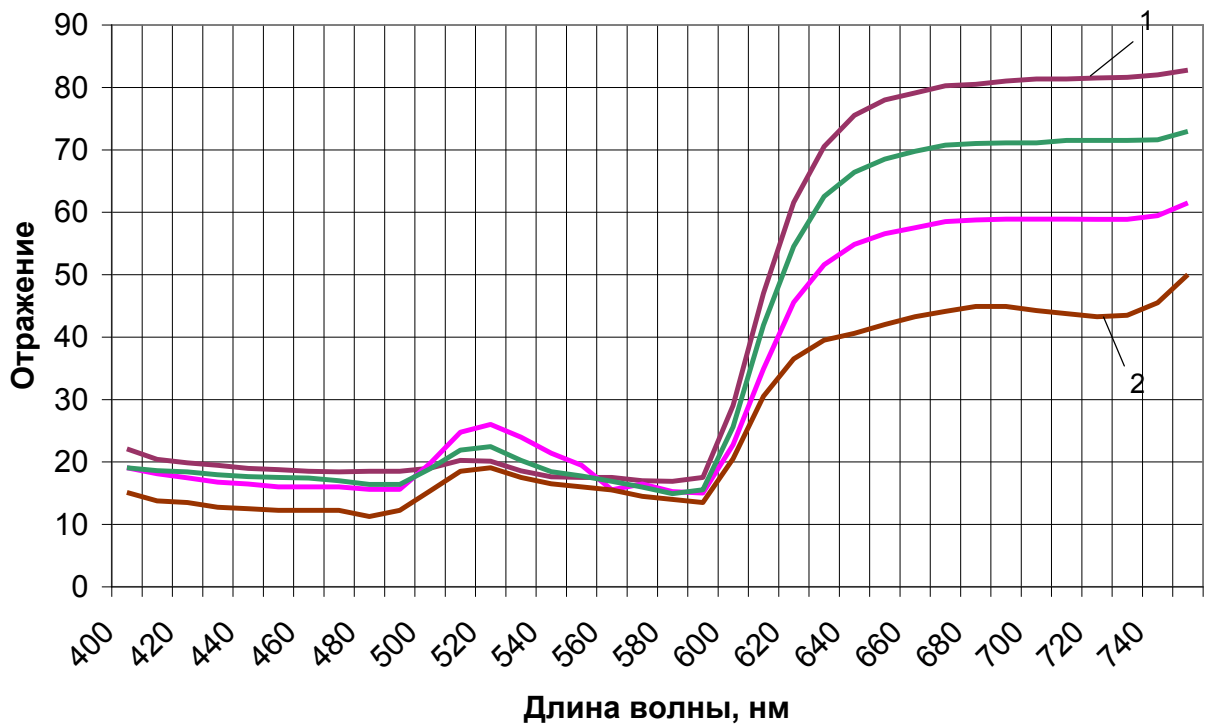


Рис. 7. Изменения в спектрах отражения при переходе от коричневого (2) к фиолетовому (1).

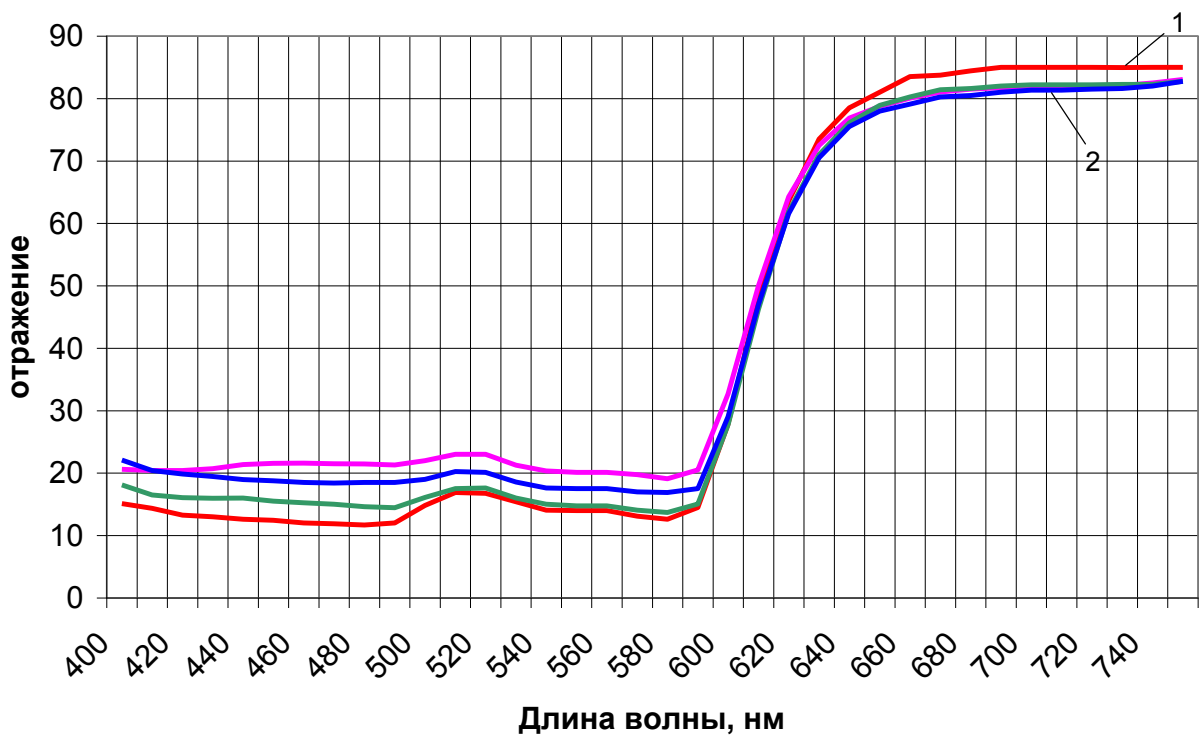


Рис.8. Сопоставление спектров поглощения при переходе от пурпурного (2) до красного (1).

Выводы

Показано, что суммируя в определенной последовательности не поглощенные участки видимого света в спектрах поглощения трех форм миоглобина можно моделировать цветовые переходы между ними.

Моделирование цветовых процессов приводящих к образованию оксимиоглобина сопровождаются усилением отражения света в красной области спектра. Аналогичные выводы следуют из анализа спектров поглощения трех форм миоглобина. Следовательно, оптическая плотность в красной области спектра является критерием содержания оксимиоглобина в мышечной ткани.

Список литературы

1. Х. Ешкайт. Аминокислоты. Пептиды. Белки. – М.: Мир, 1985 – 455 с.
2. Вест А. Химия твердого тела. Теория и приложения. Ч.2. – М.: Мир, 1988. – 336 с.
3. Некрасов Б. В. Основы общей химии. Т.2. – М.: Химия, 1974. – 688 с.
4. Бабко А.К. Фотометрический анализ. Общие сведения и аппаратура. – М.: Химия, 1968. – 428 с.
5. Мурашев С.В., Воробьев С.А., Жемчужников М.Е. Физические и химические причины возникновения красного цвета мяса. – СПб.: СПбГУНТИПТ, 2010, №1. – <http://www.open-mechanics.com/journals>
6. Физико-химические и биохимические основы технологии мяса и мясопродуктов / Справочник под ред. д-ра техн. наук, проф. А.А.Соколова. – М.: Пищевая пром-ть, 1973. – 496 с.
7. Данилова Н.С. Физико-химические и биохимические основы производства мяса и мясных продуктов. – М.: КолосС, 2008. – 280 с.