Анализ кривых Штрибека на примере ореховой пасты (Нутеллы), кукурузного крахмала, творога и сыра Маскарпоне

Кривые Штрибека с давних пор используются для понимания смазывающих свойств масел и смазок, а в последние годы — для различных применений, от чернил для шариковых ручек до синовиальных жидкостей. В данной работе предпринята попытка показать, что можно расшифровать по кривым Штрибека для образцов пищевых продуктов.

1 Введение

Органолептическое восприятие образцов пищевых продуктов с разными текстурами, поддающимися намазыванию, такими как сливочный сыр, может быть описано сенсорными чувствами человека. Некоторые из этих характеристик, такие как твердость или эластичность, в основном зависят от матрицы и могут быть хорошо коррелированы с классическими методами анализа текстуры, такими как реологические измерения или измерения свойств профиля текстуры (TPA). Однако эти методы подходят к своему пределу, когда необходимо описать свойства, связанные с вкусовым ощущением во рту, такие как липкость.

Предполагается, что трибосистема[1], имитирующая систему язык-пища/слюна-нёбо, лучше подходит для описания этих сенсорных свойств. Однако не существует простой методологии для связи трибологических данных с конкретными сенсорными свойствами.

В текущем исследовании использовалась скользящая корреляция для сопоставления органолептических свойств и измеренных коэффициентов трения вдоль скоростной развертки, чтобы определить типичные и релевантные скорости скольжения для четырех конкретных характеристик вкусовых ощущений — липкости, мучнистости, твёрдости и жирности.

[1] Трибосистема (трибологическая система) состоит из двух поверхностей, находящихся в относительном движении со средой/смазкой или без нее между ними. В данном конкретном случае языком и небом являются поверхности, трущиеся друг о друга, а смесь пищи и слюны — среда.

2 Условия испытания

Представляющие интерес образцы пищевых продуктов были оценены сенсорными чувствами, а также охарактеризованы трибологическими тестами. Процедура для обеих этих методологий описана в следующих разделах.

2.1 Описание образцов пищевых продуктов, пригодных для намазывания

Двенадцать образцов пастообразных пищевых продуктов были оценены с помощью описательной органолептической панели в соответствии со стандартами DIN EN ISO 8586.2 и DIN 10967 по следующим четырем характеристикам вкуса: липкость, мучнистость, твердость и жирность.

Продукты оценивались по шкале от 0 до 10 со следующими образцами сравнения:

- липкое – ореховая шоколадная паста (Нутелла)
- мучное – 10% крахмальная суспензия
- твердое – обезжиренный кисломолочный творог
- жирное – маскарпоне комнатной температуры

2.2 Условия трибологического испытания

Трибологические испытания проводились с использованием трибометра MCR от Anton Paar с конфигурацией «шар на трех штифтах», см. рис. 1. Трибопара в этой установке состоит из вращающегося стеклянного шара и трех неподвижных цилиндрических полидиметилсилоксановых (ПДМС) штифтов, которые фиксируется в держателе образца Рис. 2. Шар имеет диаметр 12,7 мм, а штифты имеют диаметр и высоту 6 мм.

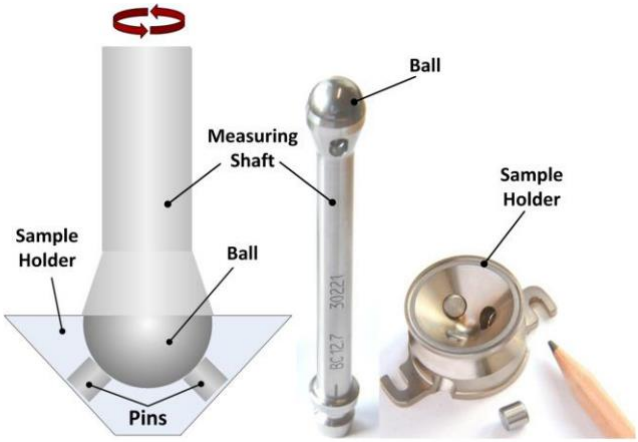

Рисунок 1: Конфигурация «шарик на 3 штифтах»

Рисунок 2: Детальный вид держателя образца с штифтами PDMS. Пустой (слева) и сливочный сыр после измерения (справа)

2.3 Условия теста

Трибологическое поведение пищевых образцов характеризуется кривыми Штрибека, на которых построен коэффициент трения в зависимости от скорости скольжения. В начале измерения измерительный вал опускается, чтобы установить контакт между стеклянным шариком и штифтами PDMS, а между ними находится образец сыра. Нормальная сила на этом этапе ограничена 0,5 Н, чтобы избежать ударной нагрузки.

Для измерений кривой Штрибека нормальная сила устанавливается равной 3 Н, и система выдерживается при этой нагрузке в течение 5 минут, чтобы позволить ей расслабиться при только что приложенной нагрузке. Затем следует развертка скорости от 10^{-4} мм/с до 10^{3} мм/с с 20 точками измерения на декаду.

2.4 Кривые Штрибека для образцов пищевых продуктов, пригодных для намазывания

Кривые Штрибека образцов пастообразных продуктов были определены в соответствии с последовательностью измерений, которая схематически показана на рисунке 3. Эта последовательность включает двухэтапную процедуру «приработки», которая необходима для гарантии воспроизводимых результатов.

На первом этапе (I этап) трибопару обрабатывают 0,45 г рапсового масла. Перед началом второй стадии (этап II) рапсовое масло с этапа I очищают от трибопары с помощью теплой воды, этанола и дистиллированной воды. На этапе II держатель для высушенного образца заполняется 0,8 г пищевого образца. После этого трибопару подготавливают к измерению заданного образца пищевого продукта с помощью двух разверток скорости. Эта процедура выполняется каждый раз перед измерением нового образца.

На третьем этапе (этап III) образец продукта удаляется, а новый с массой 0,8 г насыпается в держатель образца и записывается кривая Штрибека для этого образца.

В этом исследовании этапы II и III были повторены для 12 образцов пастообразных пищевых продуктов.

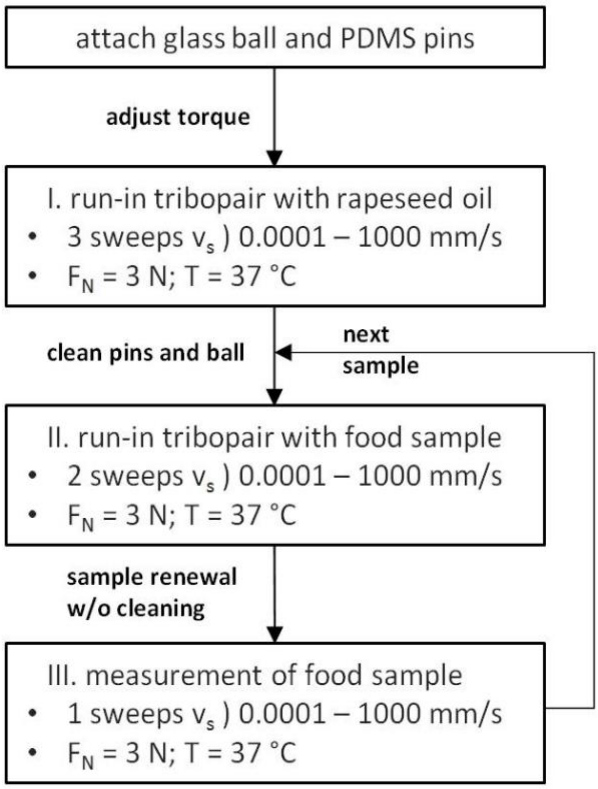

Рисунок 3: Последовательность измерений для измерения кривых Штрибека пастообразных пищевых продуктов.

2.5 Корреляция

140 отдельных точек измерения каждой из 12 измеренных кривых Штрибека непрерывно коррелировали с наборами органолептических данных четырех проанализированных свойств вкусовых ощущений во рту. Затем полученные коэффициенты корреляции были разделены на классы и нанесены на график в зависимости от скорости скольжения.

3 Результаты

Первая часть этого раздела посвящена трибологическим данным в виде кривых Штрибека,

за которыми следуют данные корреляции. Наконец, для каждого отдельного сенсорного рецептора результаты скорости скольжения с лучшим коэффициентом корреляции наносятся на график и обсуждаются отдельно.

3.1 Кривые Штрибека

На рис. 4 показаны кривые Штрибека для 12 различных образцов пищевых продуктов, проанализированных в этом исследовании. Каждая из этих кривых имеет характерный тренд при разных скоростях скольжения. Обратите внимание, что при низких скоростях скольжения движения почти не происходит, тогда как на более высоких скоростях вал совершает несколько оборотов в секунду.

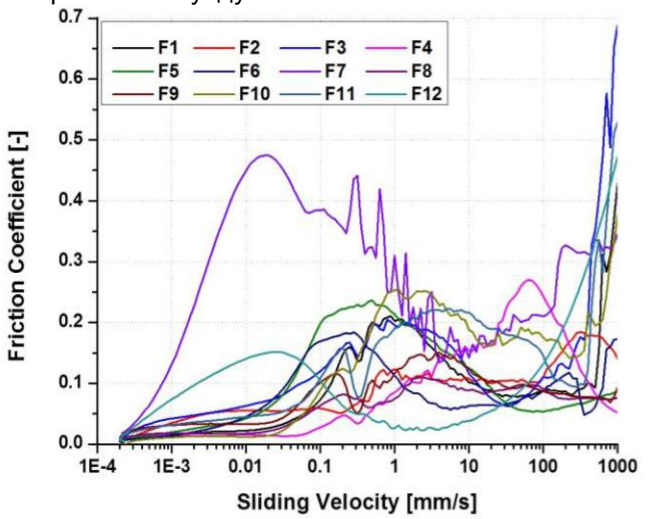

Рисунок 4: Кривые Штрибека для 12 различных пищевых продуктов, пригодных для намазывания, основанные на последовательности измерений, описанной на рисунке 3

3.2 Корреляция

Обобщенный вид степени корреляции четырех сенсорных свойств в отношении коэффициентов трения при различных скоростях скольжения представлен на рисунке 5. Для липкости положительная корреляция наблюдается в широком диапазоне скоростей и особенно сильна при малых скоростях скольжения. Следовательно, более высокие коэффициенты трения при низких скоростях скольжения коррелируют с более высокой липкостью. Хорошая корреляция может быть обнаружена при скорости скольжения от 0,1 до 1 мм/с с максимумом при 0,63 мм/с.

Для мучного наблюдается низкая корреляция между 1 и 10 мм/с с максимумом при 3,98 мм/с.

Похожую картину можно наблюдать и для твердого. Диапазон скоростей скольжения с положительной корреляцией лишь незначительно увеличен до 2–30 мм/с с максимумом 8,93 мм/с.

Для жирного средняя корреляция может быть обнаружена при довольно высоких скоростях скольжения (против > 200 мм/с) с оптимумом при 398 мм/с. Свойство имеет отрицательную корреляцию. Таким образом, низкие коэффициенты трения при высоких скоростях скольжения связаны с ощущением жирного во рту.

Подробное описание каждого из четырех свойств вкусовых ощущений представлено в следующих подразделах.

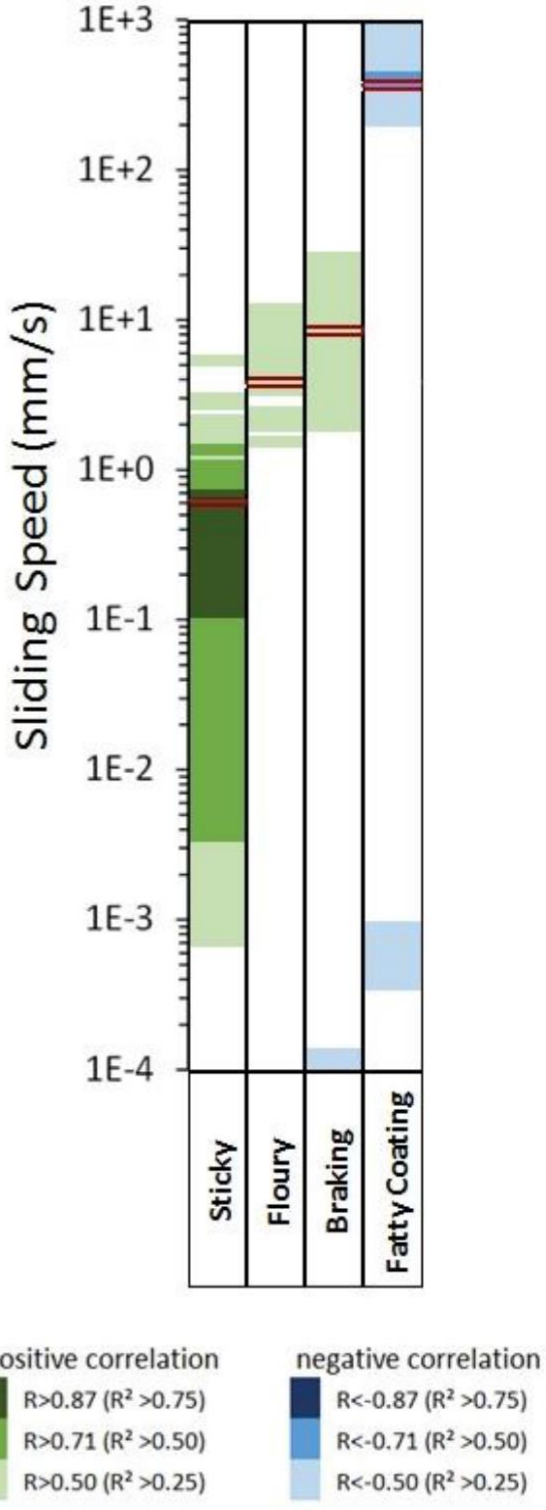

Рисунок 5: Диаграмма корреляции, показывающая степень корреляции четырех рецепторов в зависимости от скорости скольжения.

3.2.1 Липкое

Липкость определяется ощущением, которое паста из какао-фундука вызывает между языком и нёбом, когда язык начинает двигаться. Максимум этого свойства показывает наилучшую корреляцию среди анализируемых свойств. Корреляция оптимальна при относительно низких скоростях скольжения, когда измерительный вал почти не движется. На рис. 6 показана эта корреляция при скорости скольжения 0,63 мм/с. Высокие коэффициенты трения коррелируют с высокой липкостью. Следовательно, намазываемая пища воспринимается липкой, при трогании с места достаточно высокие силы сцепления препятствуют движению языка.

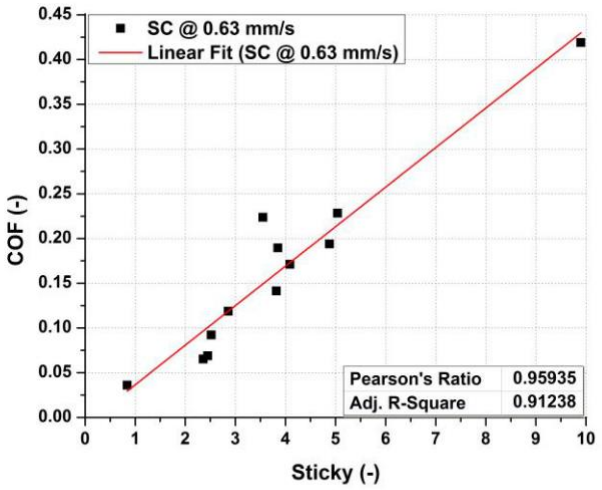

Рисунок 6: Корреляция свойства ощущения липкости во рту с коэффициентом трения при скорости скольжения 0,63 мм/с.

3.2.2 Мучное

Эталоном мучного вкусового ощущения во рту является 10% суспензия кукурузного крахмала, которую оценивают между языком и нёбом, ощущение, которое обычно сохраняется после проглатывания.

На рисунке 7 сенсорное восприятие мучного вкусового ощущения во рту представлено в зависимости от коэффициента трения при скорости скольжения 3,98 мм/с. Видно, что даже в своем максимуме коэффициент детерминации относительно ниже, чем у липкого. Следовательно, одной предложенной последовательности измерений недостаточно для аналитического определения мучного вкусового ощущения во рту. Однако диапазон скоростей, в котором наблюдается максимум, представляется правдоподобным. Когда испытуемый оценивает образец на мучное, язык обычно прижимается к нёбу, осторожно выполняя медленные движения.

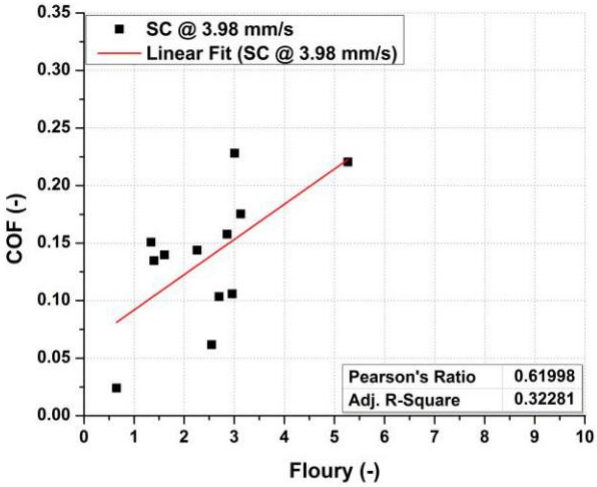

Рисунок 7: Корреляция мучного с коэффициентом трения при скорости скольжения 3,98 мм/с.

3.2.3 Твёрдое

Твёрдость определяется сопротивлением, которое испытывает язык, когда он перемещается по слою обезжиренного молочнокислого творога на нёбе.

На рис. 8 показана оптимальная корреляция при скорости скольжения 8,93 мм/с. При рассмотрении отдельных кривых Штрибека в диапазоне скоростей от 2 до 30 мм/с наблюдается снижение коэффициента трения, см. рис. 4. Для обезжиренного кисломолочного творога такое снижение коэффициента трения отсутствует. Следовательно, продукт воспринимается как твёрдый, если коэффициент трения не снижается после того, как язык начал двигаться с типичными скоростями скольжения во рту. Однако коэффициент детерминации низок, так что метод в его нынешнем состоянии сам по себе недостаточен для аналитического определения значения этого признака.

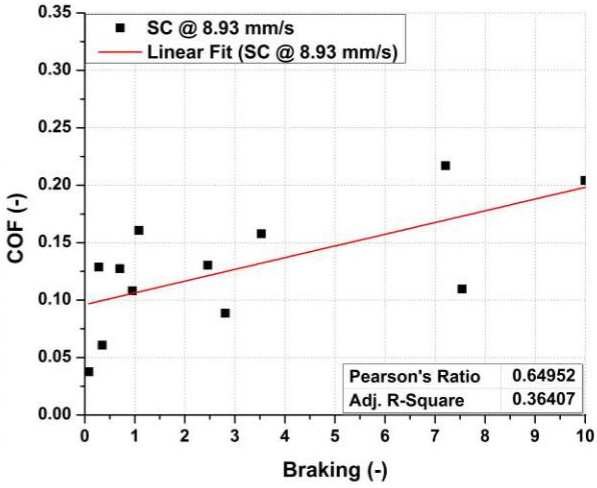

Рисунок 8: Корреляция свойств твёрдого продукта с коэффициентом трения при скорости скольжения 8,93 мм/с.

3.2.4 Жирное

Жировой налет – это ощущение жировой пленки, которая остается во рту после проглатывания продукта. Эталоном этого свойства является маскарпоне.

На рис. 9 показана максимальная средняя отрицательная корреляция для этого свойства при довольно высокой скорости скольжения 398 мм/с. Эти скорости выше, чем те, которые естественным образом возникают во рту. Однако это согласуется с предположением, что жировое покрытие скорее связано с зависящим от времени износом жировой пленки, чем с абсолютной гладкостью поверхности. Продукт воспринимается как имеющий жировое покрытие, когда коэффициент трения остается низким даже после того, как жировая пленка между языком и нёбом подвергалась механическим воздействиям на повышенных скоростях в течение длительного периода времени.

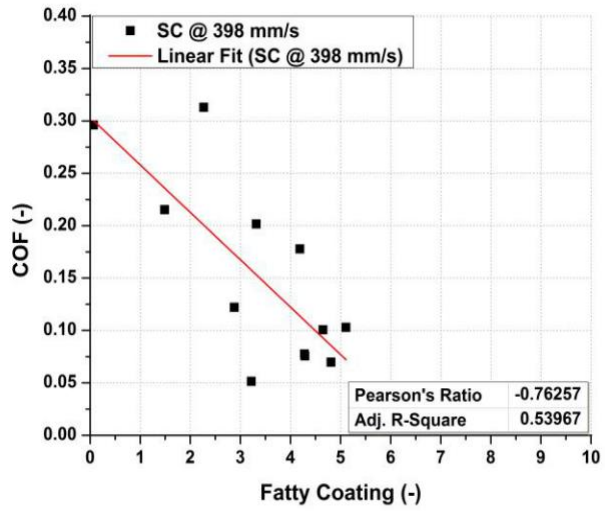

Рисунок 9: Корреляция характеристики вкусовых качеств жирового покрытия с коэффициентом трения при скорости скольжения 398 мм/с.

4 Заключение

В этом исследовании были оценены сенсорными чувствами и сопоставлены с коэффициентами трения кривой Штрибека с использованием корреляций 4 свойства текстуры намазываемой пищи, которые преобладают во рту.

Для всех свойств могут быть получены типичные диапазоны скоростей скольжения, где корреляция имеет оптимум. В то время как свойства липкое и жирное достигли, по крайней мере, средней корреляции, признаки мучного и твёрдого показали только низкую корреляцию, так что требуется дополнительная работа, чтобы обеспечить аналитическое определение этих свойств на основе трибологических измерений.

Тем не менее, положение оптимальных диапазонов скоростей на кривых Штрибека кажется весьма правдоподобным и дает новое представление о восприятии четырех анализируемых свойств.