

Научная статья

УДК 664.3.033.1

DOI: 10.17586/2310-1164-2024-17-2-37-46

Исследование композитов для создания стабильной красящей пищевой системы эмульсионного типа

Р.Е. Кудинов¹, М.И. Кременевская^{1*}, А.В. Федоров^{2,1}¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург,²ВНИИЖиров, Россия, Санкт-Петербург

*Marianna.Kremenevskaya@mail.ru

Аннотация. Определяли композиты для создания пищевой системы эмульсионного типа W/O с максимальным выходом красящих веществ. Исследовали масло подсолнечное рафинированное дезодорированное, свекольный сок и его концентраты с содержанием сухих веществ 12,23; 18,73; 30,12 и 64,61, смесь моно-, диглицеридов и глицерина. Методом газовой хроматографии в подсолнечном масле определяли массовую долю жирной кислоты от суммы насыщенных, моно- и полиненасыщенных жирных кислот, в т. ч. пальмитиновой (6,5%), олеиновой (20,9%), линолевой (66,4%). Спектрофотометрическими методами в свекольном соке и концентратах устанавливали содержание бетанина, конформационные изменения моно-, ди- и полисахаридных компонентов, наличие пептидных структур. Реометрическими методами исследовали кривые течения композитов для эмульсии, методом висящей капли – межфазное натяжение. Для проверки физических и сенсорных свойств эмульсии выбранные композиты диспергировали: достаточными условиями для проведения процесса установлена его продолжительность – 10 мин при скорости вращения 6000 об/мин. Показано, что для создания пищевой эмульсии W/O со стабильными показателями цветовых характеристик при хранении в качестве дисперсной фазы можно использовать концентрат сока свеклы с содержанием сухих веществ 64,61% и бетанина 0,54%. Критическая концентрация мицеллообразования эмульсии достигается при добавлении 0,5% ПАВ. Явление синерезиса при температуре хранения $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$ в течение 30 дней не выявлено.

Ключевые слова: эмульгирование; пищевая эмульсия W/O; мицеллообразование; растительное сырье; бетанин

Благодарность: авторы выражают благодарность д-ру хим. наук, профессору А.П. Нечипоренко за консультативную помощь в исследованиях по Фурье ИК спектроскопии

Original article

The study of composites to create a stable emulsion-type coloring food system

Roman E. Kudinov¹, Marianna I. Kremenevskaya^{1*}, Alexandr V. Fedorov^{2,1}¹ITMO University, St. Petersburg, Russia, *Marianna.Kremenevskaya@mail.ru²All-Russian Scientific Research Institute of Fats, St. Petersburg, Russia

Abstract. Composites to create a food system of the W/O emulsion type with a maximum yield of coloring substances were determined. Refined deodorized sunflower oil, beet juice and its concentrates with a dry matter content of 12.23; 18.73; 30.12 and 64.61, a mixture of mono-, diglycerides and glycerin were studied. By gas chromatography, the mass fraction of fatty acid in sunflower oil was determined from the sum of saturated, mono- and polyunsaturated fatty acids, including palmitic (6.5%), oleic (20.9%), and linoleic (66.4%). The content of betanin, conformational changes in mono-, di- and polysaccharide components, and the presence of peptide structures were determined by spectrophotometric methods in beet juice and concentrates. Flow curves of composites for the emulsion were studied by rheometric methods, and interfacial tension was studied by the hanging drop method. To check the physical and sensory properties of the emulsion, the selected composites were dispersed: sufficient conditions for the process were set for its duration – 10 minutes at a rotation speed of 6000 rpm. It is shown that, to create a food emulsion W/O with stable color characteristics during storage, beet juice concentrates with a dry matter content of 64.61% and betanin 0.54% can be used as a dispersed phase. The critical concentration of micelle formation of the emulsion is achieved by adding 0.5% surfactant. The phenomenon of syneresis at a storage temperature of $4 \pm 0.5^\circ\text{C}$ for 30 days was not detected.

Keywords: emulsification; food emulsion W/O; micelle formation; vegetable raw materials; betanin

Acknowledgments: the authors are deeply grateful to the Doctor of Chemical Sciences, Professor A.P. Nechiporenko for help in conducting research on Fourier IR spectrometry

Введение

Пищевые системы эмульсионного типа на растительной и животной основе очень востребованы при создании продукции пищевой индустрии. К особенностям разработки и применения данного вида систем относятся в первую очередь показатели качества композиционного состава сырья, его функционально-технологические свойства при термической обработке.

В зависимости от направления дальнейшего применения – в кондитерской, масложировой, мясной и других отраслях – широко используются эмульсии как первого (масло в воде, O/W), так и второго (вода в масле, W/O) типа. Использование жидкостной дисперсионной системы на различных стадиях производства имеет свои преимущества, поскольку позволяет сократить трудоемкость операций перемешивания, растворения, окрашивания (в отличие от системы порошок в жидкости).

В составе сырья некоторых видов сахаристых изделий, а также отделки поверхностей или начинок штучных (порционных) мучных кондитерских продуктов часто используют многофазные дисперсионные системы. Дисперсионной средой в них могут быть вода или масло, а дисперсная фаза состоять из одного или нескольких веществ. Для поддержания относительной стабильности нерастворимых компонентов фазы и среды эмульсии требуется внесение дополнительных поверхностно-активных агентов.

Снижение содержания жира в пищевой системе, придание ей определенной структуры или цветовой гаммы предполагает прежде всего поиск компонентов и определение их свойств при моделировании эмульсии.

В настоящее время логистические процессы сырьевого товарооборота претерпели значительные изменения. Политика пищевых концернов и предприятий среднего и малого бизнеса направлена на сохранение ноу-хау технологий производства продукции. Острая недостаточность или отсутствие на рынке отечественных пищевых добавок (речь не идет о компаниях, представляющих смеси импортных добавок под собственными брендами), нестабильная ценовая политика на ингредиенты, которая зависит от курса валют, качества продукта, поставщика и других видов затрат, вызывает нестабильность и обнажает внешние факторы кризиса годами отлаженного бизнеса. Тем не менее, новые разработки, направленные на замещение отсутствующих видов ингредиентов, их смесей и пищевых систем для различных секторов агропромышленного комплекса страны, позволят стабилизировать деятельность межотраслевых предприятий. Одной из таких проблем является отсутствие безопасных, стабильных, окрашенных пищевых систем эмульсионного типа для предприятий кондитерской промышленности. Применение жидкой окрашенной эмульсии типа W/O в технологиях многослойной продукции, которая проявляет устойчивость на границе раздела фаз, позволит значительно сократить продолжительность производственного цикла.

Разработка стабильных окрашенных эмульсий высокого качества, которые в настоящее время отсутствуют на рынке, связана в первую очередь с обоснованием состава ее компонентов.

Дисперсионной средой в системе W/O, как правило, выбирают масла или их смеси растительного происхождения. Вступающий в реакцию с лабильным субстратом липидов кислород приводит к явлению химической нестабильности и способствует изменению не только органолептических, физико-химических показателей, но и снижению содержания биологически активных веществ (БАВ) [1]. Соединение масляной дисперсионной среды и водной дисперсной фазы сопровождается физическими факторами нестабильности, т. е. образованием термодинамически неравновесной системы, способствующей изменению ее структуры [2]. Вода в кондитерской отрасли, используемая в системе эмульсии W/O, способствует снижению общего содержания жира [3]. В отличие от использования наполнителя она позволяет поддерживать требуемые механические свойства пищевых продуктов [4]. В работе [5] было показано, что управление реологическими характеристиками способствует взаимодействию сенсорной системы человека с восприятием органолептических характеристик независимо от размера капель и объемной доли воды. Окрашенная пищевая эмульсионная система предполагает внесение красителя либо в порошкообразном, либо в жидком виде. Соединение жидких фракций с технологической точки зрения более предпочтительно. Потребительские предпочтения сводятся в первую очередь к оценке цвета [6] как уровня положительного или отрицательного восприятия продукта [7]. Необходимо отметить, что на сегодняшний день производство натуральных

красителей, полученных из экологически чистого сырья или продуктов его переработки, в России отсутствует. Разработанные в 1990-х годах отечественные технологии пищевых красителей и концентратов не нашли отклика у производителей. Несмотря на то, что краситель свекольный красный бетанин (E162) известен, и его технология описана [8], порошкообразная и жидкая формы продукта на рынке представлены импортными компаниями. Данные продукты востребованы в технологиях окрашенных эмульсий и подлежат разработке. Обеспечение относительной термодинамической стабильности в системах W/O как сразу после выработки, так и в процессе холодильного хранения достигается за счет добавления поверхностно-активных веществ (ПАВ). Показатели поверхностной активности и растворимости пищевых эмульгаторов, относительная величина гидрофильно-липофильного баланса ПАВ являются основными факторами, определяющими тип эмульсии [9]. Эмульгатор, содержащий гидрофильную и липофильную группы, на границе раздела фаз способствует образованию адсорбционного слоя [10]. Размеры частиц [11], растворимость [12], ионная стабильность [13] различных видов эмульгаторов (анионных, катионных, неионогенных) определяют вариабельность стабильности эмульсий при хранении [14]. Устойчивость синергетической стабильности эмульсий может быть повышена путем смешивания двух структурно сходных эмульгаторов [15].

Цель данного исследования – определение состава и свойств компонентов для создания стабильной цветной пищевой эмульсии второго рода на растительной основе.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись масло подсолнечное рафинированное дезодорированное вымороженное «Золотая семечка» (ГК «Юг Руси», Россия), концентрат сока свеклы, смесь моно-, диглицеридов и глицерина (ПАВ).

Масло подсолнечное исследовали на предмет безопасного применения в качестве дисперсионной среды пищевой эмульсии. Жирно-кислотный состав определяли методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот (ГОСТ 31663-2012).

Концентрат сока свеклы, как аналога красителя, получали из сока корнеплодов сорта Бордо-237 урожая 2023 г (Гатчинский р-н, Ленинградской обл.) методом концентрирования, стабилизировали лимонной кислотой. Исследовали четыре образца:

образец № 1 – содержание сухих веществ 12,23%;

образец № 2 – содержание сухих веществ 18,73%;

образец № 3 – содержание сухих веществ 30,12%

образец № 4 – содержание сухих веществ 64,61%.

Технологическую операцию проводили с использованием роторного испарителя марки IKA RV10 (IKA, Германия) при давлении 72 мбар и температуре 60°C. Образцы хранили при температуре 4–6°C в течение 30 суток.

Содержание сухих веществ (СВ) в образцах концентрата измеряли на анализаторе влажности марки Mettler Toledo (Швейцария).

Для определения содержания красящих веществ (бетанина) 1 г образца разбавляли фосфатным буфером (рН 5) до метки 100 мл. Измерение оптической плотности проводили на спектрофотометре UNICO 2100 (United Products & Instruments, США) при длине волны $\lambda = 535$ и 700 нм. Измерение при 700 нм проводили для корректировки на наличие примесей. Концентрацию бетанина (С, %) определяли по Нильсону [16]

$$C = \frac{(A_{535} - A_{700}) \cdot V}{m \cdot 1120},$$

где A_{535} и A_{700} – оптическая плотность раствора при 535 и 700 нм соответственно;

V – коэффициент разбавления;

m – масса навески образца, г;

1120 – удельная абсорбция 1% раствора бетанина в кювете толщиной 1 см.

Единые кривые течения снимали на модульном компактном реометре MCR 702 TwinDrive (Anton Paar, Австрия) со специальной приставкой для динамического оптического рео-анализа (DORA) в диапазоне скоростей сдвига от 0,01 до 1000 с⁻¹ при температуре 20°C.

В качестве эмульгатора использовали смесь моно-, диглицеридов жирных кислот и глицерина. Межфазное натяжение измеряли на тензиометре KRUSS модель DSA100E (Германия) методом «висящая капля». В качестве «окружающей среды» было растительное масло ($\rho = 0,92$ г/мл). С помощью дозированного шприца (диаметр иглы 0,51 мм), заполненного концентратом сока свеклы ($\rho = 1,305$ г/мл), формировали не менее пяти капель и фиксировали на видео, которое затем обрабатывали с помощью программного обеспечения DSA1 и определяли межфазное натяжение на границе двух фаз. Измерение проводили при температуре 20°C. Эмульсию диспергировали на гомогенизаторе HG-15A Насадка НТ1018 (Daihan Scientific, Корея) в течение 10 мин при 6000 об/мин. Устойчивость эмульсии определяли методом центрифугирования.

Спектральные характеристики измеряли на инфракрасном Фурье-спектрометре Nicolet 8700 (Thermo Scientific, США) с приставкой однократного нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) на основе кристалла алмаза и МТС (HgCdTe)-детектором. Статистическую обработку данных спектра усредняли по 128-ми накоплениям.

Статистическую обработку данных результатов измерений проводили с использованием программ Excel и Statistika 10.0 при доверительном интервале случайной погрешности 0,95.

Результаты и их обсуждение

Растительные масла представляют собой триглицериды, содержащие комбинации моно- и полиненасыщенных жирных кислот с низким содержанием насыщенных жирных кислот. Их применение в пищевой промышленности взамен насыщенных и трансжировых продуктов способствует более эффективной профилактике сердечно-сосудистых заболеваний, чем снижение общего потребления жиров [17]. Однако, использование растительных масел требует проверки его безопасности и соответствия нормативным документам. Жирно-кислотный состав образца подсолнечного масла представлен в таблице 1 и свидетельствует о том, что взятый для дальнейших исследований образец безопасен и соответствует регламентируемым показателям.

Таблица 1. Жирно-кислотный состав масла подсолнечного рафинированного дезодорированного вымороженного «Золотая семечка»

Table 1. Fatty acid composition of refined deodorized frozen sunflower oil "Golden seed"

Наименование жирной кислоты	Массовая доля жирной кислоты, % от суммы жирных кислот (образец жира, выделенного из продукта)	Масло подсолнечное по ГОСТ 1129-2013 (для сравнения)
миристиновая C _{14:0}	0,1	до 0,2
пальмитиновая C _{16:0}	6,5	5,0-7,6
пальмитолеиновая C _{16:1}	0,1	до 0,3
стеариновая C _{18:0}	3,7	2,7-6,5
олеиновая C _{18:1}	20,9	14,0-39,4
линолевая C _{18:2}	66,4	48,3-77,0
альфа-линоленовая C _{18:3}	менее 0,1	до 0,3
арахиновая C _{20:0}	0,3	до 0,5
эйкозеновая C _{20:1}	0,3	до 0,3
бегеновая C _{22:0}	0,8	0,3-1,5
эруковая C _{22:1}	менее 0,1	до 0,2
лигноцериновая C _{24:0}	менее 0,1	до 0,5

Из анализа представленных на рисунке 1 результатов видно, что содержание бетанина увеличивается по мере повышения содержания сухих веществ в концентрате свекольного сока. На начальный момент содержание бетанина в образце № 4 в 2,8 раза превышает его содержание в образце № 3. По отношению к начальному моменту, перед закладкой на холодильное хранение, деградация бетанина в образцах составила: № 1 – 65,85%; № 2 – 45,63%; № 3 – 32,10 %; № 4 – 1,3%. Во время холодильного хранения pH образцов не изменился и имел значение 4,5–4,7. Кроме того, при хранении образца № 4 при температуре 4°C в течение полугода микробного поражения не обнаружено.

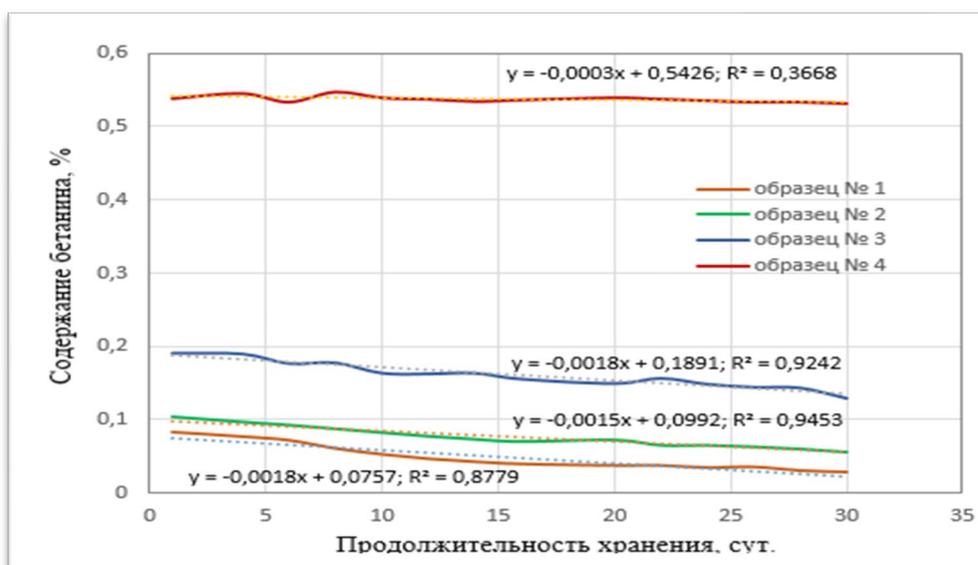


Рисунок 1 – Зависимость деградации бетанина в образцах свекольного сока и его концентратов с различным содержанием СВ, в процессе холодильного хранения при температуре $t = 4 \pm 0,05^\circ\text{C}$
 Figure 1. Dependency of betanin degradation in beet juice and its concentrates with different dry matter content during refrigerated storage at a temperature $T = 4 \pm 0.05^\circ\text{C}$

На рисунке 2 приведен общий вид ИК-спектров образцов свекольного сока и его концентрата с содержанием сухих веществ 12,23 и 64,64%, соответственно. Высокочастотная область, где возможна регистрация NH-группировок белковых структур, в случае водных растворов мало информативна, поскольку перекрыта валентными колебаниями OH-групп воды ($3327\text{--}3308\text{ см}^{-1}$). Полосами 2932 и 2881 см^{-1} проявляют себя C-H_n -группировки всех компонентов, входящих в состав образцов. Деформационные колебания гидроксильных групп воды, накладываясь, также искажают форму полосы 1618 см^{-1} , но положение ее максимума позволяет говорить о присутствии пептидных структур, что подтверждает и наличие слабой полосы 1514 см^{-1} . Небольшая полоса в области 1728 см^{-1} говорит о присутствии кислот.

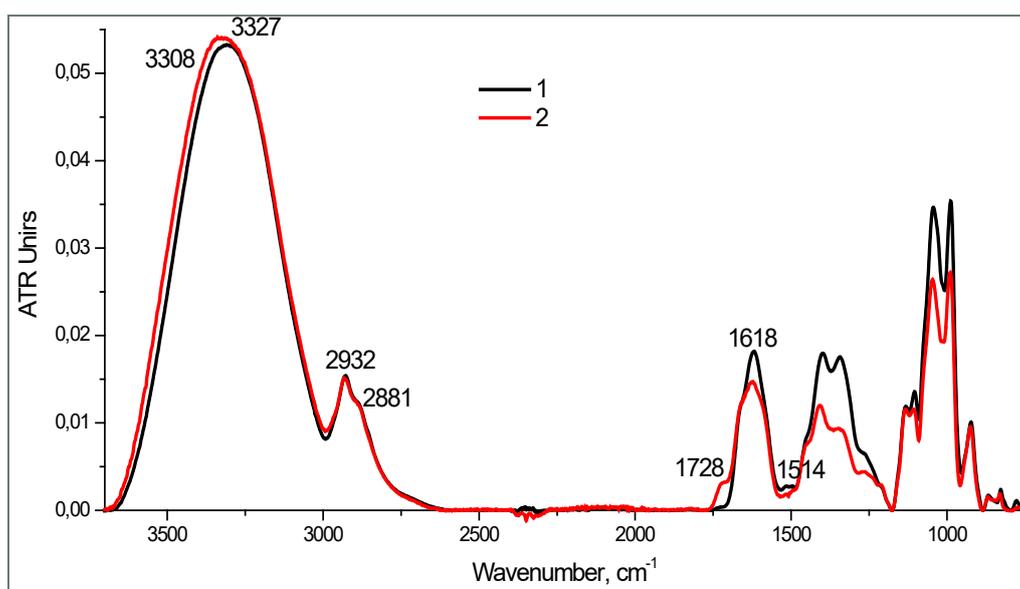


Рисунок 2 – Общий вид ИК-спектров свекольного концентрата (1) и сока (2) в диапазоне $3700\text{--}750\text{ см}^{-1}$
 Figure 2. General view of the IR spectra of beet concentrate (1) and juice (2) in the range $3700\text{--}750\text{ см}^{-1}$

Увеличение наиболее важных фрагментов спектра, скомпонованных на рисунке 3, по форме, структуре, интенсивности и положению полос по шкале волновых чисел дает информацию по углеводному составу исследуемых образцов. Анализ глобальной полосы $1175\text{--}880\text{ см}^{-1}$ (рисунок 3а), представляющей

в основном структурные элементы приранозных колец моно-, ди- и полисахаридных компонентов, показывает прежде всего высокое содержание сахарозы в составе обоих образцов. На это указывают два хорошо дифференцированных максимума 1044 и 988 cm^{-1} глобальной полосы с перемычкой 1014 cm^{-1} и характерный дублет 1135/1106 cm^{-1} . [17]. В области 1500–1175 cm^{-1} (рисунок 3б) в спектре образца № 1 полосой 1344 cm^{-1} более выразительно проявляет себя фруктоза, а сахароза характерной для нее полосой 1211 cm^{-1} в спектре образца 2.

Интересны фрагменты спектров на рисунке 3в, раскрывающие конформационное разнообразие глюкозы полосами 857 и 848 cm^{-1} в составе дублета сахарозы 869/831 cm^{-1} . Фруктоза в данном диапазоне проявляет себя характерной для нее полосой 777 cm^{-1} , более выраженной в спектре образца № 1.

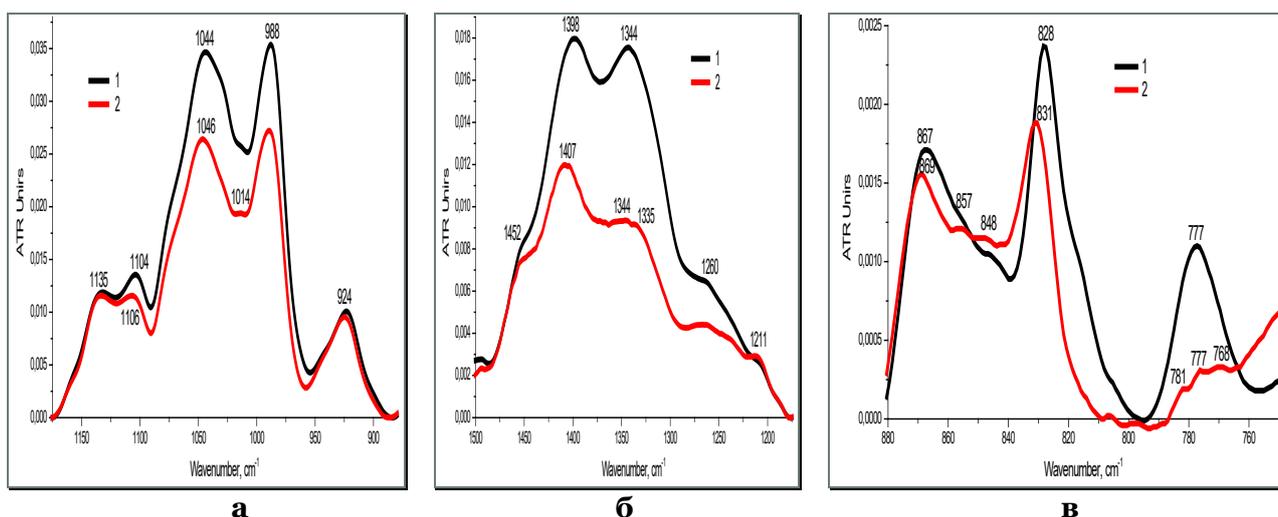


Рисунок 3 – Фрагменты ИК-спектров свекольного концентрата (1) и сока (2):
а) 1175–880, б) 1500–1175, в) 880–750 cm^{-1}

Figure 3. Fragments of the IR spectra of beet juice (2) and its concentrate (1): a) 1175–880, b) 1500–1175, c) 880–750 cm^{-1}

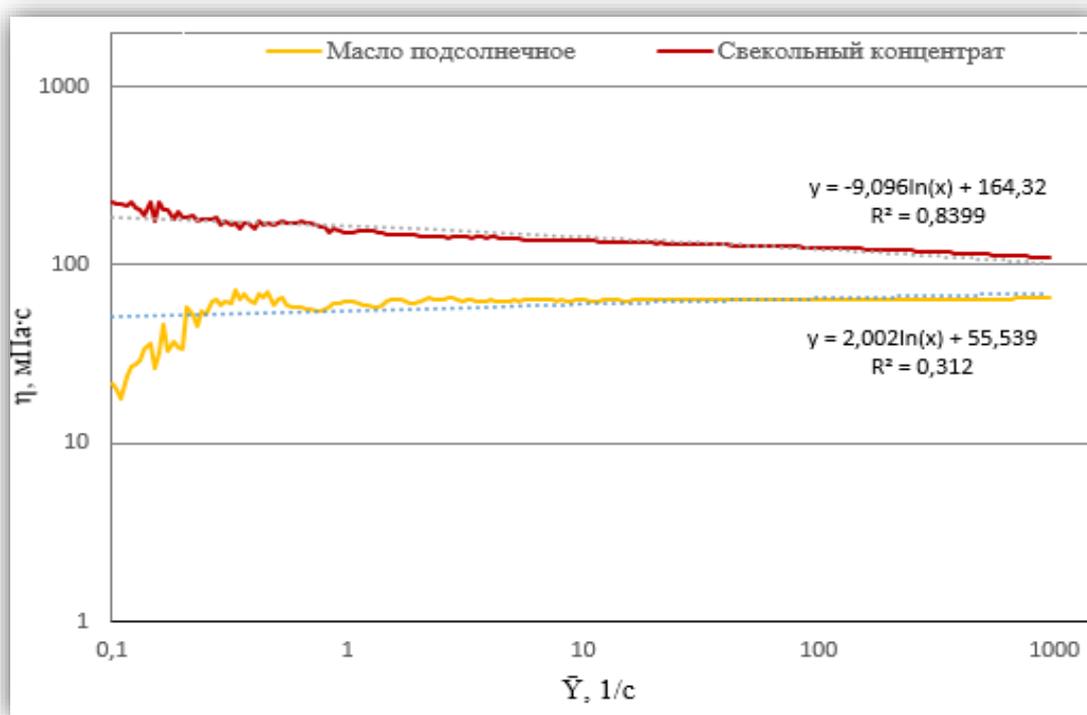


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента динамической вязкости масла подсолнечного и свекольного концентрата от скорости сдвига при температуре 20°C (логарифмическая шкала)

Figure 4. Dependence of the coefficient of dynamic viscosity for sunflower oil and beet concentrate on the shear rate at a temperature of 20°C (logarithmic scale)

Определение физической стабильности веществ связано с реологическими характеристиками. На качество конечного продукта, помимо технологических особенностей производства, оказывает влияние изменение таких условий проведения процесса, как температура, pH среды и воздействие внешнего сдвига. Они могут вызвать набухание или синерезис внутренних капель воды, что приводит к разрушению самой внутренней фазы и изменению размера частиц. Прежде чем говорить об устойчивости пищевой системы эмульсионного типа, характере проходящих в ней диффузионных процессов, функции распределения частиц необходимо снять единые кривые течения дисперсионной среды (масло подсолнечное) и дисперсной фазы (свекольный концентрат).

При анализе представленных на рисунке 4 зависимостей видно, что значения функции динамической вязкости дисперсионной среды и дисперсной фазы имеют обратно пропорциональную зависимость. При увеличении нагрузки на образец с подсолнечным маслом значения достаточно стабильны, а свекольного концентрата – незначительно снижаются. Разрушения структуры веществ при температуре измерения 20°C не отмечено.

Скрин части значений реологических исследований комплекса ПАВ, представленный в таблице 2, так же показывает достаточно высокую стабильность коэффициента динамической вязкости при увеличении скорости и напряжении сдвига.

Таблица 2. Показатели коэффициента динамической вязкости комплекса ПАВ от скорости и напряжения сдвига при температуре 20°C

Table 2. Indicators of the coefficient of dynamic viscosity for the surfactant complex depending on the velocity and shear stress at a temperature of 20°C

Скорость сдвига, $\dot{\gamma}$ (1/с)	Напряжение сдвига, τ (Па)	Коэффициент динамической вязкости, η (мПа·с)
0,1	0,13216	1321,8
0,152	0,20381	1343,6
0,241	0,32757	1359,7
0,383	0,52944	1383,6
0,608	0,82842	1362,2
0,966	1,3323	1379,5
1,53	2,1178	1380,2
2,44	3,3636	1379,9
3,87	5,3507	1381,9
6,15	8,5159	1384,5
9,77	13,534	1385,1
15,5	21,503	1385,3
24,7	34,176	1386
39,2	54,317	1386,7
62,2	86,323	1387,3
98,8	137,11	1387,1
157	217,55	1385,5
249	344,33	1380,4
396	542,04	1367,9
630	843,4	1339,8
1,00E+03	1277,6	1277,6

Для апробации выбранных компонентов в составе эмульсии надо определить критическую концентрацию ПАВ, снижающую энергию, необходимую для создания свободной поверхности раздела фаз в системе. Снижение межфазного поверхностного натяжения обеспечивает стабильность эмульсии в течение длительного времени. Анализ результатов изменения поверхностного натяжения диспергированной системы подсолнечное масло/свекольный концентрат ($C = 64,61\%$) показывает,

что величина межфазного натяжения без ПАВ составляет 16,19 мН/м. Внесение эмульгатора способствует снижению межфазного натяжения до 5,27 мН/м при концентрации ПАВ, равной 0,8%.

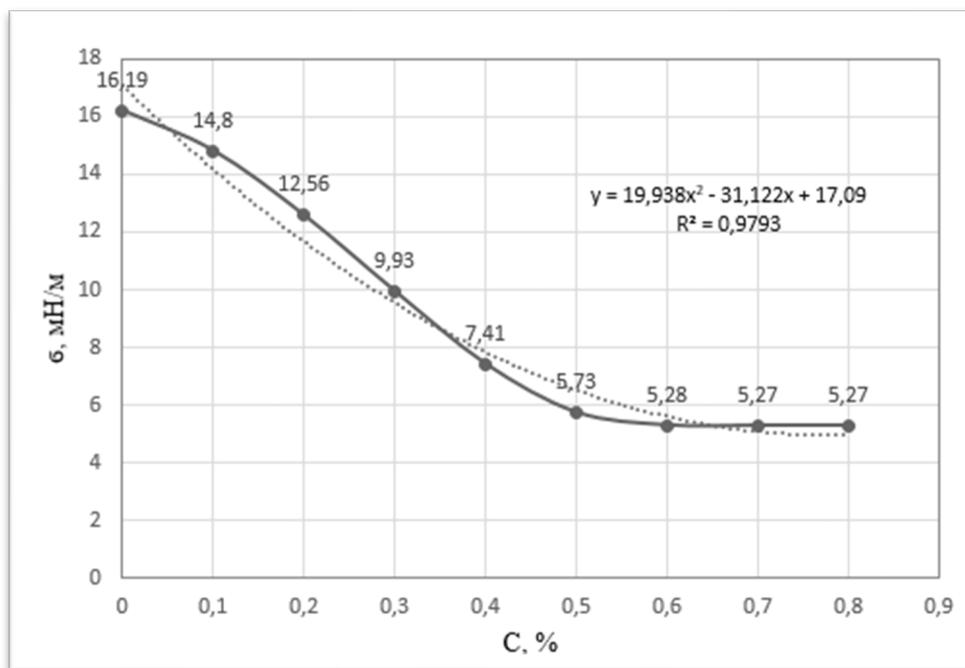


Рисунок 5 – Изменение межфазного поверхностного натяжения системы W/O в зависимости от концентрации эмульгатора

Figure 5. Change in the interfacial surface tension of the W/O system depending on the concentration of the emulsifier

На фото, представленном на рисунке 6 видно, что после центрифугирования в образце эмульсионной системы W/O, имеющем концентрацию ПАВ равную 0,4% (пробирка слева), наблюдается явление синерезиса. При концентрации ПАВ 0,5% (пробирка справа), синерезис отсутствует при прочих равных условиях центрифугирования образцов со скоростью вращения ротора 3500 об/мин в течение 10 мин. Образец имеет плотную консистенцию, сохраняет равномерное окрашивание и упругость достаточно длительное время.

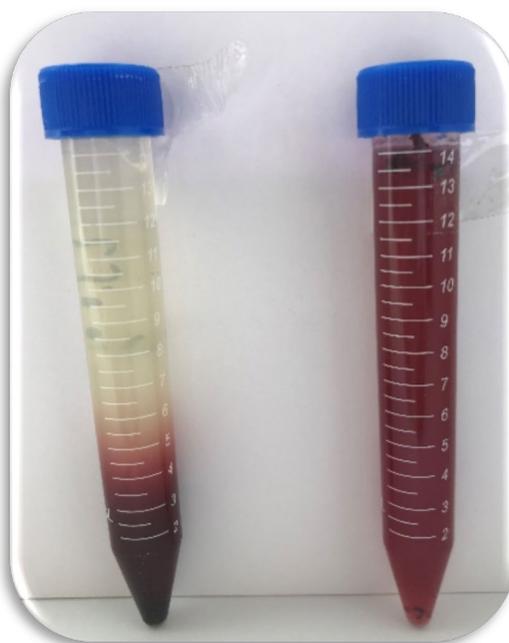


Рисунок 6 – Образцы эмульсионной системы W/O после центрифугирования: слева $C_{ПАВ} = 0,4\%$; справа $C_{ПАВ} = 0,5\%$
 Figure 6 – Samples of the W/O emulsion system after centrifugation: left $C_{surfactants} = 0.4\%$; right $C_{surfactants} = 0.5\%$

Увеличение расхода пищевого ПАВ более 0,5% представляется нецелесообразным, поскольку снижение межфазного поверхностного напряжения в рассматриваемом диапазоне концентраций можно считать незначительным. Таким образом, критической концентрацией мицеллообразования (ККМ) моно- и диглицеридов жирных кислот можно считать концентрацию ПАВ, равную 0,5%.

Заключение

Анализ исследований композиционного состава, который можно использовать для создания пищевых систем эмульсионного типа, показал следующее. Определено значительное содержание олеиновой полиненасыщенной омега-6 жирной кислоты (ПНЖК) в выбранном образце подсолнечного масла. Массовая доля ПНЖК составляет 66,4% от суммы жирных кислот, что позволяет говорить о наличии биологически активных веществ в проектируемой пищевой системе.

Показано, что концентрат из сока свеклы, полученный на ротормном испарителе, с содержанием сухих веществ 64,61% может быть применен в стабильной красящей системе эмульсионного типа. Установлено, что содержание бетанина в продукте составляет 0,54%, а его потери при холодильном хранении – 1,3%. Концентрат в дальнейшем будет использован для получения красящей эмульсии, для которой основными критериями качества являются показатели стабильности и устойчивости цвета. Представляется интересным также установить наличие фенольных и флавоноидных соединений, обладающих антиоксидантным потенциалом.

Определены реологические характеристики компонентов эмульсионной системы, которые показывают их относительную устойчивость при нагрузке. Внесение различных концентраций ПАВ повышает коэффициент динамической вязкости и влагосвязывающую способность системы. Наилучшей для внесения в эмульсию W/O можно считать концентрацию ПАВ в количестве 0,5%. Тем не менее, данная концентрация ПАВ подлежит коррекции для конкретных видов кондитерских изделий.

Литература/References

1. Chen B., McClements D.J., Decker E.A. Design of foods with bioactive lipids for improved health. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2013, V. 4, pp. 35–56. DOI: 10.1146/annurev-food-032112-135808
2. Berton-Carabin C.C., Sagis L., Schroën K. Formation, structure, and functionality of interfacial layers in food emulsions. *Annu Rev Food Sci Technol.* 2018, V. 9, pp. 551–587. DOI: 10.1146/annurev-food-030117-012405
3. Marchetti L., Muzzio B., Cerrutti P., Andrés S.C., Califano A.N. Bacterial nanocellulose as novel additive in low-lipid low-sodium meat sausages. Effect on quality and stability. *Food Structure.* 2017, V. 14, pp. 52–59. DOI: 10.1016/j.foostr.2017.06.004
4. Mitsou E., Tavantzis G., Sotiroidis G., Ladikos D., Xenakis A., Papadimitriou V. Food grade water-in-oil microemulsions as replacement of oil phase to help process and stabilization of whipped cream. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2016, V. 510, pp. 69–76. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2016.07.001
5. Dickinson E. Double emulsions stabilized by food biopolymers. *Food Biophysics.* 2011, V. 6, no. 1, pp. 1–11. DOI: 10.1007/s11483-010-9188-6
6. Manzoor M., Singh J., Gani A., Noor N. Valorization of natural colors as health-promoting bioactive compounds: Phytochemical profile, extraction techniques, and pharmacological perspectives. *Food Chemistry,* 2021, V. 362, article 130141. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130141.
7. Teixeira V.M.C., Silva R.F.G., Gonçalves O.H., Pereira C., Barros L., Ferreira I.C.F.R., Bona E., Leimann F.V. Chemometric approaches to evaluate the substitution of synthetic food dyes by natural compounds: The case of nanoencapsulated curcumin, spirulina, and hibiscus extracts. *LWT.* 2022, V. 154, article 112786. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112786
8. Шачек Т.М., Плитко Т.Ю., Севостьянов С.М. Разработка способа получения натурального красителя из свеклы // Научные стремления, 2017. № 21. С. 35–39.
Shachek T.M., Plitko T.Y., Sevostyanov S.M. Development of a way of receiving a natural dyestuff from beet. *Scientific Aspirations.* 2017, no. 21, pp. 35–39.
9. Dalgleish D.G. Food emulsions – their structures and structure-forming properties. *Food Hydrocolloids.* 2006, V. 20, no. 4, pp. 415–422. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2005.10.009
10. Yuji H., Weiss J., Villeneuve P., et al. Ability of surface-active antioxidants to inhibit lipid oxidation in oil-in-water emulsion. *J. Agric. Food Chem.* 2007, V. 55, no. 26, pp. 11052–11056. DOI: 10.1021/jf072586f
11. McClements D.J. *Food emulsions: principles, practices, and techniques.* Boca Raton, CRC Press. 2004, 632 p. DOI: 10.1201/9781420039436

12. Pucek A., Tokarek B., Waglewska E., Bazylińska U. Recent advances in the structural design of photosensitive agent formulations using "soft" colloidal nanocarriers. *Pharmaceutics*. 2020, V. 12, no. 6. DOI: 10.3390/pharmaceutics12060587
13. Chang Y.C., Chou C.C., Lin J.J. Emulsion intercalation of smectite clays with comb-branched copolymers consisting of multiple quaternary amine salts and a poly(styrene-butadiene-styrene) backbone. *Langmuir*. 2005, V. 21, no.15, pp. 7023–7028. DOI: 10.1021/la050948c
14. Liu X.J., Lu Y.C., Luo G.S. Continuous flow synthesis of polystyrene nanoparticles via emulsion polymerization stabilized by a mixed nonionic and anionic emulsifier. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2017, V. 56, no. 34, pp. 9489–9495. DOI: 10.1021/acs.iecr.7b02352
15. Han S.S., Xu J.Y., Zheng G., Liang H.Y., Sun Y. The isolation and structural analysis of compound emulsifier. *Adv. Mat. Res.* 2011, V. 31–319, pp. 703–707. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.317-319.703
16. Nilsson T. Studies into the pigments in beetroot. *Lantbrukshögskolans Annaler*. 1970, V. 36, pp. 179–219.
17. Mozaffarian D., Aro A., Willett W.C. Health effects of trans-fatty acids: experimental and observational evidence. *Eur J Clin Nutr.* 2009, V. 63, Suppl 2, pp. S5–S21. DOI: 10.1038/sj.ejcn.1602973
18. Нечипоренко А.П., Везо О.С., Нечипоренко У.Ю., Плотникова Л.В., Ситникова В. Е., Украинцева П.И., Плотников П.П. Оптические свойства медов: методы ИК-Фурье спектроскопии и рефрактометрии // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11. № 4. С. 627–641. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-627-641
Nechiporenko A.P., Vezo O.S., Nechiporenko U.Yu., Plotnikova L.V., Sitnikova V.E., Ukraintseva P.I., Plotnikov P.P. Optical properties of honey: Ftir spectroscopy and refractometry. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya*. 2021, V. 11, no. 4, pp. 627–641. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-627-641

Информация об авторах

Роман Евгеньевич Кудинов – аспирант факультета биотехнологий

Марианна Игоревна Кременевская – д-р техн. наук, доцент

Александр Валентинович Федоров – д-р техн. наук, заместитель директора по научной работе

Information about the authors

Roman E. Kudinov, Postgraduate Student of the Faculty of Biotechnology

Marianna I. Kremenevskaya, Dr. Sci. Eng., Associate Professor

Alexandr V. Fedorov, Dr. Sci. Eng., Deputy Director for Research

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 28.04.2024

Одобрена после рецензирования 30.05.2024

Принята к публикации 03.06.2024

The article was submitted 28.04.2024

Approved after reviewing 30.05.2024

Accepted for publication 03.06.2024