УДК 66-911.48:665.656.6

Г.Е. Дубова, А.Т. Безусов

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИНГЛЕТНОГО КИСЛОРОДА В РЕАКЦИЯХ ОБРАЗОВАНИЯ АРОМАТА

Разработан подход к синтезу ароматов в пенной гетерогенной системе с комплексом из подготовленных плодовых гомогенатов и экстракта ферментов отрубей пшеницы. Исследовано изменение вязкости липидной фракции гомогенатов, йодного числа как показателей возможной активности ферментов. Средние значения вязкости гомогенатов в охлажденных образцах в среднем в 1,9 раза ниже, а йодное число наиболее высокое по сравнению со свежими образцами. Рассмотрены вопросы участия ферментов растительного сырья в реакциях окисления полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) клеточных мембран, а также способы предварительной подготовки плодов для оптимальных условий образования аромата. Показана роль синглетного кислорода в уменьшении лаг-периода окислительных процессов ПНЖК, интенсивности аромата пены. Количество образовавшихся карбонильных соединений при окислении триплетным кислородом плодовых гомогенатов в 1,5–1,7 раз меньше, чем при участии синглетного кислорода. Приведены данные о накоплении карбонильных соединений в образцах, которые являются соединениями свежего запаха и не присутствуют в не окисленных субстратах. Доказано, что образование и восстановление аромата зависит от направления и скорости протекания ферментативных реакций, наличия изомерных форм ПНЖК и энергии для осуществления реакций. Установлено, что инициирование реакций окисления позволяет восстановить аромат в термообработанных субстратах из тыквы и сладкого перца. Инактивация ферментов в экстракте отрубей пшеницы показывает действие огуречных и тыквенных липоксигеназ в виде образования орехового и злакового запаха в системе. Пенная система дает возможность в практических исследованиях максимально десорбировать аромат в окружающее пространство и ощутить его интенсивность.

ПНЖК, гомогенат, окисление, аромат, фермент, липиды, пена.

Введение

Запах свежих плодов рассматривают как результат фермент-субстратных взаимодействий. При измельчении такие взаимодействия многократно усиливаются, поэтому, чем тоньше измельчение, тем более ощутимо проявляется аромат [1]. Особенность свежего запаха заключается в протекании реакций с участием липоксигеназ и полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), заключенных в растительной клетке. Исследования, направленные на изменение активности клеточных липоксигеназ, подтверждают роль окислительных реакций в образовании аромата. Например, результаты ВЭГЖХ базилика после инактивации липоксигеназ бланшированием в воде показали отсутствие компонентов свежего запаха [2].

Первоначально формирование ароматических компонентов осуществляется путем окисления линолевой и линоленовой кислот липидного бислоя клеточных мембран. Путем каскадных ферментативных реакций из первичных продуктов окисления образуются спирты, кетоны, альдегиды, кислоты, эфиры. Ранее считалось, что оксигенированные продукты имеют только негативное влияние, особенно из-за наличия в оксигенированных продуктах транс-изомеров. В последнее время накапливаются данные о ростостимулирующем, фунгицидном, репеллентном, антиопухолевом и других позитивных свойствах оксилипинов [3]. Началом липидных преобразований считают получение гидроперекисей свободных жирных кислот, которые претерпевают последующие превращения в результате реакций, катализируемых ферментами. В результате гидропероксидлиазных реакций образуются 6, 9, 12 углеродные производные гидропероксиформ ПНЖК. Цепочка превращений – от активации липаз до образования других летучих веществ осуществляется с высокой скоростью [4].

При изучении механизмов образования аромата путем липидной деградации основываются на реакциях α-, β-окисления или оксигеназных превращениях. Оксигенирование, или липоксигеназный путь, приводит к появлению гидропероксидного радикала –ООН. Двойная связь в ходе реакции оксигенирования сдвигается на одно положение с образованием сопряженного диена. Если происходит двойное оксигенирование линолената, то возможно образование сопряженного триена (–CH=CH–CH=CH–CH=CH). Чем больше количество двойных связей в ПНЖК, тем интенсивнее происходит процесс окисления и возникает больше продуктов реакции, способных быть основой для будущих ароматов. Однако при создании стрессовых условий, таких как действие ультразвуковых колебаний, магнитных полей, пониженных температур ароматические компоненты накапливаются в непропорционально больших количествах. В патенте США описан способ усиления аромата в плодах и напитках путем последовательной ультразвуковой обработки. Ранее нами был показан эффект усиления аромата, достигаемый в микроволновом поле [5]. Ч. Чжан, Ш. Тянь показали, что в ответ на низкие температуры происходят липидные преобразования плазматических мембран и этот процесс сопровождается адаптивным изменением их биофизических свойств [6].

Одним из механизмов адаптации растений к понижению температуры является увеличение степе-

ни ненасыщенности остатков жирных кислот в клеточных мембранах. Холод вызывает снижение текучести мембран, который может быть компенсирован процессом десатурации мембранных липидов жирных кислот – введение дополнительных двойных связей в углеводородные цепочки липидного бислоя. Десатурация обеспечивает необходимую текучесть мембран при пониженных температурах. Образование двойных связей в остатках жирных кислот катализируют десатуразы жирных кислот. В созревших изолированных плодах необходимо снизить температуру окружающей среды на 10 °С, чтобы активировать десатурацию мембранных жирных кислот и через какое-то время наблюдать изменение физических свойств цитоплазматических мембран [7].

Вонг и др. (1996) показали, что успешное введение дрожжевых Δ-9 десатураз в трансгенных растениях томата приводит к увеличению уровней пальмитолеиновой кислоты, 9, 12-гексадиеновой кислоты и линолевой кислоты, сопровождается это снижением пальмитиновой кислоты и стеариновой кислоты. Изменение профиля жирных кислот, связано с изменением полученных ароматических соединений, особенно цис-3-гексенол, 1-гексанола, гексаналя и цис-3-гексеналя [8]. Анализ ароматов, полученных путем катаболизма жирных кислот (ЖК) цитоплазматических мембран, показывает различия, связанные с изомерными формами ферментов и соответствующих субстратов. В условиях «in vitro» влияние изомерных форм ферментов или субстратов не изучено в достаточной степени. Одна из причин – энергетический барьер связывания в комплексе фермент-субстрат в обычных условиях. Преодолеть энергетический барьер и ускорить окисление липидов могут прооксиданты, например, синглетный кислород. Вследствие трансформации синглетного кислорода до триплетного состояния высвобождается энергия, которая обусловливает протекание ряда биохимических и биофизических реакций.

Целью работы является разработка технологических основ производства ароматизированной пены, определение условий возможного использования синглетного кислорода, изомерных форм ПНЖК в реакциях образования аромата, а также его последующую идентификацию.

Объект и методы исследования

Предмет исследований – свежие и обработанные гомогенаты, полученные из плодов тыквы, арбуза, огурца, сладкого перца. Гомогенаты плодов получали путем тонкого измельчения плодов и фильтрования для отделения клеточного сока. В качестве источника ферментов липазы и липоксигеназ использовали водный экстракт из отрубей пшеничных. Суспензию готовили в соотношении отруби : вода 1:10, в течение 2 ч при температуре воды 4 °С, затем фильтровали и получали экстракт с активностью ферментов: липоксигеназы 5,8–8,7 Е/мг, липазы 2,7–3,0 Е/мг [9]. Интенсивность окислительных процессов оценивали по разработанной методике, основанной на реакции карбонильных соединений (КС) в паровой фазе с 2,4-динитрофенилгидразином. Растительное сырье массой 100 г переносили в мерную колбу 500 мл. Специальную емкость 5 см^3 заполняли 2,5 см^3 1 % спиртовым раствором 2,4 - динитрофенилгидразина, подвешивали ее внутри колбы. Закрывали колбу притертой пробкой и устанавливали ее в термошкаф на 5 ч при температуре 60 ^{0}С. Охлаждали колбу в течение 50 мин на кафельной плитке, переносили 1 % спиртовой раствор 2,4 - динитрофенилгидразина из специальной емкости в стандартную стеклянную кювету шириной 24 мм, толщиной 5 мм. Определяли спектры поглощения световых волн на 490 нм в фотоколориметре. Находили концентрацию карбонильных соединений $C_6 – C_9$ в парах продукта растительного происхождения по предварительно построенным градуировочным графикам [10]. В гомогенатах определяли изменение йодного числа продуктов окисления модельных растворов с линоленовой кислотой (LN). Из растительных гомогенатов липиды выделяли смесью ацетон-этанол. Изменение вязкости липидной фракции оценивали на лабораторном вискозиметре «Реостат». Описательный сенсорный анализ запаха выполнялся в двух экземплярах сессий квалифицированных судей с опытом работы в области органолептической оценки. Оцениваемые атрибуты запаха: идентичность, свежесть, оттеночные ноты, другие запахи и их отсутствие.

Результаты и их обсуждение

Физические свойства жиров, такие как температура плавления, затвердевания, плотность, вязкость, обусловлены составом жирных кислот, их распределением в триглицеролах, а также пространственной конфигурацией последних. Наличие двойной связи влияет на температуру плавления жирных кислот, а двойные связи в цис-конфигурации придают жирной кислоте изогнутую конфигурацию. Из-за подобных стерических затруднений ван-дер-ваальсовые взаимодействия между ненасыщенными жирными кислотами слабее, что позволяет им сохранять жидкое состояние при комнатной температуре, и их температуры плавления и затвердевания относительно низки. По мере увеличения числа двойных связей молекула становится все более изогнутой, ван-дер-ваальсовы силы уменьшаются, и температура плавления снижается еще больше. Температура плавления олеиновой кислоты 14 °С, линолевой кислоты – 5 °С, линоленовой кислоты – 11 ° С.

В исследованиях, кроме свежих плодов, использовали следующие гомогенаты: нагретых водяным паром температурой 100 ^{0} С в течение 3 мин и затем охлажденных до 4 °С, а также охлажденных при температуре 4 °С в течение 36 ч. Выделение липидной фракции из образцов гомогенатов осуществляли в разном соотношении гомогенат : смесь, таких как 1:10, 1:15 и 1:20. Экстрагирование липидов проводили в течение 120 мин, жидкую фракцию из смеси отделяли в лабораторной центрифуге при частоте 1000 об/мин в течение 10 мин. Данные вязкости (мПа·с) липидной фракции гомогенатов

тыквы, арбуза, огурца, сладкого перца имели отклонения от усредненного значения 0,4–0,5 %. Поэтому на рис. 1 показаны значения вязкости не для каждого образца, а усредненные для гомогенатов.

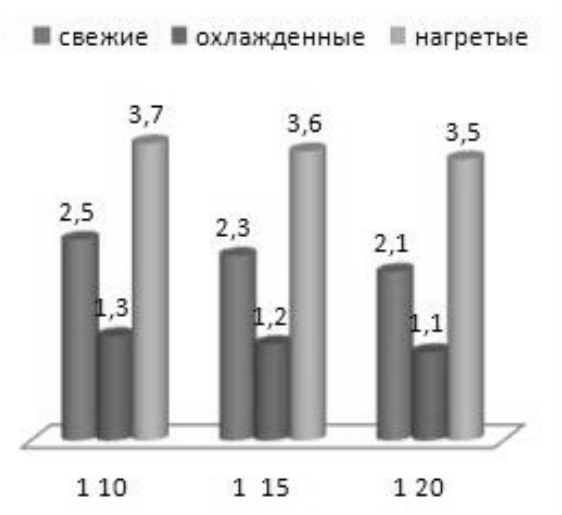

Рис. 1. Вязкость липидной фракции гомогенатов

Средние значения вязкости гомогенатов в охлажденных образцах в среднем в 1,9 раза ниже по сравнению со свежими образцами, в которых предположительно активность десатураз минимальна. В образцах с предварительно нагретыми гомогенатами вязкость липидной фракции становится в 1,6 выше, чем в свежих гомогенатах, вследствие возможного протекания реакции сатурации – преобразования ненасыщенных жирных кислот в насыщенные. Изменение соотношения гомогенат : смесь не отразилось на общих закономерностях изменения вязкости.

Для корреляции между изменениями вязкости липидов сырья, высокой активностью десатураз и образованием двойных связей в ПНЖК сырья необходимо определить изменения йодного числа в образцах. Изменение количества двойных связей в ПНЖК цитоплазматических мембранах моментально атакуется клеточными липоксигеназами. Добавление вещества-протектора, который окислялся бы в первую очередь, до новообразований ПНЖК, позволит определить наличие изменений йодного числа в исследуемых образцах. Эндогенная липоксигеназа окисляет линоленовую кислоту (ЛН) вдвое быстрее, чем линолевую, поэтому в каждый образец добавляли ЛН 1,5 % к массе. Изменение йодного числа сравнивали в свежем сырье, термически обработанном при температуре 100 °С в течение 5 мин, охлажденном при температуре 4 °С в течение 36 час (табл. 1). Йодное число линоленовой кислоты (производитель фирма «Merck»), которую использовали в работе, – 128.

В результате было установлено, что в охлажденных гомогенатах йодное число наиболее высокое и в среднем выше, чем в свежих плодах, на 33 г. Наименьшее значение йодного числа в нагретых образцах, в среднем ниже, чем в свежих, на 20 г. Перекисное число в образцах не определяли, так как липоксигеназа и гидропероксид лиаза (изомераза) так тесно ассоциированы в клеточных лизосомах, что гидроперекиси моментально расщепляются до альдегидов, спиртов, кислот.

Таблица 1

Изменение йодного числа образцов

Гомогенат	Свежий	Нагретый	Охлажденный
Огурец	90	68	125
Перец	95	76	122
Арбуз	82	64	110
Тыква	85	70	115

Синтез аромата «in vitro» в комплексе из подготовленных плодовых гомогенатов и экстракта ферментов отрубей пшеницы предполагает окислительные реакции в фермент-субстратных взаимодействиях. Для мгновенного протекания каскадных ферментативных реакций, приводящих к накоплению ароматических компонентов, необходимо уменьшить лаг-период (фазу задержки). В растениях такую функцию выполняют цитохромная система, суть реакций которой заключается в гидроксилировании вещества типа R-H с использованием одного атома молекулы кислорода. Электроны в синглетном кислороде реагируют с ненасыщенными жирными кислотами в 1500 раз быстрее, чем в случае триплетного кислорода воздуха [11]. При окислении линолеата синглетным кислородом может образовываться четыре различных гидропероксида, различия в локализации гидропероксидной группы дают различные продукты разложения жирных кислот (рис. 2).

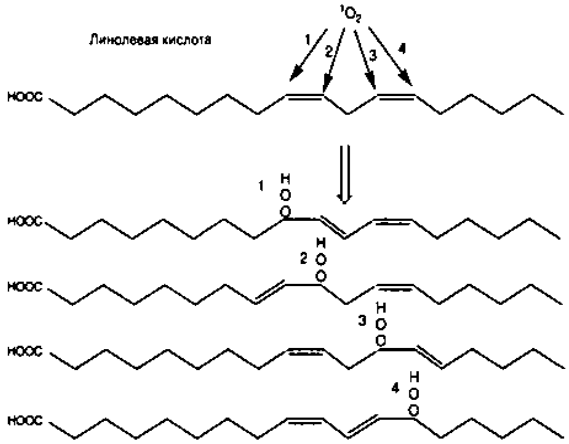

Рис. 2. Образование гидроперекисей в присутствии синглетного кислорода [11]

Синглетный кислород получают в аппаратах МИТ-С или Термомикс ТМ-31-2 с параллельным измельчением плодов. Аппараты предназначены для приготовления синглетно-кислородной смеси (СКС), коктейлей, пенок, активации воды (водных растворов). Это компактное оборудование, требующее минимальных навыков в обслуживании. Введение кислородсодержащих продуктов в рацион профилакториев, пансионатов и санаториев в свое

время стало серьезной инновационной оздоровительной технологией. Энтеральная кислородотерапия применяется в дошкольных и школьных учреждениях, спортивно-оздоровительных комплексах, аптеках, кафе и фитобарах [12].

СКС – это комплекс, одним из составляющих которого является синглетный кислород, другим – пенообразующая смесь (сироп корня солодки, белок перепелиного яйца, сок алоэ), третьим – фитосбор или минеральная вода и четвертым – сок. В данной работе использовали в качестве пенообразователя 2 % водный раствор лецитина (60 %), суспензию ферментов из пшеничных отрубей (10 %) и гомогенаты из охлажденных образцов (30 %) арбузов, огурца, перца и тыквы. Готовили четыре образца с предварительно охлажденными гомогенатами, в пятом и шестом образце использовали термически обработанные гомогенаты тыквы и сладкого перца, в которых запах свежих плодов отсутствует. В седьмом и восьмом – ферменты предварительно инактивировали кипячением экстракта и добавляли охлажденный огуречный гомогенат, тыквенный гомогенат. Оценивали аромат органолептически по окончанию процесса приготовления СКС. Накопление карбонильных соединений свидетельствует о протекании ферментативных гидроксильных процессов (табл. 2).

Таблица 2

Характеристика СКС в аппарате МИТ-С

№	Наименование гомогената	Характеристика аромата	Массовая доля КС (C_6 – C_9), % на 100 г
	СКС: охлажденные гомогенаты и экстракт ферментов		
1	огуречный	огуречный, свежей зелени	0,043
2	сладкого перца	интенсивный сладкого перца	0,066
3	арбузный	арбузный, насыщенный	0,070
4	тыквы	фруктовый, свежей травы	0,055
	СКС: термообработанные гомогенаты и экстракт ферментов		
5	тыквенный	свежей тыквы, флоральные ноты	0,073
6	сладкого перца	зелени, ноты сладкого перца	0,068
	СКС: охлажденные гомогенаты и инактивированные ферменты в экстракте		
7	огуречный	ореховый	0,024
8	тыквенный	злаковый	0,020

В четырех образцах с охлажденными гомогенатами был получен ощутимый органолептически, стойкий армат свежих плодов в пенных гетерогенных системах. Следует особо отметить, что в количественном отношении запах был более интенсивным, чем в исходных гомогенатах. Это связано как с количественно большим значением компонентов запаха, так и с возможностью пены в гетерогенных системах десорбировать аромат в окружающее пространство.

По мере увеличения карбонильных соединений, как в сладком перце и арбузе, запах максимально приближен к сырью, а по мере уменьшения – напоминает его, но имеет ощутимые оттенки. Образовавшиеся шестиуглеродные ароматические альдегиды (гексанали) были отмечены на хроматограммах образцов. Органолептический анализ подтвердил протекание этого процесса появлением аромата свежескошенной травы. В гомогенатах термообработанных прошло восстановление запаха свежей тыквы, свежего перца. Это подтверждает гипотезу, что восстановление аромата – ферментативный процесс, который зависит от наличия в пищевой среде ферментов и предшественников аромата [13]. Инактивация ферментов в экстракте позволила проявить действие огуречных и тыквенных липоксигеназ, приводящих к образованию орехового и злакового запаха.

Для определения роли синглетного кислорода в реакциях синтеза аромата в качестве специфичного прооксиданта пенную гетерогенную систему (ПГС), описанную выше, готовили в миксере Fillips. В этом случае в реакциях будет участвовать триплетный кислорода воздуха. В миксере Fillips проведены параллельные исследования с образцами, использованными в аппарате МИТ-С (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика ПГС в миксере Fillips

№	Наименование гомогената	Характеристика аромата	Массовая доля КС (C_6 – C_9), % на 100 г
	ПГС: охлажденные гомогенаты и экстракт ферментов		
1	огуречный	травяной, огуречные ноты	0,034
2	сладкого перца	слабый сладкого перца	0,045
3	арбузный	сладкий, тыквенный	0,045
4	тыквы	кабачковый	0,037
	ПГС:термообработанные гомогенаты и экстракт ферментов		
5	тыквенный	слабый овощной	0,030
6	сладкого перца	слабый зелени	0,025
	ПГС: охлажденные гомогенаты и инактивированные ферменты в экстракте		
7	огуречный	едва уловимый	0,010
8	тыквенный	слабо тыквенный	0,012

В ПГС с плодовыми гомогенатами ароматы были менее выражены и меньше соответствовали свежему сырью. Количество карбонильных соединений в 1,5–1,7 раз меньше, чем в аппарате с синглетным кислородом. В термообработанном гомогенате ощутимость восстановленных запахов была достаточно слабой. Действие огуречных и тыквенных липоксигеназ в образце с инактивированными ферментами в экстракте не проявилось. Это можно объяснить тем, что в случае использования неочищенных ферментов необходимо использовать поверхностно-активные вещества, мицеллярные растворы, вызывающие изменения в доступности этих ферментов для проведения реакций. Таким образом, ПГС, полученные в миксере, отличались от синглетно-кислородных менее интенсивным и привлекательным ароматом.

Известно, что карбонильные соединения прочно удерживаются в пищевой матрице. Это является большим препятствием для ощущения восстановленного запаха. Поэтому гетерогенная система в виде пены дает возможность в полной мере ощутить степень восстановления аромата, его интенсивность, не прибегая к сложным процедурам анализа – хроматографическим, масс-спектрометрическим и др. Добавление пищевых фиксаторов-биополимеров в ароматизированные пены, например, желатина или крахмала, позволит стабилизировать их, но этот процесс требует дальнейшего изучения [14].

Выводы

Образование аромата зависит от направления и скорости протекания ферментативных реакций в системе. Большинство эффектов таких реакций видно по образованию насыщенных и ненасыщенных C_6–C_9 кетонов и альдегидов, которые являются типичными соединениями свежего запаха и не присутствуют в неокисленных субстратах. Изменение вязкости липидной фракции охлажденных растительных гомогенатов, йодного числа и, как следствие, образование аромата в пенной гетерогенной системе, указывает на возможное протекание реакций с участием ферментов десатураз. Триглицериды жирных кислот в клетках растительных тканей очень тонко диспергированы, вследствие чего они на очень большой поверхности соприкасаются с ферментами, которые инициируют реакции не только образования аромата, но и его восстановление в термообработанных субстратах. Участие синглетного кислорода и перспективы его использования в окислительных ферментативных реакциях показаны в системе ферментов отрубей пшеницы, огуречных гомогенатов и субстрата плодовых гомогенатов после нагревания или охлаждения.

Список литературы

1. Deibler K.D., Delwiche J., M. Handbook of flavor Characterization Sensory Analysis, Chemistry, and Physiology.: Marcel Dekker, New York, 2004. – 515 p.

2. Nativ Dudai, Faith C. Belanger R. Aroma as a factor in the breeding process of fresh herbs – the case of basil. In Havkin-Frenkel D., Belanger F.C. (Ed.), Biotechnology in Flavor Production.: Blackwell Publishing, 2008. – P.118–130.

3. Reineccius G. Flavor chemistry and technology – 2nd ed.: Taylor & Francis Group, 2006. – 485 p.

4. Тарчевский, И.А. Процессы деградации у растений / И.А. Тарчевский // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № (1996): 13–19.

5. Дубова, Г.Е. Особенности технологии пищевой ароматизированной соли / Г.Е. Дубова, А.Т. Безусов, О.И. Мельник // Научные труды ОНАПТ. – Одеса, 2013. – Вып. 44., Т. 2 – С. 33–38.

6. C. Zhang, S. Tian. Peach fruit acquired tolerance to low temperature stress by accumulation of linolenic acid and N-acylphosphatidylethanolamine in plasma membrane // Food Chemistry 120 (2010). – P. 864–872.

7. Los, D.A., Mironov, K.S., & Allakhverdiev, S.I. (2013). Regulatory role of membrane fluidity in gene expression and physiological functions. Photosynthesis research, 1–21.

8. Wang, C., Chin, C. K., Ho, C. T., Hwang, C. F., Polashock, J. J., & Martin, C. E. (1996). Changes of fatty acids and fatty acid-derived flavor compounds by expressing the yeast Δ-9 desaturase gene in tomato. Journal of agricultural and food chemistry, 44(10), 3399-3402.

9. Безусов, А.Т. Выделение и очистка липазы из зародышей пшеницы / А.Т. Безусов, З.Ю. Средницкая, Е.А. Рамадан Хассан // Зерновые продукты и комбикорма. – 2007. – № 4. – С. 11–14.

10. Пат. 78188 Украіна, МПК G01N 33/48. Спосіб визначення карбонільних сполук в паровій фазі харчового продукту / Дубова Г.Е., Овчинікова С.О. – № 201210608; заявл.10.09.12; опубл. 11.03.13, Бюл. № 5.

11. Damodaran, S., & Parkin, K. L. (Eds.). (2008). Fennema's food chemistry (Vol. 4). Boca Raton, FL: CRC press.

12. Климова, Е.А. Инновационные технологии энтеральной оксигентерапии / Е.А. Климова, А.А. Родионов, М.М. Байков // Сервис в России и за рубежом, 2013 – 5(43). – С. 23–29.

13. Дубова, Г.Е. Научные основы восстановления естественных ароматов в пищевых продуктах / Г.Е. Дубова, А.Т. Безусов // Научные труды ОНАХТ. – Одесса, 2012. – Вып. 42., Т. 2 – С. 33–38.

14. Просеков, А.Ю. Роль межфазных поверхностных явлений в производстве дисперсных продуктов с пенной структурой (обзор) / А.Ю. Просеков // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2001. – № 4. – С. 37–40.

Полтавский университет экономики и торговли,
36014 , Украина, г. Полтава, ул. Коваля, 3.
Тел. (05322) 2-15-85,
email: gdubova@mail.ru

Одесская национальная академия пищевых технологий,
Украина, г. Одесса, ул. Канатная, 112.
Тел. (048) 712-41-16,
e-mail: anatoliy.bezusov@gmail.ru

SUMMARY

G.E. Dubova, A.T. Bezysov

THE PROSPECTS FOR THE USE OF SINGLET OXYGEN IN FLAVOR FORMATION REACTIONS

The present article proposes a novel approach to the synthesis of flavors in a heterogeneous foam system containing a complex of prepared fruit homogenates and wheat bran enzyme extract. In order to support this approach, the authors studied changes in viscosity of the lipid fraction of homogenates and iodine value considered as a factor of potential enzyme activity. The results of experiments demonstrate that the average viscosity of homogenates in refrigerated samples is 1.9 times lower than that of the fresh samples. However, the refrigerated sample contains the highest iodine value. The articles discusses the role of enzymes from plant raw materials in oxidation of polyunsaturated fatty acids (PUFAs) of cell membranes, as well as preconditioning methods that create optimum conditions for flavor formation in fruits. Further, this study describes the role of singlet oxygen in reduction of lag period of oxidative deterioration of PUFAs as well as in intensification of flavor in foams. The study results show that the amount of carbonyl compounds was reduced by 1.5-1.7 times when fruit homogenates were oxidized with triplet oxygen compared to oxidation with singlet oxygen. The article provides the data on the accumulation of carbonyl compounds in the samples. These are compounds of fresh flavors and they are not present in the oxidized substrates. Finally, this study asserts that formation and recovery of flavors depend upon the direction and rate of enzymatic reactions as well as the presence of isomeric forms of PUFAs and the energy needed for the reactions. It has been established that the initiation of oxidation reaction can result in flavor restoration in heat-treated substrates of pumpkin and sweet pepper. The inactivation of enzymes in wheat bran extract supports the effect of the cucumber and pumpkin lipoxygenase on nut and cereal flavor formation in the system. The experiments show that foam systems make maximum volatilization of flavor compounds into the environment and their intensity perception possible.

PUFA, homogenate, oxidation, flavor, enzyme, lipids, foam.

REFERENCES

1. Deibler K.D., Delwiche J.M. *Handbook of flavor Characterization Sensory Analysis, Chemistry, and Physiology*. Marcel Dekker, New York, 2004. 515 p.
2. Nativ Dudai, Faith C. Belanger. Aroma as a factor in the breeding process of fresh herbs – the case of basil. *Biotechnology in Flavor Production*, 2008, pp.161-168. doi: 10.1002/9781444302493.ch8.
3. Reineccius G. *Flavor chemistry and technology (2nd ed.)*, Taylor & Francis Group, 2006. 485 p.
4. Tarchevskiy I.A. Protsessy degradatsii u rasteniy [Degradation processes in plants]. *Soros Educational Journal*, 1996, pp. 13-19.
5. Dubova G.E., Bezusov A.T., Mel'nik O.I. Osobennosti tekhnologii pishchevoy aromatizirovannoy soli [Technology features food flavored salt]. *Naukovi pratsi ONAKHT* [Scientific works ONAFT], 2013, vol.44, no. 2, pp. 33-38.
6. Zhang C., Tian S. Peach fruit acquired tolerance to low temperature stress by accumulation of linolenic acid and N-acylphosphatidylethanolamine in plasma membrane. *Food Chemistry*, 2010, vol. 120, no. 3, pp. 864–872.
7. Los D.A., Mironov K.S., Allakhverdiev S.I. Regulatory role of membrane fluidity in gene expression and physiological functions. *Photosynthesis research*, 2013, vol. 116, no. 2-3, pp. 489-509.
8. Wang C., Chin C.K., Ho C.T., Hwang C.F., Polashock J.J., Martin, C.E. Changes of fatty acids and fatty acid-derived flavor compounds by expressing the yeast Δ-9 desaturase gene in tomato. *Journal of agricultural and food chemistry*, 1996, vol. 44, no. 10, pp. 3399-3402.
9. Bezusov A.T., Srednitskaya Z.Yu., Khassan E.A. Ramadan Vydelenie i ochistka lipazy iz zarodyshey pshenitsy [Isolation and purification of lipase from wheat germ]. *Cereals and feed*, 2007, no 4, pp. 11-14.
10. Dubova G.E., Ovchinikova S.O. *Sposob viznachennya karbonil'nikh spoluk v paroviy fazi kharchovogo produktu* [Method for determination of carbonyl compounds in the vapor phase of the food]. Patent UA, no. u 201210608, 2013.
11. Damodaran S., Parkin K. L. *Fennema's food chemistry (Vol. 4)*. Boca Raton, FL: CRC press, 2008,
12. Klimova E.A., Rodionov A.A., Baykov M.M. Innovatsionnye tekhnologii enteral"noy oksigenterapii [Innovative technologies enteric oksigenterapii]. *Services in Russia and abroad*, 2013, no. 5 (43) , pp. 23-29.
13. Dubova G.E., Bezusov A.T. Nauchnye osnovy vosstanovleniya estestvennykh aromatov v pishchevykh produktakh [Scientific bases of restoration of natural flavors in foods]. *Nauchnye trudy ONAKHT* [Scientific works ONAFT], 2012, vol. 42. no. 2, pp.33-38.
14. Prosekov A.Yu. Rol' mezhfaznykh poverkhnostnykh yavleniy v proizvodstve dispersnykh produktov s pennoy strukturoy (obzor) [The role of interfacial phenomena in the production of the particulate products with a foamy structure (review)]. *Agricultural Commodities Storage and Processing*, 2001, no. 4. pp. 37–40.

Poltava University of Economics and Trade,
3 Koval str., Poltava, 36014 Ukraine.
Phone (05322) 2-15-85,
e-mail: gdubova@mail.ru

Odessa National Academy of Food Technologies,
112, Canatnay St, Odessa, 65039, Ukraine.
Phone (048) 712-41-16,
e-mail: anatoliy.bezusov@gmail.ru

Дата поступления: 15.05.2014