

УДК 577.13: 544.02: 633.88

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СОСТАВ ЛИПИДНОГО КОМПОНЕНТА ЧЕСНОКА ОЗИМОГО (*ALLIUM SATIVUM* L.)

© Л.Н. Шишкина, А.С. Дубовик, А.Н. Смирнова, В.О. Швыдкий*

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, ул. Косыгина, 4,
Москва, 119334 (Россия), e-mail: slavuta58@gmail.com

Изучены состав липидов, наличие биологически активных веществ и способность липидов к спонтанной агрегации в водной среде озимого чеснока (*Allium sativum* L.), используя методы ТСХ, УФ-спектрометрии с математической обработкой спектров по Гауссу и динамическое рассеяние света. Показано, что в составе фосфолипидов чеснока суммарная доля более легкоокисляемых фракций в 2.45 раза выше, чем более трудноокисляемых фракций. Математическая обработка УФ-спектров раствора липидов в хлороформе выявила наличие соединений с сопряженными двойными связями и кетодиенов и подтвердила данные литературы об отсутствии флавоноидов. Гидрофильные биологически активные соединения в процессе выделения липидов остаются в полярной фазе. Проанализирован УФ-спектр в хлороформе присутствующего в липидах чеснока 20-гидроксиэйдизона. Обнаружен существенный сдвиг максимума его полосы поглощения в УФ-спектре липидов чеснока, что свидетельствует об участии растительных стероидов в образовании рафтов и обуславливает формирование липидами чеснока в водной среде частиц со средним диаметром 160 нм и низкой абсолютной величиной ζ -потенциала.

Ключевые слова: липиды, состав, УФ-спектрометрия, метод Гаусса, динамическое рассеяние света, биологически активные вещества.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН (тема 44.4, гос. №0084-2019-0014).

Введение

Растения рода *Allium* широко используются человеком как пищевой продукт и традиционное антисептическое средство. Предполагается, что в составе растений содержится до 2000 биологически активных веществ (БАВ), среди которых сапонины, алкалоиды, жиры, гликозиды, стероиды, флавоноиды, микроэлементы. Это, как полагают, и обуславливает широкий спектр биологической и фармакологической активности чеснока и его компонентов [1, 2]. Наиболее широко в составе чеснока представлены серосодержащие органические соединения на основе цистеина, сапонины, сульфоксиды, однако были обнаружены и такие БАВ, как кверцетин, витамин С, сахара [1–3]. При этом в эфирном масле разных сортов чеснока найдены только сапонины, жирные кислоты и их эфиры [4].

Разнообразие биологической активности компонентов растений обычно связывают с наличием анти-

Шишкина Людмила Николаевна – доктор химических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующая лабораторией,
e-mail: shishkina@sky.chph.ras.ru

Дубовик Александр Сергеевич – кандидат химических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: adubovik@ineos.ac.ru

Смирнова Александра Николаевна – младший научный сотрудник, e-mail: sana-bosanya@yandex.ru

Швыдкий Вячеслав Олегович – кандидат химических наук, старший научный сотрудник,
e-mail: slavuta58@gmail.com

окислительных свойств их БАВ [5–7], поскольку процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) играют важную роль в регуляции метаболизма в любых биологических системах. Основным субстратом окисления в этих процессах являются фосфолипиды (ФЛ), одни из главных структурных компонентов мембран. Однако детальному изучению состава ФЛ растений начали уделять внимание лишь в последние годы [8–12].

* Автор, с которым следует вести переписку.

При этом в литературе имеются лишь единичные исследования состава липидов чеснока [13], в которых основное внимание уделено изучению жирнокислотного состава разных групп липидов. В модельных экспериментах установлено, что антиоксидантная активность природных БАВ существенно зависит от их способности образовывать комплексы с ФЛ и встраиваться в структуру мембран [14–16].

В связи с изложенным цель данной работы – изучить состав липидов, наличие БАВ, их распределение в процессе выделения липидов в зависимости от полярности элюента и физико-химические свойства липидов головок чеснока озимого (*Allium sativum* L.).

Экспериментальная часть

Липиды выделяли из очищенных зубков озимого чеснока (*Allium sativum* L.), выращенного в Подмосковье, спустя 3.5 месяца после уборки урожая. Очищенные зубки размельчали с помощью ручного пресса для чеснока и экстрагировали липиды в соответствии с методом Фолча в модификации Кейтса [17].

Качественный состав ФЛ анализировали методом ТСХ, используя силикагель типа Н «Sigma» (USA), стеклянные пластинки размером 90×120 мм и смесь хлороформ : метанол : ледяная уксусная кислота : дистиллированная вода в объемном соотношении 12.5 : 7.5 : 2 : 1 в качестве мобильной фазы [18]. Проявление хроматограмм проводили в парах йода. Количественный анализ состава ФЛ после удаления пятен с пластинки и сжигания до неорганического фосфата (Р) 65%-ной хлорной кислотой проводили на спектрофотометре ПЭ-5400-ВИ (группа компаний «ЭКРОС», Россия) при длине волны 815 нм по образованию фосфорномолибденового комплекса в присутствии аскорбиновой кислоты. Методические подробности анализа состава ФЛ приведены в работе [19]. Для пробы анализировали не менее 5 хроматографических дорожек. Содержание стерина в составе липидов определяли спектрофотометрически по методу [20] при длине волны 625 нм.

Оценивали также следующие обобщенные показатели состава ФЛ: доли ФЛ (%) и стерина (%) в составе общих липидов, соотношение ФХ/ФЭ, мольное отношение [стерин]/[ФЛ] и соотношение сумм более легкоокисляемых и более трудноокисляемых фракций ФЛ ($\sum \text{ЛОФЛ} / \sum \text{ТОФЛ}$), Последнее вычисляли по формуле: $(\text{ФИ} + \text{ФС} + \text{ФЭ} + \text{КЛ} + \text{ФК}) / (\text{ЛФХ} + \text{СЛ} + \text{ФХ})$, где ФИ – фосфатидилинозит, ФС – фосфатидилсерин, ФЭ – фосфатидилэтаноламин, КЛ – кардиолипин, ФК – фосфатидная кислота, ЛФХ – лизоформы ФЛ, СЛ – сфинголипиды, ФХ – фосфатидилхолин [21].

УФ-спектры хлороформных растворов липидов и растительного стерина 20-гидроксиэджидизона, а также оставшегося после экстракции липидов водно-метанольного слоя регистрировали на спектрофотометре «Shimadzu UV-1700 PharmaSpec» (Shimadzu, Япония) в диапазоне длин волн от 200 до 500 нм. УФ-спектры подвергали математической обработке по методу Гаусса, используя программу Excel solver, путем минимизации суммы квадратов разности между экспериментальным и расчетным спектрами после аппроксимации на уровне $1 \times 10^{-3} - 1 \times 10^{-4}$.

Размер частиц, сформированных липидами чеснока в дистиллированной воде, и их ξ -потенциал измеряли методом динамического рассеяния света, используя прибор Malvern Zetasizer Nano-ZS analyzer (Malvern Instruments Ltd., UK), снабженный He – Ne лазером (мощность – 4 мВ, длина волны – 633 нм) и автоматической программой обработки данных. Измерения проводили в кюветах размером 10×10 мм при 25 °С, угол 173°.

Измерения пробы повторяли 8 раз. Экспериментальные данные обрабатывали стандартными статистическими методами, используя программный продукт MS Excel, и с помощью пакета компьютерных программ KINS [22].

Обсуждение результатов

Первым этапом работы явилось изучение состава липидов чеснока. Обнаружено, что в составе общих липидов чеснока доля ФЛ невелика и равна $10.1 \pm 1.3\%$ (n=19), а $7.2 \pm 0.7\%$ (n=2) составляют стерины.

Результаты количественного соотношения фракций ФЛ представлены в таблице.

Количественное соотношение фракций фосфолипидов в липидах чеснока

Фракция ФЛ	Лизоформы ФЛ	СЛ	ФХ	ФИ	ФС	ФЭ	КЛ+ФК
%P (n*=15)	2.48±0.53	6.65±0.75	20.1±1.8	8.60±0.60	24.1±0.9	14.8±2.0	23.30±1.55

*n – число хроматографических дорожек.

Анализ представленных данных позволяет заключить, что в ФЛ чеснока содержится высокая доля таких функционально важных ФЛ, как ФС, КЛ и ФК [9, 10], что ранее было выявлено и в составе ФЛ других изученных растительных объектов [11, 12]. При этом относительное содержание ФХ и ФЭ, являющихся основными фракциями в составе ФЛ в тканях млекопитающих, в ФЛ чеснока существенно меньше (табл.).

Важными характеристиками свойств липидного компонента биологических объектов являются такие обобщенные показатели состава липидов, как соотношение сумм более легко- и более трудноокисляемых фракций ФЛ ($\Sigma\text{ЛОФЛ}/\Sigma\text{ТОФЛ}$), взаимосвязанное с окисляемостью липидов, а также отношения ФХ/ФЭ и мольное отношение [стерины]/[ФЛ], свидетельствующие о структурном состоянии его мембранной системы [21]. Обнаружено, что величина $\Sigma\text{ЛОФЛ}/\Sigma\text{ТОФЛ}$ в липидах чеснока равна 2.45 ± 0.14 ($n=5$), что свидетельствует о высокой способности липидов чеснока к окислению. Близкие значения окисляемости липидов ранее были выявлены и для липидов, выделенных из листьев и сока Алоэ древовидного 7-летнего возраста [12], в то время как доля более легкоокисляемых фракций ФЛ в липидах, выделенных из цветков календулы и плодов облепихи, существенно ниже [11]. Мольные отношения [стерины]/[ФЛ] в липидах чеснока равно 1.10 ± 0.16 ($n=2$), что в 2.2–2.6 раза ниже, чем в липидах из листьев и сока Алоэ, вследствие достоверно более высокой доли стеринов в составе липидов Алоэ [12]. Это предполагает, что структурированность мембранной системы липидов чеснока является менее жесткой по сравнению с липидами из растений Алоэ. Более низкое отношение ФХ/ФЭ в составе ФЛ чеснока (1.37 ± 0.01 , $n=5$) относительно аналогичной величины для ФЛ листьев Алоэ [12] также подтверждает это предположение.

Для выявления природы БАВ, экстрагируемых вместе с липидами в процессе выделения, и их распределения в зависимости от полярности элюента был использован анализ УФ-спектров хлороформных растворов липидов чеснока и водно-метанольных слоев с помощью метода Гаусса.

Известно, что при использовании хлороформа как растворителя для УФ-спектрометрии границы его применимости находятся в области $\lambda \geq 240$ нм. Поэтому анализ хлороформного раствора липидов чеснока позволяет выявить наличие в нем гидрофобных БАВ, которые характеризуются более высокими максимумами длин волн полос поглощения. Представленный на рисунке 1 УФ-спектр хлороформного раствора липидов чеснока и его гауссианы свидетельствует как о наличии липидов, так и об отсутствии в липидном компоненте чеснока флавоноидов, что соответствует данным работы [4].

При этом максимум полосы поглощения при $\lambda=237$ нм подтверждает наличие в составе липидов чеснока соединений с сопряженными двойными связями, для которых характерна высокая реакционная способность в окислительных процессах [23]. Максимум полосы поглощения при $\lambda=266$ нм свидетельствует о наличии в липидах чеснока кетодиенов, которые присутствуют в составе более легкоокисляемых фракций ФЛ любых биологических объектов. Поскольку среди стеринов чеснока обнаружен 20-гидроксиэкдизон [24], в работе был проанализирован его УФ-спектр в хлороформе (рис. 2). Выявлено, что УФ-спектр этого растительного стерина в хлороформе имеет практически одну интенсивную полосу поглощения при $\lambda=246.5$ нм.

Сдвиг максимума этой полосы поглощения 20-гидроксиэкдизона от 246.5 нм к 257 нм в липидах чеснока (рис. 1), очевидно, обусловлен способностью стеринов встраиваться в жирнокислотный бислой мембран и образовывать со сфинголипидами рафты [8]. Образование таких микродоменов оказывает существенное влияние на структурное состояние мембран.

Анализ УФ-спектра водно-метанольного слоя и его гауссиан (рис. 3) свидетельствует о том, что гидрофильные БАВ чеснока в процессе экстракции липидов концентрируются в полярной фазе. Это следует из наличия выявленных максимумов полос поглощения в области длин волн от 195 нм до 204 нм, которые характерны для серосодержащих органических соединений, широко представленных среди БАВ чеснока [1].

Поскольку липиды являются поверхностно-активными веществами, то они в полярных и неполярных системах образуют мицеллы, размер и дзета-потенциал которых зависит от концентрации стеринов [25]. Это было показано на примере синтетических ФЛ, в то время как аналогичные исследования на природных липидах пока единичны [26, 27]. Липиды чеснока в дистиллированной воде также способны к спонтанной агрегации, при этом $86.7 \pm 6.1\%$ ($n=8$) сформированных ими частиц имеет средний диаметр (d) 160 ± 20 нм ($n=8$) (рис. 4).

Размер частиц из липидов чеснока в 3.5–6.6 раза меньше аналогичного показателя для частиц, сформированных липидами из листьев и сока Алоэ 2-летнего возраста [27]. Как уже отмечалось выше, липиды растений рода Алоэ характеризуются более высокими значениями отношения [стерины]/[ФЛ]. Величина ζ -потенциала частиц из липидов чеснока равна -25.8 ± 1.2 мВ ($n=8$), что также достоверно отличается от аналогичных значений, ранее полученных для частиц из липидов листьев и сока Алоэ [27].

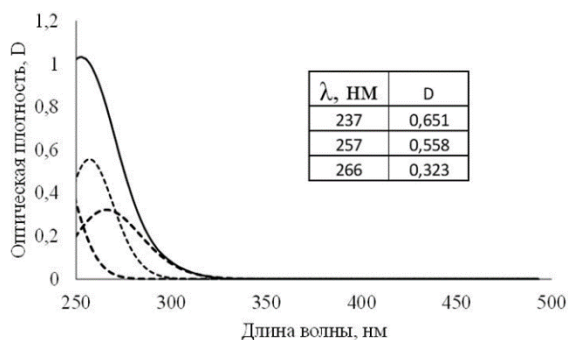


Рис. 1. УФ-спектр хлороформного раствора липидов чеснока озимого и его гауссианы. Концентрация липидов 1.17×10^{-3} М. Сплошная линия – исходный и расчетный спектры

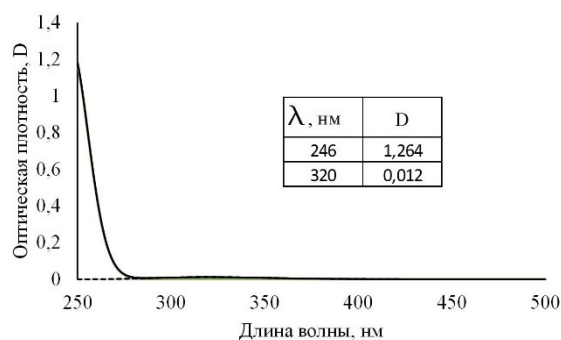


Рис. 2. УФ-спектр 20-гидроксиэкдизона в хлороформе, концентрация 7×10^{-4} М. На легенде представлены его гауссианы

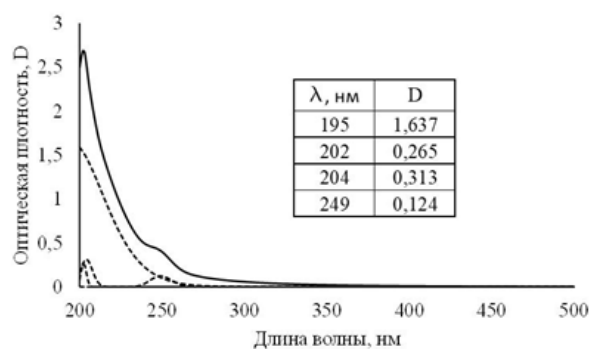


Рис. 3. УФ-спектр водно-метального слоя после отделения хлороформного раствора липидов чеснока и его гауссианы. Разбавление в 12 раз. Сплошная линия – исходный и расчетный спектры

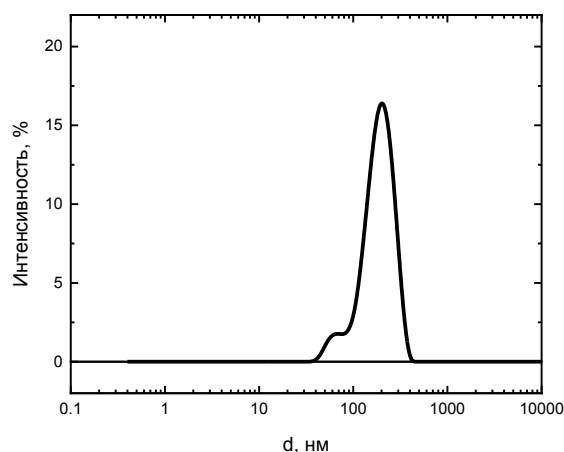


Рис. 4. Кривые распределения размеров наночастиц липидов чеснока по интенсивности в дистиллированной воде. Концентрация липидов 4.3×10^{-5} М

Выводы

1. Определен состав липидов и количественное соотношение фракций ФЛ чеснока озимого. Выявлено, что доля более легкоокисляемых фракций ФЛ в 2.45 раза превышает долю более трудноокисляемых фракций.
2. Математическая обработка УФ-спектров хлороформных растворов липидов показала присутствие в них преимущественно липидов, содержащих сопряженные двойные связи и кетодиены, и отсутствие гидрофобных БАВ, в том числе флавоноидов.
3. Обнаружено, что гидрофильные серосодержащие БАВ чеснока в процессе экстракции липидов остаются в полярной фазе.
4. Существенный сдвиг максимума полосы поглощения 20-гидроксиэкдизона в составе липидов чеснока свидетельствует об образовании в мембранах рафтов с участием стерина и сфинголипидов, что обуславливает формирование липидами чеснока в водной среде достаточно мелких частиц с низкой по абсолютной величине ξ -потенциала.

Список литературы

1. Yun H.-M., Ban J.O., Park K.-R., Lee C.K., Jeong H.-S., Hzn S.B., Hong J.T. Potential therapeutic effects of functional active compounds isolated from garlic // *Pharmacology & Therapeutics*. 2014. Vol. 142. Pp. 183–195. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2013.12.005.
2. Batiha G.-El-S., Beshbishu A.M., Wasef L.G., Elewa Y.H.A., Al-Sagan A.A., El-Hack M.E.A., Taha A.E., Abd-Elhakim Y.M., Devkota H.P. Chemical Constituents and Pharmacological Activities of Garlic (*Allium sativum* L.): A Review // *Nutrients*. 2020. Vol. 12. Pp. 872–893. DOI: 10.3390/nu12030872.
3. Столбова Т.М., Малыхина О.В., Жаркова С.В. Элементы урожайности и биохимический состав лукович чеснока озимого в зависимости от условий вегетации // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018. №12(170). С. 11–16. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11596.
4. Boukeria S., Kadi K., Kalleb R., Benbott A., Yahia A. Phytochemical and physicochemical characterization of *Allium sativum* L. and *Allium cepa* L. Essential oils // *J. Mater. Environ. Sci.* 2016. Vol. 7. Pp. 2362–2368.
5. Gupta V.K., Charma S.K. Plants as natural Antioxidants // *Natural Product Radiance*. 2006. Vol. 5. N4. Pp. 326–334.
6. Bozin B., Mimica-Dukic N., Samojlik I., Goran A., Igc R. Phenolics as antioxidants in garlic (*Allium sativum* L., Alliaceae) // *Food Chemistry*. 2008. Vol. 111. Pp. 925–929. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.04.071.
7. Семенов А.А., Карцев В.Г. Биологическая активность природных соединений. М., 2012. 513 с.
8. Casas J.-L., Furt F., Le Guédard M., Schmitter J.-M., Buré C., Gerbeau-Pissot P., Moreau P., Bessoule J.-J., Simon-Plas F., Mongrand S. Lipids of plant membrane rafts // *Progress in Lipid Research*. 2012. Vol. 51. Pp. 272–299. DOI: 10.1016/j.plipres.2012.04.001.
9. Nakamura Yu. Plant Phospholipid Diversity: Emerging Functions in Metabolism and Protein–Lipid Interactions // *Trends in Plant Science*. 2017. Vol. 22. N12. Pp. 1027–1040. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.09.002.
10. Cassim A.M., Gouguet P., Gronnier J., Laurent N., Germain V., Grison M., Boutté Y., Gerbeau-Pissot P., Simon-Plas F., Mongrand S. Plant lipids: Key players of plasma membrane organization and function // *Progress in Lipid Research*. 2019. Vol. 73. Pp. 1–27. DOI: 10.1016/j.plipres.2018.11.002.
11. Смирнова А.Н., Швыдкий В.О., Шишкина Л.Н. Физико-химические свойства и состав липидов цветков календулы и плодов облепихи // *Химическая физика*. 2021. Т. 40. №7. С. 43–48. DOI: 10.31857/S0207401X21070104.
12. Смирнова А.Н., Мазалецкая Л.И., Швыдкий В.О. Шишкина Л.Н. Состав и физико-химические свойства липидов из листьев и сока алоэ древовидного (*Aloe arborescens* Mill.) // *Химия растительного сырья*. 2021. №4. С. 193–198. DOI: 10.14258/jcprm.2021049745.
13. Kamanna V.S. Chandrasekhara N. Lipid composition of Garlic // *Fette Seifen Anstrichmittel*. 1986. Vol. 88. N4. Pp. 136–139. DOI: 10.1002/lipi.19860880405.
14. Xu K., Liu B., Ma Yu., Du Ji., Li G., Gao H. Zhang Yu., Ning Zh. Physicochemical Properties and Antioxidant Activities of Luteolin-Phospholipid Complex // *Molecules*. 2009. Vol. 14. Pp. 3486–3493. DOI: 10.3390/molecules14093486.
15. Мазалецкая Л.И., Шелудченко Н.И., Шишкина Л.Н. Влияние лецитина на эффективность антиоксидантного действия флавоноидов и α -токоферола // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2010. Т. 46. №2. С. 148–152.
16. Leite N.B., Martins D.B., Alvares D.A., Cabrera M.P.S. Quercetin induced lipid domain-dependent permeability // *Chemistry and Physics of Lipids*. 2022. Vol. 242. 105160. DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2021.105160.
17. Кейтс М. Техника липидологии. М., 1975. 322 с.
18. Биологические мембраны: методы / под ред. Дж.Б.С. Финдлея, В.Х. Эванза. М., 1990. 423 с.
19. Shishkina L.N., Kushnirva Ye.V., Smotryaeva M.A. The combined effect of surfactant and acute irradiation at low dose on lipid peroxidation in tissues and DNA content in blood plasma of mice // *Oxidation Commun*. 2001. Vol. 24. Pp. 276–286.
20. Sperry W.M., Webb M. A revision of the schoenhemier-sperry method for cholesterol determination // *J. Biol. Chemistry*. 1950. Vol. 187. Pp. 97–106.
21. Шишкина Л.Н., Кушнирева Е.В., Смотряева М.А. Новые подходы к оценке биологических последствий воздействия радиации в малых дозах // *Радиационная биология. Радиозология*. 2004. Т. 44. №3. С. 289–295.
22. Брин Э.Ф., Травин С.О. Моделирование механизмов химических реакций // *Химическая физика*. 1991. Т. 10. №6. С. 830–837.
23. Касаикина О.Т. Окисление полиеновых углеводов // *Химическая физика*. 1995. Т. 14. №10. С. 72–85.
24. Фитоэксдистериоды / ред. В.В. Володин. СПб., 2003. 293 с.
25. Mosca M., Ceglie A., Ambrosone L. Effect of membrane composition on lipid oxidation in liposomes // *Chemistry and Physics of Lipids*. 2011. Vol. 164. Pp. 158–165. DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2010.12.006.
26. Пальмина Н.П., Мальцева Е.Л., Бинюков В.И., Каспаров В.В., Антипова А.С., Семенова М.Г. Структурное состояние свободных и инкапсулированных биополимерами липосом из фосфатидилхолина в отсутствие и в присутствии растительных антиоксидантов // *Биофизика*. 2018. Т. 63. №1. С. 78–85.
27. Шишкина Л.Н., Смирнова А.Н., Мазалецкая Л.И., Дубовик А.С., Швыдкий В.О. Взаимосвязь физико-химических свойств с составом липидов из листьев и сока Алоэ древовидного // *Актуальные вопросы биологической физики и химии*. 2021. Т. 6. №1. С. 148–153.

Поступила в редакцию 29 апреля 2022 г.

После переработки 31 мая 2022 г.

Принята к публикации 10 ноября 2022 г.

Для цитирования: Шишкина Л.Н., Дубовик А.С., Смирнова А.Н., Швыдкий В.О. Физико-химические свойства и состав липидного компонента чеснока озимого (*Allium sativum* L.) // *Химия растительного сырья*. 2023. №1. С. 193–198. DOI: 10.14258/jcprm.20230111334.

*Shishkina L.N., Dubovik A.S., Smirnova A.N., Shvydkii V.O.** PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES AND COMPOSITION OF LIPID COMPONENT FROM WINTER GARLIC BULBS (*ALLIUM SATIVUM* L.)

Emanuel Institute of Biochemical Physics of Russian Academy of Sciences, ul. Kosygina, 4, Moscow, 119334 (Russia), e-mail: slavuta58@gmail.com

The lipid composition, presence of the biologically active substances and ability of lipids to the spontaneous aggregation in the water medium of the winter garlic (*Allium sativum* L.) was studied by TLC, UV-spectrometry with the Gauss mathematic analysis of spectra and dynamic light scattering methods. It is shown that share of the more easily oxidizable fractions in the garlic phospholipids is 2.45 times greater than that for the more poorly oxidizable fractions. Mathematic analysis of the UV-spectra of the lipids solution in chloroform revealed the presence of compounds with a conjugated couple bonds and ketodienes and confirmed the literature data about absence of flavonoids. The hydrophilic biologically active compounds are found in a polar phase during extraction of lipids. Analysis of UV-spectrum of 20-hydroxyecdizone in chloroform which is detected in the garlic lipids was done. It was determined the substantial maximum absorption band shift of sterols in UV-spectra of the garlic lipids testifies to their participation with sphingolipids in the raft formation that is due to form of particles with the average diameters 160 nm and the low absolute value of ξ -potential from the garlic lipids in the water medium.

Keywords: lipids, composition, UV-spectrometry, Gauss method, dynamic light scattering, biologically active substances.

References

1. Yun H.-M., Ban J.O., Park K.-R., Lee C.K., Jeong H.-S., Hzn S.B., Hong J.T. *Pharmacology & Therapeutics*, 2014, vol. 142, pp. 183–195. DOI: 10.1016/j.pharmthera.2013.12.005.
2. Batiha G.-El-S., Beshbishu A.M., Wasef L.G., Elewa Y.H.A., Al-Sagan A.A., El-Hack M.E.A., Taha A.E., Abd-Elhakim Y.M., Devkota H.P. *Nutrients*, 2020, vol. 12, pp. 872–893. DOI: 10.3390/nu12030872.
3. Stolbova T.M., Malykhina O.V., Zharkova S.V. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2018, no. 12(170), pp. 11–16. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11596. (in Russ.).
4. Boukeria S., Kadi K., Kalleb R., Benbott A., Yahia A. *J. Mater. Environ. Sci.*, 2016, vol. 7, pp. 2362–2368.
5. Gupta V.K., Charma S.K. *Natural Product Radiance*, 2006, vol. 5, no. 4, pp. 326–334.
6. Bozin B., Mimica-Dukic N., Samojlik I., Goran A., Igetic R. *Food Chemistry*, 2008, vol. 111, pp. 925–929. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.04.071.
7. Semenov A.A., Kartsev V.G. *Biologicheskaya aktivnost' prirodnykh soyedineniy*. [Biological activity of natural compounds]. Moscow, 2012, 513 p. (in Russ.).
8. Cacas J.-L., Furt F., Le Guédard M., Schmitter J.-M., Buré C., Gerbeau-Pissot P., Moreau P., Bessoule J.-J., Simon-Plas F., Mongrand S. *Progress in Lipid Research*, 2012, vol. 51, pp. 272–299. DOI: 10.1016/j.plipres.2012.04.001.
9. Nakamura Yu. *Trends in Plant Science*, 2017, vol. 22, no. 12, pp. 1027–1040. DOI: 10.1016/j.tplants.2017.09.002.
10. Cassim A.M., Gouguet P., Gronnier J., Laurent N., Germain V., Grison M., Boutté Y., Gerbeau-Pissot P., Simon-Plas F., Mongrand S. *Progress in Lipid Research*, 2019, vol. 73, pp. 1–27. DOI: 10.1016/j.plipres.2018.11.002.
11. Smirnova A.N., Shvydkiy V.O., Shishkina L.N. *Khimicheskaya fizika*, 2021, vol. 40, no. 7, pp. 43–48. DOI: 10.31857/S0207401X21070104. (in Russ.).
12. Smirnova A.N., Mazaletskaia L.I., Shvydkiy V.O., Shishkina L.N. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 4, pp. 193–198. DOI: 10.14258/jcprm.2021049745. (in Russ.).
13. Kamanna V.S., Chandrasekhara N. *Fette Seifen Anstrichmittel*, 1986, vol. 88, no. 4, pp. 136–139. DOI: 10.1002/lipi.19860880405.
14. Xu K., Liu B., Ma Yu., Du Ji., Li G., Gao H., Zhang Yu., Ning Zh. *Molecules*, 2009, vol. 14, pp. 3486–3493. DOI: 10.3390/molecules14093486.
15. Mazaletskaia L.I., Sheludchenko N.I., Shishkina L.N. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2010, vol. 46, no. 2, pp. 148–152. (in Russ.).
16. Leite N.B., Martins D.B., Alvares D.A., Cabrera M.P.S. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2022, vol. 242, 105160. DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2021.105160.
17. Keyts M. *Tekhnika lipidologii*. [Lipidology technique]. Moscow, 1975, 322 p. (in Russ.).
18. *Biologicheskkiye membrany: metody* [Biological membranes: methods], ed. Dzh.B.S. Findley, V.Kh. Evanz. Moscow, 1990, 423 p. (in Russ.).
19. Shishkina L.N., Kushnireva Ye.V., Smotryaeva M.A. *Oxidation Commun*, 2001, vol. 24, pp. 276–286.
20. Sperry W.M., Webb M. *J. Biol. Chemistry*, 1950, vol. 187, pp. 97–106.
21. Shishkina L.N., Kushnireva Ye.V., Smotryayeva M.A. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*, 2004, vol. 44, no. 3, pp. 289–295. (in Russ.).
22. Brin E.F., Travin S.O. *Khimicheskaya fizika*, 1991, vol. 10, no. 6, pp. 830–837. (in Russ.).
23. Kasaikina O.T. *Khimicheskaya fizika*, 1995, vol. 14, no. 10, pp. 72–85. (in Russ.).
24. *Fitoekdisteroidy* [Phytoecdysteroids], ed. V.V. Volodin. St. Petersburg, 2003, 293 p. (in Russ.).
25. Mosca M., Ceglie A., Ambrosone L. *Chemistry and Physics of Lipids*, 2011, vol. 164, pp. 158–165. DOI: 10.1016/j.chemphyslip.2010.12.006.
26. Pal'mina N.P., Maltseva Ye.L., Binyukov V.I., Kasparov V.V., Antipova A.S., Semenova M.G. *Biofizika*, 2018, vol. 63, no. 1, pp. 78–85. (in Russ.).
27. Shishkina L.N., Smirnova A.N., Mazaletskaia L.I., Dubovik A.S., Shvydkiy V.O. *Aktual'nyye voprosy biolo-gicheskoy fiziki i khimii*, 2021, vol. 6, no. 1, pp. 148–153. (in Russ.).

Received April 29, 2022

Revised May 31, 2022

Accepted November 10, 2022

For citing: Shishkina L.N., Dubovik A.S., Smirnova A.N., Shvydkii V.O. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 1, pp. 193–198. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230111334.

* Corresponding author.