

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КЛУБНЕЙ *Cyperus esculentus* L. (ЧУФА)

Т. В. Рубина, Т. В. Шеленга, В. А. Гаврилова

Дана биохимическая характеристика клубней чуфы (*Cyperus esculentus* L.), выращенных в различных эколого-географических зонах России, по содержанию масла, его жирно-кислотному составу и др. Показана зависимость содержания масла и ненасыщенных жирных кислот от климатических факторов (температура, количество осадков). Выделены образцы с оптимальным соотношением ненасыщенных и насыщенных жирных кислот, которые могут быть рекомендованы для создания высокомасличных сортов чуфы с повышенным содержанием олеиновой кислоты.

Ключевые слова: клубень, чуфа, биохимическая характеристика, эколого-географическая зона, климатический фактор.

EKOLOGO-GEOGRAPHICAL VARIABILITY OF THE CHEMICAL CONTENT OF TUBERS *Cyperus esculentus* L.

T. V. Rubina, T. V. Shelenga, V. A. Gavrilova

The biochemical characteristic of tubers *Cyperus esculentus* L. grown up in various ekologo-geographical zones of Russia, under the oil maintenance, its is fat-acid structure, etc. is given. Dependence of the maintenance of oil and nonsaturated fat acids on climatic factors (temperature, an amount of precipitation) is shown. Samples with an optimum parity of the nonsaturated and sated fat acids which can be recommended for creation high-oil grades of *Cyperus esculentus* L. with the raised maintenance oleinic acids are allocated.

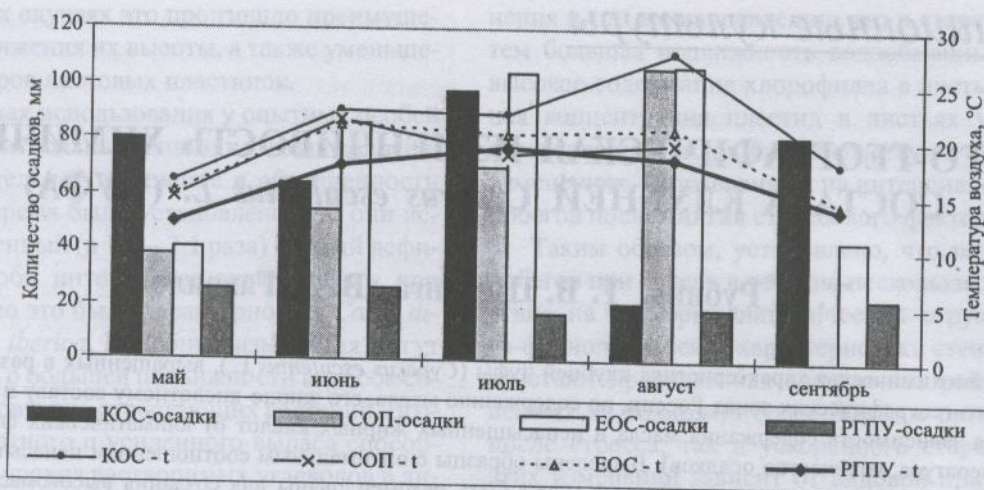
Key words: a tuber, *Cyperus esculentus* L., biochemical characteristic, ekologo-geographical zone, climatic factor.

Введение

Представители рода *Cyperus* L. — осока (семейство осоковые — *Cyperaceae*) распространены по всему земному шару. Наибольший интерес как масличное и техническое растение имеет чуфа (*Cyperus esculentus* L.), которое иногда называют земляным миндалём [1, 2]. Культура земляного миндаля высоко ценилась в древнем Египте, о чём свидетельствуют изображения на стенах египетских гробниц. Чуфа использовалась в античные времена так же широко, как пшеница и ячмень. Молотые клубни смешивали с мёдом и употребляли в качестве десерта, сушёные размолотые клубни добавляли в кофейные и шоколадные напитки. Жареную чуфу считали полезной для кормящих матерей. Масло чуфы использовали как в мыловарении, так и для смазки деталей машин. Сейчас чуфа продолжает использоваться в Испании, Италии, странах Центральной и Южной Америки, Африке и США (Флорида) для изготовления мороженого, бисквитов, а также в жареном виде [3]. Как одна из основных пищевых культур чуфа выращивается в странах Африки, где применение имеет полученная из клубней чуфы мука. Клубни используют в кондитерском производстве как заменитель миндаля [3].

Время сбора урожая чуфы в Испании отмечается приготовлением излюбленного испанского напитка *Norchata De Chufas* (оршад), или же так называемого молочка тигрового ореха. В Нигерии из клубней чуфы готовят безалкогольную кунну, а на Сицилии чуфу используют для приготовления спиртных напитков [4, 5]. В США чуфа употребляется в качестве корма для крупного рогатого скота, свиней и домашней птицы [6]. Масло чуфы имеет сходство по биохимическому составу с такими маслами, как оливковое, миндальное и масло лесного ореха. В жирно-кислотном составе масла этих культур преобладают олеиновая и линолевая кислоты. Поэтому масло, получаемое из чуфы, может использоваться для пищевых нужд населения [7]. Как масло, обладающее низкой вязкостью, оно может применяться в качестве добавки к топливу наряду с другими растительными маслами (рапсовым, соевым, подсолнечным, редьки и др.) [8].

В восточной медицине чуфа используется в качестве средства от метеоризма, несварения, колик, дизентерии, астении, непомерной жажды [3]. Молочко, получаемое из клубней чуфы, рекомендуют людям, не переносящим лактозу. В Ибаданском университете (Африка) чуфу применяют как питательный субстрат для *Aspergillus niger* при получении лимонной кислоты [9]. Хи-



Погодные условия периода вегетации в пунктах эколого-географического испытания (2006 г.)

мический состав клубней обуславливает стимулирующие, тонизирующие свойства. Российскими учёными доказаны и запатентованы адаптогенные стресс-корректорные свойства порошка, получаемого из клубней чуфы, о чём свидетельствует патент на изобретение [10].

C. esculentus благодаря своей пластичности может возделываться почти во всех зонах постсоветского пространства. Чуфа способна произрастать до 61° с. ш. в Северо-Западном регионе и до 58° с. ш. на Урале [11]. Вегетационный период продолжается от 112 до 154 дней. Через два месяца после посадки начинается образование клубней, завершение которого совпадает с окончанием интенсивного кущения. Количество клубней (от 30 до 1000 на растение) так же, как и их размеры, зависят от условий произрастания. В южных регионах на плодородной почве число клубней равняется в среднем 400, а в северных районах — 30 – 50 [12, 13].

По литературным данным, в клубнях чуфы содержится: 27 – 30% крахмала, 20 – 28% масла, 12 – 18% сахаров, 7 – 14% клетчатки, 6 – 7% белка, что позволяет сделать вывод о высокой калорийности и питательности клубней. Масло чуфы относится к группе невысыхающих. Основными жирными кислотами, входящими в его состав, являются: пальмитиновая, олеиновая и линолевая, содержание которых составляет 20 – 22, 65 – 72 и 10 – 13% соответственно. Преобладание насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот в его составе делает данное масло пригодным к длительному хранению. Чуфа богата минеральными веществами, особенно фосфором и калием, а также ка-

льцием, магнием, медью и железом. Клубни не содержат холестерина и клейковины и имеют низкое содержание натрия, в них обнаружены витамины А, D₂, E, B₁ [2, 14 – 18].

Как отмечал Н. И. Вавилов, одним из важных принципов изучения любого вида растений является выявление закономерностей изменчивости генотипически обусловленных морфо-биологических показателей под влиянием факторов окружающей среды [19]. Под его руководством было начато экологическое изучение многих культур, в том числе масличных. Это позволило уже в 30-е годы выявить закономерности влияния эколого-географических факторов (продолжительность светового дня, почвенно-климатические условия, водный режим) на важнейшие морфологические и биохимические признаки [20].

Цель нашей работы — выяснить степень влияния факторов внешней среды на проявление биохимических признаков качества у образцов чуфы из коллекции ВИР, в том числе содержание масла и его жирно-кислотный состав.

Методы исследования

Для эколого-географических исследований из коллекции чуфы были отобраны образцы к-12, к-14 и к-19, сильно различающиеся по ряду хозяйственно полезных признаков (по результатам экспериментов 2003 – 2005 гг. в Северо-Западном регионе) (табл. 1). Образец к-12 формирует наименьшую наземную массу и характеризуется низкой продуктивностью клубней; образец к-14 отличается высокой продуктивностью зелёной массы и клубней, превосходя по этим показателям стандарт [21]. В качестве стандарта был использован сорт ВН-223 (к-19), выведенный во Всесоюзном институте эфиромасличных культур (Краснодар). В наших исследованиях к-19 показал хорошую продуктивность зелёной массы и клубней.

Таблица 1. Характеристика образцов чуфы

№ по кат. ВИР	Название образца	Происхождение
к-12	Местный	Зап. Африка (Бенин)
к-14		Зап. Африка (Кот д'Ивуар)
к-19	ВН-223	Россия (Краснодар)

Исследование велось на опытных станциях ВИР: Кубанской (КОС), Екатерининской (ЕОС), Средневолжском опорном пункте (СОП), а также на биостанции Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена (РГПУ) в 2006 г. Пункты, выбранные для выращивания опытных образцов чумы, различались по географическому положению и почвенно-климатическим условиям. КОС ВИР расположена в степной черноземной зоне (Краснодарский край), ЕОС ВИР — в лесостепной черноземной зоне (Тамбовская область), СОП ВИР — в степной черноземной зоне (Кинель, Самарская область) и РГПУ — в зоне дерново-подзолистых почв (Ленинградская область). Все станции расположены в зоне умеренного континентального климата, но на разных широтах. Этим объяснялись различия в средних температурах и водном режиме в течение вегетационного периода при выращивании опытных образцов.

Посадку производили проросшими клубнями рядовым способом (45 × 60) в открытый грунт в начале мая на КОС, ЕОС, СОП, а в Ленинградской области — в конце мая (во избежание влияния весенних заморозков).

Биохимический состав клубней анализировали по методикам, принятым в отделе биохимии и молекулярной биологии ВИР [22]. Для этого использовали измельчённые клубни крупной и средней фракций. Масло определяли по массе сухого обезжиренного остатка. Жирно-кислотный состав масла изучали методом газо-жидкостной хроматографии на хроматографе «Кристалл 4000-М» (Россия). Экстрагировали липиды смесью гексана с метилатом натрия в соотношении 19:1. Определяли содержание основных кислот: пальмитиновой (C_{16:0}), стеариновой (C_{18:0}), олеиновой (C_{18:1}), линолевой (C_{18:2}), линоленовой (C_{18:3}). Данные обрабатывали при помощи программы Хромлюкс 2.0.

Среднемесячная температура периода вегетации в 2006 г. на КОС ВИР была выше средних температурных показателей на 0,3 – 5,8 °С (рисунок). Количество осадков достигало 98 мм. В целом температурный и водный режим был благоприятным для быстрого роста надземной массы, формированию и созреванию клубней чумы.

В районе СОП ВИР условия для роста и развития чумы были в основном благоприятными. Одним из главных факторов, определяющих урожай сельскохозяйственных культур Заволжья, является количество осадков. В течение вегетационного периода 2006 г. количество осадков было достаточным (от 54,6 и 70 мм в июне-июле до 106,3 мм в августе), температура не опускалась ниже +18°С. Разница средних температурных показателей летних месяцев не превышала 3° (рисунок).

На ЕОС ВИР погода в течение вегетационного периода была достаточно тёплой и влажной. Воздух прогревался в среднем до +20 °С. Максимальное количество осадков отмечалось в июле и августе (более 100 мм в месяц, рисунок). Таким образом, погодные условия были благоприятными для развития опытных растений.

Основными факторами, лимитирующим нормальное развитие сельскохозяйственных культур в Северо-Западном регионе (в наших опытах — биостанция РГПУ), являются поздние весенние и ранние осенние заморозки. Весна 2006 г. была более холодной (среднемесячная температура в мае +12,5 °С) по сравнению с другими годами, однако, заморозков не наблюдалось. Лето было умеренно тёплым (рисунок). Средние значения летних температур не опускались ниже 18 °С. Осадков было недостаточно, поэтому для получения хорошего урожая клубней чумы было использовано искусственное орошение.

Таблица 2. Биохимический состав клубней чумы (2006 г.)

Место репродукции	№ каталога	Белок, %	Целлюлоза, %	Крахмал, %	Масло, %	Жирно-кислотный состав, % от суммы				
						16:0	18:0	18:1	18:2	18:3
Кубанская ОС	к-12	7,3	18,4	22,5	22,9	20,1	4,6	61,5	10,9	2,9
Кубанская ОС	к-14	5,1	20,0	24,5	20,5	18,8	3,0	65,3	12,4	0,5
Кубанская ОС	к-19	6,9	16,8	20,6	22,4	21,8	3,7	63,0	10,8	0,7
Средневолжский ОП	к-12	4,5	15,8	19,3	21,9	19,4	1,9	65,3	13,1	0,3
Средневолжский ОП	к-14	4,3	15,8	19,3	19,8	18,1	1,8	63,9	14,5	1,7
Средневолжский ОП	к-19	4,1	16,0	19,6	21,3	17,4	1,9	67,9	12,3	0,5
Екатерининская ОС	к-12	7,0	12,7	15,5	14,8	19,4	1,9	60,9	15,0	2,8
Екатерининская ОС	к-14	6,6	12,5	15,3	17,9	22,9	1,7	60,0	14,1	1,3
Екатерининская ОС	к-19	7,8	10,4	12,7	17,0	20,3	3,2	62,6	12,4	1,5
Биостанция РГПУ	к-12	5,8	16,8	20,6	16,4	22,5	1,4	58,4	17,6	0,2
Биостанция РГПУ	к-14	6,1	16,5	20,2	19,5	16,8	1,6	62,9	18,0	0,7

Результаты и обсуждение

Данные эколого-географического испытания, представленные в табл. 2, подтверждают зависимость химического состава клубней от климатических условий. Из литературы известно, что содержание масла выше в семенах масличных культур (подсолнечник, крамбе, рыжик и др.), выращенных в районах, характеризующихся повышенной влажностью [23]. В 2006 г. в Ленинградской области за вегетационный период (с мая по сентябрь) выпало минимальное количество осадков — 110,5 мм. Это в 3 раза меньше, чем в Краснодарском крае (344,7 мм). В результате образцы с КОС ВИР отличались большим содержанием масла (20,5 – 22,9%) по сравнению с таковыми, выращенными в Ленинградской области (табл. 2). Самыми высокомасличными из образцов, выращенными на КОС ВИР, оказались к-12 и к-19 (содержание масла 22,9 и 22,4% соответственно). Содержание масла в клубнях чумы, выращенных в Ленинградской области, варьирует в пределах от 13,7 до 19,5%. Таким образом, полученные нами данные подтверждают тезис Н. Н. Иванова о зависимости показателей содержания масла от условий выращивания, в частности влажности [20].

Содержание масла в клубнях, выращенных на СОП ВИР, находилось в пределах 20 – 22%. Самым высокомасличным, как и в первом случае, оказался образец к-12 (21,9% — превышение контрольного образца на 0,6%).

В клубнях чумы, выращенных в условиях ЕОС ВИР, содержание масла варьировало от 14,8 до 17,9%. Низким оказалось содержание крахмала (12,7 – 15,5%), содержание целлюлозы — 10,4 – 12,7%.

В районах, где сумма активных температур вегетационного периода оказалась наименьшей (Тамбовская и Ленинградская области) по показателю высокое содержание масла выделился образец к-14 (17,9 и 19,5% соответственно).

Исследования жирно-кислотного состава показали, что наибольшее содержание в масле чумы имеет олеиновая кислота ($C_{18:1}$) — более 50% от суммы жирных кислот. Повышенное содержание (около 20%) отмечено для пальмитиновой ($C_{16:0}$) и от 11 до 18% для линолевой ($C_{18:2}$) кислот. У образца к-19, выращенного в Ленобласти, содержание линолевой кислоты в масле составило 25%. Низкая концентрация характерна для стеариновой кислоты (1,4 – 4,6%), а минимальная — для линоленовой (0,3 – 2,9%). Низкое содержание последней делает масло чумы пригодным к длительному хранению.

Содержание олеиновой кислоты в масле чумы варьировало от 60 до 67,9%, за исключением образцов к-12 и к-19 (Ленинградская область). Самое высокое содержание олеиновой кислоты оказалось в масле клубней образцов к-12 и к-19, репродуцированных в Самарской области (65,3 и 67,9% соответственно).

Содержание линолевой кислоты в масле чумы находилось в пределах 11 – 25%. У образцов из самой северной точки репродукции (Ленинградская область)

было наибольшее содержание данной кислоты — 17,6 – 25,1%. Вероятно, поздние сроки созревания клубней, связанные с продолжительностью вегетационного периода в этом районе, в сочетании с низкими температурами объясняют значительное накопление линолевой кислоты. Колебания температуры в период созревания клубней вызывают изменения в соотношении линолевой и олеиновой жирных кислот: понижение температуры приводит к увеличению концентрации линолевой кислоты и снижению олеиновой. Данная закономерность была описана ранее в работах лаборатории биохимии ВИР им. Н. И. Вавилова на примере подсолнечника [7]. В работе [24] отмечено: “Более поздние сроки созревания семян в значительной степени определяют содержание линолевой кислоты в масле подсолнечника...”. Такая же зависимость была отмечена нами у чумы. Между содержанием $C_{18:3}$ и $C_{18:1}$ существует обратная зависимость [25], что также подтверждается результатами проведенного эксперимента.

Олеиновая и линолевая кислоты относятся к группе незаменимых жирных кислот, так как не могут синтезироваться в организме человека и поступают только с пищей. Олеиновая кислота влияет на содержание холестерина в крови человека и поэтому играет важную роль в профилактике заболеваний сердечнососудистой системы. Линолевая кислота — одна из составляющих витамина F, который участвует в регуляции обмена веществ, синтезе гормонов и влияет на иммунную систему. При недостатке вышеупомянутых жирных кислот в организме могут происходить серьезные нарушения, которые в дальнейшем приводят к необратимым последствиям.

Соотношение содержания ненасыщенных жирных кислот к насыщенным является важным показателем качества масла чумы и пищевой ценности его клубней. В проанализированных образцах этот показатель находился в пределах 2,9 – 4,4 (оптимальным считается соотношение содержания ненасыщенных жирных кислот к насыщенным выше 4). По высоким значениям данного показателя (4 и 4,4) выделились образцы выращенные на СОП ВИР и на биостанции РГПУ.

В клубнях чумы содержалось около 16% целлюлозы, что характеризует ее как ценное растение для здорового питания людей. Целлюлоза влияет на уровень содержания желчных кислот, способствует снижению холестерина в крови и выводит из организма токсины, в том числе тяжёлые металлы. Пищевые волокна являются питательной средой для микрофлоры кишечника. Недостаточное количество пищевых волокон в продуктах питания человека провоцирует возникновение гипертонии, атеросклероза, диабета и других болезней.

Содержание белка в клубнях чумы находилось, по нашим данным, в пределах от 4,1 до 7,9%. Мука из клубней может быть использована в кондитерском производстве и в диетическом питании как основной компонент продуктов для людей, страдающих целиакией [3].

Ранее проведённые эксперименты позволили выделить образец к-14 как обладающий наиболее ценными

хозяйственными признаками (надземная масса, продуктивность клубней, их параметры и т.д.) [21]. По нашим данным, образец к-14 в условиях Северо-Запада РФ отличается наиболее высоким содержанием масла и сбалансированным соотношением ненасыщенных жирных кислот к насыщенным по сравнению с другими образцами, взятыми в исследование. Поэтому данный образец был выделен как наиболее перспективный для Северо-Западного региона России.

Заключение

Повышенная влажность способствует накоплению масла в клубнях чумы. Содержание масла в клубнях чумы изменялось с 22,9 (КОС ВИР) до 13,7% (биостанции РГПУ). Данная закономерность отмечалась ранее для семян масличных культур [23]. Следует отметить, что с повышением масличности доля линолевой кислоты в масле чумы уменьшается, а олеиновой повышается, что подтверждается исследованиями на других культурах [7, 24].

Полученные результаты подтвердили, что жирно-кислотный состав масла чумы сходен с таковым оливкового масла и масла орехоплодных культур — фундука, миндаля и отличен от масла грецкого ореха, в котором на первом месте по содержанию находится линолевая кислота [7]. У образцов, выращенных на СОП ВИР, отмечено более оптимальное соотношение ненасыщенных и насыщенных жирных кислот. Наши исследования подтвердили ранее обнаруженную зависимость содержания масла и ненасыщенных жирных кислот от климатических факторов (температура, количество осадков и др.).

По высокому содержанию масла и сбалансированному соотношению ненасыщенных жирных кислот к насыщенным выделен образец к-14. С учетом предыдущих работ [21] данный образец может быть рекомендован для создания высокомасличных сортов чумы с повышенным содержанием олеиновой кислоты в масле.

Рубина Т. В., Педагогический университет им. А. И. Герцена; Шеленга Т. В., канд. биол. наук, Гаврилова В. А., докт. биол. наук, Всероссийский НИИ растениеводства им. Н. И. Вавилова
a.konarev@vir.nw.ru

Литература

1. Жуковский П. М. Культурные растения и их сородичи. — Л.: Колос, 1964. С. 405.
2. Чирков В. И. Культурная флора СССР. — Л.: Сельхозгиз, 1941. Т. 7. С. 472 – 482.
3. Barber S. / Rev. Agroquim. Tecnol. Aliment. 1981. № 21. P. 175 – 184.
4. Lafuente B., Alonso I. / Food Sci. Technol. 1965. V. 4. P. 679 – 686.
5. Mosquera L. A., Sims C. A., Bates R. P., et al. / Food Sci. 1996. V. 61. P. 856 – 861.
6. Cheeowski J., Leonczuk K. / Przemysl Spozywczy. 1978. № 32. P. 468 – 469.
7. Ермаков А. И., Ярош Н. П. / Труды по прикладн. ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 100. С. 172 – 185.
8. He Y. Z., Milford A., Hanna Y. A., Lu N. / Industr. Crops Prod. 1996. V. 5. № 3. P. 177 – 181.
9. Blaim K. / Food Sci. Abstrs. 1955. № 28. P. 328 – 330.
10. Чернов Ю. Н., Бузлама В. С., Ушаков И. Б. и др. / Пат. на изобрет. РФ № 2176516. 2001.
11. Голицын С. В. / Бюл. Главн. ботанич. сада. 1952. Вып. 13. С. 95 – 97.
12. Рытов М. В. Частное огородничество. — М.: Новая деревня, 1927. — 380 с.
13. Шредер Р. И. Русский огород, питомник и плодовый сад. — СПб.: Изд. А. Ф. Дервиена, 1901. — 490 с.
14. Приступа А. А. Основные сырьевые растения и их использование. — Л.: Наука, 1973. С. 363 – 364.
15. Цветаева Е. / Маслобойно-жировое дело. 1932. № 415. С. 83 – 87.
16. Церевитинов Ф. В. Химия и товароведение свежих плодов и овощей. Т. II. — М.: ГОСТОРГИЗДАТ, 1949. — 337 с.
17. Шиленко М. П., Калачева Г. С., Лисовский Г. М. и др. / Космич. биол. и авиакосмич. мед. 1979. № 5. С. 70 – 74.
18. Bredemann G. / Handbuch der tropischen und subtropischen Landwirtschaft. Hrsg. von Geo A. Schmidt u. August Marcus. Berlin, 1943. Bd. 1. P. 635 – 637.
19. Вавилов Н. И. Селекция как наука. Избр. труды. — Л., 1967. Т. I. С. 328 – 343.
20. Иванов Н. Н. / Труды по прикладн. ботанике, генетике и селекции. 1926. Т. 16. Вып. 3. С. 3 – 88.
21. Рубина Т. В. / Матер. I(IX) Междунар. конф. молодых ботаников в С.-Петербурге (21 – 26 мая). — СПб., 2006. С. 271.
22. Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений. — Л., 1987. — 485 с.
23. Гаврилова В. А., Дубовская А. Г., Конькова Н. Г. и др. / Сельскохоз. биол. 2007. № 5. С. 26 – 41.
24. Ермаков А. И. и Мезгорская О. М. / Тр. по прикладн. ботанике, генетике и селекции. 1972. Т. 48. Вып. 1. С. 14 – 21.
25. Ермаков А. И. / Тр. по прикладн. ботанике, генетике и селекции. 1972. Т. 48. Вып. 1. С. 3 – 13.