

Биоорганическая химия

УДК 581.192

DOI 10.26456/vtchem2026.1.15

Изучение химического состава корневищ *Butomus umbellatus*, дикорастущего в астраханской области

А.В. Великородов, Е.Г. Русакова

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет
им. В.Н. Татищева», г. Астрахань

Имеются многочисленные данные об употреблении в пищу корневищ широко распространенного в Евразии сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.), однако данных о химическом составе корневищ крайне мало, и они нуждаются в проверке. Впервые изучен химический состав корневищ *Butomus umbellatus*, произрастающего в естественных условиях Астраханской области. Сбор растительного сырья осуществляли в период накопления максимальной продуктивности, в сентябре 2023 года. Растения собирали в фенофазах окончания цветения и созревания плодов. Тщательные отмытые от грунта корневища сушили в соответствии с правилами сушки растительного сырья и измельчали до 0,1–0,2 мм. Содержание золы в корневищах сусака зонтичного составило 3,5%. Содержание суммы липидов определяли гравиметрическим методом в аппарате Сокслетта с использованием петролейного эфира в качестве растворителя. Найдено, что содержание суммы липидов в корневищах сусака зонтичного составляет 4,9%. Установлено, что корневища содержат 24,8% водорастворимых углеводов, содержание белка составило 10,27%. Полученные данные существенно отличаются от ранее опубликованных. Необходимы дополнительные исследования химического состава и пищевой ценности растительного сырья. В дальнейшем, представляет интерес сравнение процентного состава белков, липидов и углеводов корневищ сусака из разных частей ареала и разных климатических зон.

Ключевые слова: сусак зонтичный, *Butomus umbellatus*, съедобные растения, дикоросы, химический состав, белки, липиды, углеводы.

Введение

Сусак зонтичный (*Butomus umbellatus* L.), относящийся к монородовому семейству Сусаковые (*Butomaceae* Rich.), евроазиатский вид, широко распространенный по всему континенту [1]. Как инвазивный вид отмечен на севере США [2] и юге Канады [3].

Butomus umbellatus – многолетнее растение, произрастающее по мелководьям пресных водоемов и водотоков. В условиях дельты Волги растение имеет две формы – генеративную и вегетативную.

Генеративная форма образуется на слабопроточных участках глубиной до 1 м. Растение высотой до 1,5 м с узкими линейными листьями, утолщенными у основания. Основания листьев трехгранные, верхняя часть плоская. Листья собраны в розетки. Корневища толстые, горизонтальные, слабо ветвящиеся, до 15-18 мм в диаметре, длиной до 20 см, с придаточными шнуровидными корнями белого цвета. Цветоносы округлые, безлистные, возвышаются над листьями. Цветки на длинных цветоносах собраны в зонтиковидные соцветия до 50 цветков, в основании соцветия имеются прицветники. Цветки обоеполые, актиноморфные, околоцветник простой, шестичленный, двурядный, листочки околоцветника бледно-розовые, могут выгорать до почти белых. Листочки нижнего ряда меньше по размеру. Пестиков шесть, тычинок девять.

Веgetативная (реофильная) форма встречается в низовьях дельты, в култушной зоне и авандельте (подводная часть дельты на переходе к взморью) на участках с достаточно быстрым течением, на глубинах от 0,3 до 1 м. Реофильная форма представлена корневищами с длинными до 2-2,5 м подводными листьями, вытянутыми по течению.

Согласно литературным данным [4-8] корневища сусака зонтичного широко использовались в пищу в прежние времена, а также местами используются и в настоящее время. Из корневищ получали муку, которую использовали в пищу.

Анализ литературных данных показал, что имеется ряд работ, посвященных изучению некоторых элементов, содержащихся в корневищах сусака в Астраханской области [9-10], однако содержание питательных веществ в них не изучалось. Работ по изучению питательных свойств корневищ сусака зонтичного крайне мало [7, 11-12]. В условиях растущего населения Земли остро стоит вопрос поиска новых пищевых растений и, возможно, хорошо забытых старых. Исследование питательной ценности дикорастущих растений с целью дальнейшего их использования представляется крайне важной задачей.

Целью исследования являлось изучение химического состава корневищ *Butomus umbellatus* для определения содержания питательных веществ – белков, липидов и углеводов.

Экспериментальная часть

Растения для исследования были собраны 08.09.2023 г. в городе Астрахань на правом берегу острова Городской в акватории реки Волга (46°36'21.25", 48°03'36.43"), на глубине 10 см, грунт песчаный. Растения выкапывали, отмывали от грунта (рис. 1), удаляли листья и корни.

Очищенные корневища (рис. 2) взвешивались в сыром виде (сырой вес – СВ). Сушка проводилась на открытом воздухе в темном и

проветриваемом помещении при относительной влажности до 30 %. По окончании сушки измеряли воздушно-сухой вес (ВСВ). ВСВ составил 24,49% СВ, таким образом сырье при сушке теряет более 75%.



Рис. 1. Выкопанные растения сусака зонтичного (*Butomus umbellatus*) с удаленными придаточными корнями



Рис. 2. Корневища сусака, очищенные от листьев и корней

Содержание золы в корневищах определяли путем сжигания воздушно-сухой навески корневищ, взвешенной с точностью до 0,0001 г, в муфельной печи.

Массовую долю суммы липидов в корневищах сусака зонтичного осуществляли гравиметрическим методом, основанным на многократной экстракции жира органическим растворителем из воздушно-сухой навески корневищ с последующим удалением растворителя и взвешиванием. В качестве растворителя использовали петролейный эфир. Экстракцию выполняли в аппарате Сокслета, состоящем из экстрактора, в который помещали бумажный патрон с измельченными корневищами, холодильника и экстракционной колбы.

В процессе проведения экстракции растворитель с растворенными в нем липидами непрерывно стекает в экстракционную колбу. Липиды остаются в колбе, а пары растворителя вновь поднимаются и экстрагируют новую порцию. В результате многократной экстракции исследуемый образец полностью обезжиривается. Продолжительность экстракции составила 6 ч.

После окончания экстракции патрон вынимали из экстрактора, высушивали и взвешивали. Содержание суммы липидов определяли по разности между массой патрона с корневищами до и после экстракции по формуле:

$$\omega = (m_1 - m_2) \times 100\% / m_0,$$

где ω – содержание липидов, %; m_1 – масса патрона с корневищами до экстракции, г; m_2 – масса патрона с корневищами после экстракции, г; m_0 – масса навески, г. Проводилось не менее трех определений.

С целью изучения содержания водорастворимых углеводов, восстанавливающих сахаров, и белка в корневищах сусака зонтичного нами получен водный экстракт тонко измельченных корневищ. Растворимые углеводы (сахара) являются неотъемлемым компонентом любой ткани растения. Количественный и качественный состав углеводов у различных растений может изменяться в очень широких пределах.

Количественное определение сахаров проводят с помощью разнообразных методов, основанных на их физических и химических свойствах. Наиболее общий классический химический метод количественного определения восстанавливающих сахаров основан на способности альдегидной группы восстанавливать в щелочной среде ионы Cu^{2+} до Cu^+ .

К восстанавливающим (редуцирующим) сахарам относятся все моносахариды и некоторые олигосахариды (мальтоза, лактоза).

В водной вытяжке корневищ сусака зонтичного помимо сахаров могут присутствовать также другие вещества, обладающие

восстановительными свойствами (белки, крахмал и др.), которые могут исказить результаты анализа. Чтобы этого избежать, перед определением углеводов водную вытяжку подвергали обработке 10%-ным ацетатом свинца, позволяющим осадить мешающие определению примеси.

Определение содержания водорастворимых восстанавливающих углеводов проводили по следующей методике.

Навеску тонкоизмельченных корневищ сусака зонтичного массой около 1 г, взвешенную с точностью до 0,001 г, помещали в коническую колбу вместимостью 250-300 мл, приливали 60 мл предварительно нагретой до 50-60 °С дистиллированной воды и встряхивали в течение 15 – 20 мин с частотой встряхивания 200 колебаний в минуту. После охлаждения до комнатной температуры в колбу пипеткой приливали 1,5-3,0 мл раствора ацетата свинца. Содержимое колбы тщательно встряхивали, при этом выпадал осадок. Жидкости давали несколько отстояться и для удаления избытка свинца в колбу приливали раствор сернокислого натрия в объеме, в три раза превышающем объем раствора уксуснокислого свинца. Содержимое колбы взбалтывали, давали отстояться и фильтровали через бумажный фильтр в мерную колбу вместимостью 100 мл. Осадок в конической колбе и на фильтре несколько раз промывали небольшим количеством дистиллированной воды. Затем объем раствора в мерной колбе доводили дистиллированной водой до метки и тщательно перемешивали. Получали экстракт растворимых углеводов.

Далее проводили кислотный гидролиз. Для этого отбирали пипеткой 15 мл экстракта растворимых углеводов и переносили в коническую колбу вместимостью 100 мл. К экстракту прибавляли 3 мл дистиллированной воды, 2 мл раствора соляной кислоты (1:1). Колбу помещали на 7 мин в водяную баню при температуре 68-70 °С. Для контроля одновременно в баню помещали колбу с 20 мл воды и термометром. Время нагревания отсчитывали с момента достижения в контрольной колбе температуры 68- 70 °С. Колбу вынимали из бани и охлаждали в водопроводной воде. Содержимое колбы нейтрализовали гидрокарбонатом натрия по индикатору метиловому красному до перехода красной окраски в желтоватую.

Затем проводили окислительно-восстановительные реакции. К нейтрализованному экстракту приливали по 20 мл раствора сульфата меди и щелочного раствора виннокислого калия-натрия. Смесь растворов в колбе нагревали на электроплите до кипения и кипятили 3 мин. При этом выпадал осадок оксида меди(I), которому давали отстояться. Раствор фильтровали декантацией в горячем состоянии через воронку со стеклянным фильтром, вставленным в колбу с тубусом,

при небольшом разрежении, избегая по возможности попадания осадка на фильтр. Осадок в колбе отмывали до исчезновения щелочной реакции промывных вод горячей дистиллированной водой, перенося промывные воды на стеклянный фильтр и следя за тем, чтобы над осадком был постоянно слой воды. Окончив промывание, стеклянный фильтр быстро переносили на другую колбу с тубусом. В колбу с осадком приливали небольшими порциями около 20 мл раствора железоаммонийных квасцов для растворения осадка, каждый раз сливая содержимое колбы на стеклянный фильтр. При этом растворялась и та часть осадка, которая попала на стеклянный фильтр. Колбу два раза промывали небольшими порциями горячей дистиллированной воды, которую также сливали на стеклянный фильтр.

Стеклянный фильтр удаляли, и горячий раствор в колбе Бунзена титровали раствором марганцовокислого калия до слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение 20-30 с.

Массовую долю растворимых углеводов (сахаров) в испытуемой пробе X , %, вычисляли по формуле (1):

$$X = (m_1 V_1 100) / m V_2 \quad (1),$$

где m_1 – масса глюкозы, содержащаяся в испытуемой части экстракта, взятого для кислотного гидролиза, вычисленная по формуле (2)

V_1 – исходный объем экстракта растворимых углеводов, мл;

100 – коэффициент пересчета в проценты;

m – масса навески, мг;

V_2 – объем экстракта, взятый для испытания, мл.

Массу глюкозы, содержащуюся в испытуемой части экстракта, взятого для кислотного гидролиза m_1 , мг, вычисляли по формуле (2):

$$m_1 = V \cdot (2,98 + 0,03 \cdot V) \quad (2)$$

где V – объем раствора марганцовокислого калия молярной концентрации 0,02 моль/л, израсходованного на титрование, мл;

2,98 и 0,03 – коэффициенты.

Результаты вычисляли до второго десятичного знака. За окончательный результат испытания принимали среднеарифметическое значение результатов двух параллельных определений, округленное до первого десятичного знака.

Определение содержания суммарных белков в сухом растительном материале корневищ сусака зонтичного.

Выделение суммарных белков из воздушно сухих корневищ сусака зонтичного проводили по следующей методике. Взвешивали на аналитических весах 0,5 г сухих тонкоизмельченных корневищ сусака зонтичного. Навеску помещали в коническую колбу на 100 мл, заливали 30 мл боратного буфера (рН 10), содержащего 0,2 % бисульфита натрия и несколько капель октанола-1. Колбу закрывали пробкой и оставляли

на 1 ч при комнатной температуре, чтобы сухой материал впитал в себя буфер. Затем содержимое колбы центрифугировали в течение 5-10 мин при 3-4 тыс. об/мин. Надосадочную жидкость сливали в колбу объемом 50 мл. Центрифужные пробирки смывали буферным раствором и переносили осадок в конические колбы с небольшим объемом буфера (10-15 мл), затем вновь в течение 30-40 мин проводили центрифугирование в течение 5-10 мин при 3-4 тыс. об/мин, надосадочную жидкость переносили в ту же мерную колбу объемом 50 мл и доводили объем экстракта буфером до метки. Содержание белка в экстракте проводили спектрофотометрически.

По окончании экстракции в штатив помещали пробирки и дозатором переносили в них по 1 мл белкового экстракта. Туда же приливали 9 мл боратного буфера с рН 10, тщательно перемешивали и подвергали спектрофотометрированию при 280 и 260 нм с измерением оптической плотности.

Концентрацию белка определяли по формуле:

$$C_{\text{белка}}, \text{ мг/мл} = 1,55D_{280} - 0,76D_{260},$$

где D_{280} и D_{260} оптическая плотность раствора белков при 280 и 260 нм; 1,55 и 0,76 – расчетные коэффициенты.

В качестве раствора сравнения вместо образца использовали аналогичное количество буферного раствора.

Результаты и их обсуждение

В результате наших исследований были получены следующие результаты. Содержание золы составило $3,5 \pm 0,12\%$. Содержание суммы липидов в корневищах, определенное гравиметрическим методом, составило $4,9 \pm 0,05\%$. Содержание водорастворимых углеводов в корневищах сусака зонтичного, определенное методом Бертрана [13], основанном на образовании осадка оксида меди (I) при кипячении пробы сахара с раствором Фелинга с последующим гравиметрическим определением осадка, составило $24,8 \pm 0,39\%$.

Содержание общего белка определяли спектрофотометрически методом Варбурга-Кристиана [14]. Результаты определения содержания белка в навеске измельченных корневищ сусака зонтичного представлены в таблице.

Таблица 1

Содержание белка в навеске корневищ сусака зонтичного

Навеска корневищ сусака зонтичног о, Н, г	Объем экстракт а белков, V, мл	Оптическая плотность, D		Концентраци я белков, С, мг/мл	Масса белков в навеске , мг ($M=C \cdot V$)	Массовая доля белков, % ($M100\%$)/ $H100$ 0
		280 нм	260 нм			
0,5015	50	0,87 6	0,43 4	1,03	51,50	10,28

Таким образом, массовая доля белков в корневищах сусака зонтичного составляет 10,28%.

В процессе анализа литературных данных о пищевых свойствах сусака зонтичного (*Butomus umbellatus*) было выяснено, что практически отсутствуют данные о его химическом составе. В работах лишь упоминается о его высокой пищевой ценности. Полноценные данные о химическом составе корневищ (табл. 2) имеются в работе В.Т. Васильевой [12], с которой мы и будем проводить сравнительный анализ. К сожалению, в указанной работе не описана методика изучения питательных веществ в корневищах, поэтому достоверно сравнить полученные данные достаточно сложно.

Таблица 2

Накопление питательных веществ в корневищах сусака зонтичного в сухой массе) в Якутии по В.Т. Васильевой [12: 117]

Показатели	Улусы			Среднее по улусам
	Таттинский	Усть- Алданский	Хангаласский	
	$K_{\text{экстр}} = 0.3$	$K_{\text{экстр}} = 0.4$	$K_{\text{экстр}} = 0.7$	
Сухое вещество, %	30,34±0,56*	30,10±0,39	28,44±0,43*	29,63±0,6 0
Сырой протеин, %	12,24±0,37*	12,33±1,42	16,11±0,3*	13,56±1,2 8
в т.ч. белок, %	9,79±0,29*	9,86±1,14	12,89±0,24*	10,85±1,0 2
Сырой жир, %	5,12±0,12	5,13±0,07	5,15±0,02	5,13±0,03
Сырая клетчатка, %	7,78±0,47	6,96±0,26	7,16±0,20	7,3±0,24
Сырая зола, %	3,59±0,11	3,89±0,03	3,49±0,01	3,66±0,12
Безазотистые экстрактивные	18,66±0,62*	18,45±0,70	16,38±0,59*	17,83±0,7 6

вещества, %				
Водорастворимые углеводы, %	24,74±0,53	27,37±0,57	26,59±0,53	27,93±0,34
Энергетическая ценность, ккал/кг	679,67	666,67	632,5	659,61

*P≤0,05

Обычно в условиях жаркого аридного климата концентрация веществ в растениях гораздо выше, чем в областях с умеренными температурами и достаточным количеством осадков. Однако, показатели по содержанию золы, липидов, углеводов и белка в корневищах сусака зонтичного в Астраханской области оказались ниже, чем средние данные в Якутии. По нашему мнению, такое расхождение может быть вызвано несколькими причинами. Во-первых, разные методики изучения химического состава корневищ. Во-вторых, разные сроки и фенофазы растений в момент сбора сырья для анализов. И, в-третьих, возможно, что в экстремальных условиях Крайнего Севера концентрация питательных веществ в растениях гораздо выше, для лучшей зимовки при низких зимних температурах. Данные предположения требуют проверки в экспериментальных условиях. В.Т. Васильева [12: 119] отмечает, что увеличение экстремальности гидротермического режима произрастания сусака приводит к уменьшению содержания сухого вещества и увеличению энергетической ценности.

Заключение

Данные по химическому составу корневищ сусака зонтичного, произрастающего в Астраханской области, существенно отличаются от ранее опубликованных. Необходимы дополнительные исследования химического состава и пищевой ценности растительного сырья. В дальнейшем, представляет интерес сравнение процентного состава белков, липидов и углеводов корневищ сусака из разных частей ареала и разных климатических зон. Учитывая высокую пищевую ценность корневищ сусака зонтичного, его широкий ареал, данный вид вполне может быть использован в качестве пищевых добавок в различные продукты питания. Авторы выражают надежду, что данная работа станет начальным этапом, и исследования химического состава и пищевой ценности сусака зонтичного будут продолжены в разных регионах России и мира.

Список литературы:

1. Hroudová, Z. [et al.] The biology of *Butomus umbellatus* in shallow waters with fluctuating water level. *Hydrobiologia* 340, 27–30 (1996). <https://doi.org/10.1007/BF00012730>
2. Cao, L., [et al.] 2018. *Butomus umbellatus* L. U.S. Geological Survey, Nonindigenous Aquatic Species Database, Gainesville, Florida. Available: <https://nas.er.usgs.gov/queries/FactSheet.aspx?SpeciesID=1100>. (January 2018)
3. Gaskin J. F. [et al.], Diversity and origins of *Butomus umbellatus* (flowering rush) invasion in North America, *Aquatic Botany*, Volume 173, 2021, 103400, ISSN 0304-3770, <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2021.103400>
4. Замятина Н. Г. Кухня Робинзона: 200 малоизвестных съедобных растений : 400 рецептов блюд и напитков их них / Н.Г. Замятина. М.: Институт технологических исследований, 1994. 660 с.
5. Кошечев А.К. Дикорастущие съедобные растения / А.К. Кошечев, А.А. Кошечев. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1994. 351 с.
6. Васильева В.Т. Обогащение кисломолочных продуктов дикорастущими растениями / В.Т. Васильева // Наука и техника в Якутии. 2005. № 2(9). С. 95–98.
7. Лебедева У.М. Пищевая ценность национальных молочных продуктов с добавлением лесных ягод и дикорастущих пищевых растений Якутии / У.М. Лебедева, А.Ф. Абрамов, К.М. Степанов, В.Т. Васильева, А.А. Ефимова // Вопросы питания. 2015. № 6. С. 132–140.
8. Елисеева Л.И. Повышение биологической ценности плавленых сыров дикорастущим сырьем / Л.И. Елисеева // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2023. № 1. С. 110–116. doi: 10.31563/1684-7628-2023-66-2-110-116.
9. Али-Эльдин М.А.Э. Оценка содержания тяжелых металлов и пестицидов в экстрактах, полученных из сусака зонтичного (*Butomus umbellatus*) для возможного использования в качестве добавки в некоторые пищевые продукты / М.А.Э. Али-Эльдин, М.А. Егоров // Естественные науки. 2010. № 4 (33). С. 55–59.
10. Лавриненко А.В. Микроэлементный состав пресноводных макрофитов Астраханской области / А.В. Лавриненко, А.М. Айтимова, А.В. Котельников // Естественные науки. 2011. № 1 (34). С. 64–67.
11. Rozentsvet, O.A. (1995). Lipids from macrophytes of the middle Volga, *Phytochemistry*. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(94\)00728-C](https://doi.org/10.1016/0031-9422(94)00728-C).
12. Васильева В. Т. Эколого-биохимическая характеристика и пищевая ценность сусака зонтичного (*Butomus umbellatus* L.) в центральной Якутии // Наука и образование. 2006. № 3 С. 117–119.
13. Deriy E., *et al.*, Refinement of the physical and chemical methods for the determination of sugars // *Ukr. J. Food Sci.* 2013. Vol. 1. Is. 1. P. 54–58.
14. Trumbo T.A., *et al.*, Applied spectrophotometry: Analysis of a biochemical mixture // *Biochem. Mol. Biol. Edu.* 2013. Vol. 41. Is. 4. P.242–250, <https://doi.org/10.1002/bmb.20694>

Об авторах:

ВЕЛИКОРОДОВ Анатолий Валериевич – профессор, доктор химических наук, профессор кафедры фундаментальной и прикладной химии факультета наук о Земле, химии и техносферной безопасности Астраханского государственного университета им. В. Н. Татищева (414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, д. 1). e-mail: avelikorodov@mail.ru. ORCID: 0000-0001-9802-8252, SPIN-код: 8128-4462, РИНЦ AuthorID: 174591.

РУСАКОВА Елена Геннадьевна – доцент, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и безопасности жизнедеятельности факультета наук о Земле, химии и техносферной безопасности Астраханского государственного университета им. В. Н. Татищева (414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, д. 1). e-mail: elenarusakova@rambler.ru. ORCID: 0000-0003-1595-1231, SPIN-код: 5418-8066, РИНЦ AuthorID: 423947.

Study of the chemical composition of *Butomus umbellatus* rhizomes growing wild in the astrakhan region

A.V. Velikorodov, E.G. Rusakova

Astrakhan Tatishchev State University, Astrakhan

There are numerous data on the consumption of rhizomes of the flowering rush (*Butomus umbellatus* L.), which is widespread in Eurasia, but there is very little data on the chemical composition of the rhizomes and they need to be verified. The chemical composition of the rhizomes of *Butomus umbellatus*, growing in the natural conditions of the Astrakhan region, was studied for the first time. The collection of plant materials was carried out during the period of accumulation of maximum productivity, in September 2023. The plants were collected in the phenophases of the end of flowering, fruit ripening. The rhizomes, thoroughly washed from the soil, were dried in accordance with the rules for drying plant materials and crushed to 0.1-0.2 mm. The ash content in the rhizomes of the umbrella rush was 3.5%. The total lipid content was determined gravimetrically in a Soxhlett apparatus using petroleum ether as a solvent. It was found that the total lipid content in the rhizomes of the flowering rush was 4.9%. It was found that the rhizomes contained 24.8% water-soluble carbohydrates, the protein content was 10.27%. The obtained data differ significantly from those published earlier. Additional studies of the chemical composition and nutritional value of plant materials are needed. In the future, it is of interest to compare the percentage composition of proteins, lipids and carbohydrates of the rhizomes of the flowering rush from different parts of the range and different climatic zones.

Keywords: *flowering rush, Butomus umbellatus, edible plants, wild plants, chemical composition, proteins, lipids, carbohydrates.*

Дата поступления в редакцию: 19.01.2026.

Дата принятия в печать: 23.01.2026.