

УДК 635.21: 543.645.3: 581.192

ИЗВЛЕЧЕНИЕ СТЕРОИДНЫХ ГЛИКОАЛКАЛОИДОВ ИЗ КОЖУРЫ КАРТОФЕЛЯ МЕТОДОМ КИСЛОТНОЙ ЭКСТРАКЦИИ

© *А.В. Семенова**, *В.Г. Гольдштейн*, *В.А. Дегтярев*, *А.А. Морозова*, *Л.Б. Кузина*

Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, Красково, Московская область, 140051 (Россия), e-mail: semnast97@mail.ru

Кожура картофеля содержит множество биологически активных соединений различной направленности, которые возможно извлекать для дальнейшего использования. В кожуре сконцентрировано наибольшее количество стероидных гликоалкалоидов (СГА) картофеля, извлечение которых может представлять интерес для защиты растений от вредителей, а также для разработки фармацевтических препаратов. В статье изучены механизмы, влияющие на накопление и активность СГА в растениях. Исследованы возможности их выделения из кожуры картофеля кислотным способом с изучением влияния факторов экстракции на выход СГА. Объектом исследования являлся картофель сортов Накра и Комета с содержанием СГА – 422 и 251 мг/кг картофеля. Концентрацию перешедших в раствор соединений оценивали спектрофотометрическим методом. Установлена возможность повторных использований экстрактов на новых массах кожуры. При концентрировании экстрактов выпариванием содержание в них СГА заметно повышалось. В результате кислотной экстракции извлекалось 200–1000 мг СГА/кг кожуры (0.20–0.60 мг СГА/мл экстракта). Значимым фактором кислотной экстракции СГА являлся гидромодуль кислоты. Однако концентрация кислоты и температурный фактор тоже оказывали влияние на процесс экстракции. Установлены наиболее оптимальные параметры процесса экстракции стероидных гликоалкалоидов разбавленной серной кислотой: гидромодуль кислоты – 2.3, температура процесса – 55 °С, концентрация кислоты – 0.1% и продолжительность экстракции 30 мин.

Ключевые слова: картофель, побочные продукты, вторичные метаболиты растений, защита растений, концентрация, кратность экстракции, гидромодуль, температура, продолжительность экстракции.

Введение

Большим разнообразием фитостеринов обусловлены дополнительные механизмы защиты растений. Стероидные гликоалкалоиды (СГА) – это вторичные метаболиты фитостеринового синтеза, в котором важнейшим промежуточным соединением выступает циклоартенол. Предшественником биосинтеза СГА является холестерин [1].

Стероидные гликоалкалоиды картофеля – естественный фактор защиты от поедания растений травоядными животными и колорадским жуком. СГА диких видов картофеля – томатин, неотоматин, дегидрокоммерсонин – содержат тетрасахариды в боковых частях молекул. И только культурный вид *Solanum tu-*

Семенова Анастасия Владимировна – младший научный сотрудник, e-mail: semnast97@mail.ru

Гольдштейн Владимир Георгиевич – кандидат технических наук, заведующий отделом, ведущий научный сотрудник, e-mail: 6919486@mail.ru

Дегтярев Владимир Алексеевич – заведующий лабораторией технологии переработки картофеля, старший научный сотрудник, e-mail: volodya.degtarev.58@bk.ru

Морозова Анастасия Алексеевна – младший научный сотрудник, e-mail: iknowwhereibelong@gmail.com

Кузина Лидия Борисовна – заведующая лабораторией технологии модификации крахмала, аспирант, e-mail: kulibo.kavai@yandex.ru

berosum синтезирует гликоалкалоиды с трисахаридными гликонами – соланин и чаконин [2].

Одним из основных направлений селекции картофеля является создание сортов нового поколения, отличающихся повышенной устойчивостью к болезням и сельскохозяйственным вредителям [3].

Современными исследователями идентифицирована серия генов, участвующих в биосинтезе стероидных гликоалкалоидов у картофеля и томатов. Выявлен метаболический путь от ацетил-КоА

* Автор, с которым следует вести переписку.

до образования холестерина, соланидина и, наконец, α -соланина и α -чаконина. Процесс биосинтеза СГА у различных пасленовых достаточно изучен, однако механизмы, регулирующие этот процесс в различных тканях, требуют дальнейших исследований. Известно несколько локусов количественных признаков, контролирующих содержание гликоалкалоидов в листе, но эти признаки различаются в разных сегрегирующих популяциях. Изучен также определенный кластер генов, контролирующей содержание СГА, активирующей транскрипцию нескольких биосинтетических генов в листьях и кожуре клубней картофеля. Недавним исследованием установлено, что снижение содержания стероидных гликоалкалоидов в мякоти клубней является критическим признаком одомашнивания [4].

Содержание СГА в клубнях картофеля сильно зависит от условий хранения. Наибольшее их накопление наблюдается в клубнях, хранившихся при непрямом солнечном свете, затем – в клубнях, хранившихся при флуоресцентном свете. Минимальное накопление – при хранении картофеля в темном помещении. В исследованиях также сообщается, что холодовой стресс при выдерживании клубней в условиях менее 6 °С может усилить накопление СГА, но такое явление наблюдается не всегда [5].

Два связанных с позеленением процесса – образование хлорофилла и соланина при воздействии света – развиваются независимо. Под влиянием света позеленение кожуры клубня становится очевидным. При повышающей регуляции генов, связанных с фотосинтезом и биосинтезом СГА, множество дифференциально экспрессирующихся генов участвует в реакции на стрессы (биотические и абиотические) и в метаболизме флавоноидов. Благодаря своим фунгицидным и инсектицидным свойствам, стероидные гликоалкалоиды защищают растения от биотического стресса [6]. Как полезные полифенольные соединения картофеля, так и токсичные для организма человека гликоалкалоиды образуются в растениях в качестве вторичных метаболитов и служат естественным фактором защиты от вредителей и патогенной микрофлоры. Однако зависимости между содержанием этих групп соединений в картофеле не наблюдается [7]. Помимо токсичного действия стероидных гликоалкалоидов на фитопатогенные микроорганизмы, их накопление на свету способствует стимулированию экспрессии генов, ответственных за устойчивость к болезням [6].

В условиях абиотического стресса (засухи) перекрестные взаимодействия фитогормонов являются не только сигнальными факторами. Они также модифицируют вторичные метаболиты растений для защиты от насекомых, сосущих сок [8].

Помимо отпугивающего горького вкуса стероидных гликоалкалоидов, их инсектицидная активность объясняется воздействием на многих насекомых на молекулярном, клеточном и организменном уровнях. Агликоны СГА способны встраиваться в липидный бислой грибов, после чего начинается взаимодействие между сахарными фрагментами молекул СГА, что ведет к образованию необратимого комплекса. Далее образуется жесткий матрикс, который разрушает грибковую мембрану и приводит к лизису клетки [9].

Однако по данным исследований, не установлена связь между высоким содержанием СГА и устойчивостью клубней к фитофторозу [10].

Вследствие высокой токсичности СГА для организма человека во всем мире предпринимаются усилия по разработке сортов картофеля с минимальным их содержанием, а также по постоянному повышению качества методов их определения [11].

В современных исследованиях показано влияние биостимуляторов с функциональными элементами на снижение концентрации СГА в листьях и клубнях картофеля [12].

В результате изучения свойств стероидных гликоалкалоидов установлена возможность их применения для создания фармацевтических препаратов для снижения холестерина и эффективного средства лечения злокачественных опухолей кожи человека, включая базальноклеточный и плоскоклеточный рак кожи [13].

Предприятиями по переработки картофеля отводится большое количество картофельной кожуры в виде побочных продуктов. Эти побочные продукты используются в качестве кормов для крупного рогатого скота, свиней и птицы [14]. Поскольку содержание СГА наиболее высоко именно в кожуре картофеля, их извлечение позволит обеспечить безопасность компонентов кормов из побочных продуктов переработки картофеля, а экстрагируемые компоненты в дальнейшем могут найти применение в качестве натуральных инсектицидов, а также в разработке фармацевтических препаратов.

Картофельная кожура богата множеством биологически активных соединений, которые представляют интерес для различных пищевых и непищевых областей применения. Использование кожуры позволяет извлекать из нее различные ценные соединения и снижать нагрузку на окружающую среду [15]. Из

картофельной кожуры экстрагируют полифенольные соединения [16]. Рассмотрены возможности получения биоэтанола из картофельной кожуры [17].

Очистка клубней от кожуры позволяет значительно уменьшить содержание СГА во время приготовления картофеля. Объемное отношение кожуры картофеля к мякоти уменьшается по мере увеличения объема клубней [18].

Результаты множественных сравнений показывают, что содержание СГА в картофельных чипсах после обжарки ниже, чем до обжаривания. В связи с этим большое количество стероидных гликоалкалоидов в картофеле возможно устранить в процессе жарки. Их концентрация значительно уменьшается при жарке картофеля с пигментированной мякотью [19, 20]. Стероидные гликоалкалоиды разрушаются до различной степени при температуре свыше 150 °С и быстро разрушаются при 190 °С. Следовательно, причиной снижения содержания СГА при жарке может быть температурный фактор [18].

На сегодняшний день известны различные способы выделения СГА. Существует водно-спиртовой способ экстракции из картофельной кожуры [21]. Исследованиями показано, что при твердожидкостной экстракции наблюдается более существенный выход СГА из кожуры, чем при ультразвуковой. Извлечение стероидных гликоалкалоидов в обоих случаях улучшается с повышением температуры, в то время как амплитуда и продолжительность экстракции не являются решающими факторами [22].

В предыдущем нашем исследовании был проведен анализ качественных показателей 21 сорта картофеля из коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» для определения возможности их переработки и использования в качестве столовых сортов. При этом в некоторых сортах наблюдалось запредельно высокое содержание СГА [20].

В данном исследовании рассматривается возможность извлечения СГА из кожуры картофеля методом кислотной экстракции с изучением влияния факторов экстракции на выход СГА.

Цель работы – исследовать процесс кислотной экстракции СГА из кожуры картофеля с выявлением значимых факторов экстракции и установить наиболее эффективные параметры процесса для возможности получения безопасных кормов для сельскохозяйственных животных и дальнейшего изучения инсектицидных, антимикробных, а также противоопухолевых свойств извлекаемых СГА.

Экспериментальная часть

Качественные показатели клубней картофеля оценивали в соответствии с методическими рекомендациями [23] с применением следующих методов и приборов: массовую долю сухих веществ (сухого веса) в клубнях картофеля определяли экспресс-методом высушивания на приборе Кварц-21 М-33; крахмала – методом Эверса с использованием поляриметра «Polartronic-N»; редуцирующих сахаров – поляриметрическим методом с использованием поляриметра «Polartronic-N». Массовую долю СГА определяли спектрофотометрическим методом в модификации Гусевой и Пасешниченко [24] с использованием УФ-3200 спектрофотометра.

В качестве материала для исследования процесса экстракции СГА выбраны сорта картофеля Накра и Комета, с повышенным содержанием СГА в клубнях.

Вначале исследовалась возможность кратной экстракции СГА разбавленными органическими и минеральными кислотами и эффективность сгущения экстракта. Процесс экстракции проводили следующим образом. Клубни картофеля сорта Накра отмывали от примесей. Отделяли кожуру на бытовой картофеле-чистке «FIRST» Austria. В кожуре определяли содержание сухих веществ (сухого веса) экспресс-методом высушивания [23] на приборе Кварц-21 М-33. Полученную кожуру смешивали с экстрагентом. Для сравнения поочередно использовали 5%-ный раствор уксусной кислоты и 0.5% раствор серной кислоты, при соотношении кожура : экстрагент 1 : 2.5. Полученную смесь гомогенизировали в течение 3 мин на бытовом блендере. Экстракцию проводили при комнатной температуре в течение 30 мин, перемешивая на лопастной мешалке. Далее смесь нейтрализовывали 10%-ным раствором щелочи до pH 6.5. Кожуру отделяли центрифугированием на лабораторной центрифуге ОС-6М в течение 15 мин при 5000 об./мин. Надосадочную жидкость фильтровали от примесей мелкой мезги. В результате получали экстракт, которым повторно обрабатывали новую партию кожуры.

Для сорта Комета проводили однократную экстракцию 5% раствором уксусной кислоты с последующим сгущением раствора концентрацией СВ от 5 до 10%. Уваривание экстракта проводили на водяной бане, степень концентрирования контролировали по рефрактометру УРЛ модель-1.

На следующем этапе оценивалось влияние различных факторов на процесс экстракции, для чего была составлена матрица эксперимента по исследованию экстракции в раствор СГА в пересчете выхода в мг/кг кожуры. Исследование проводилось на сорте Комета, в качестве растворителя была использована разбавленная серная кислота. Экстракцию проводили по изложенной выше схеме при одинаковой продолжительности – 30 мин, но при различных параметрах: концентрация кислоты (0.1–0.5%), температура (20–55 °С) и гидромодуль (1–2.3). Таким образом, исследовалось влияние трех факторов экстракции, при различных значениях факторов, на выход стероидных гликоалкалоидов. С использованием программы STATISTICA 10 проводилась математическая обработка данных. Для оценки статистических параметров применялся метод дескриптивной статистики. Значимость факторов экстракции оценивали по критерию Спирмена (при $p < 0.05$). В результате анализа данных были выявлены наиболее эффективные параметры кислотной экстракции

Концентрацию СГА в последовательно получаемых экстрактах определяли спектрофотометрическим методом в соответствии с методическими указаниями [24] по модификации Гусевой и Пасешниченко на спектрофотометре УФ-3200. Анализ основан на количественной оценке интенсивности окраски СГА на холоде в присутствии серной кислоты и формалина.

Обсуждение результатов

Пригодность картофеля для переработки на картофелепродукты определяют такие показатели, как содержание сухих веществ (более 20%), массовые доли редуцирующих сахаров (0.2–0.5%) и крахмала (не менее 16%), концентрация СГА в клубне (не более 200 мг/кг массы картофеля). Для использования сортов в качестве столовых определяющим показателем является только концентрация СГА (не более 200 мг/кг) [25]. В результате оценки данных показателей у различных сортов картофеля из коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха» для определения возможности их переработки и использования в качестве столовых сортов было установлено, что сорта Накра и Комета отличаются запредельно высокой концентрацией СГА.

В таблице 1 приведены качественные показатели сортов Накра и Комета.

В предыдущем исследовании [20] была выявлена взаимосвязь между качественными показателями клубней картофеля. С увеличением массовой доли сухих веществ и редуцирующих сахаров наблюдалось повышение концентрации СГА.

Данные таблицы 1 свидетельствуют о том, что массовая доля стероидных гликоалкалоидов в этих сортах сильно превышает допустимое значение 200 мг/кг [26], в связи с чем они являются непригодными для переработки на картофелепродукты и использования в качестве столовых сортов, но могут быть интересны в качестве источника стероидных гликоалкалоидов.

После первого извлечения СГА проверялась эффективность повторного использования экстракта на новой партии кожуры. Возможность кратной экстракции оценивали по концентрации СГА, перешедших в раствор, относительно массы обработанной кожуры картофеля сорта Накра (табл. 2).

После кратной экстракции не наблюдалось существенного снижения выхода СГА, следовательно, возможно повторное использование экстрактов на новой партии кожуры.

При однократной экстракции СГА 5% раствором уксусной кислоты из кожуры картофеля сорта Комета извлекалось 347.0 мг/кг кожуры. При упаривании полученного экстракта (с концентрацией СВ 5%) на водяной бане до концентрации СВ 10% наблюдалось значительное повышение концентрации СГА в экстракте – до 1006.0 мг/кг кожуры.

Далее оценивалось влияние трех различных факторов экстракции (температура процесса – 20–55 °С, концентрация серной кислоты – 0.1–0.5%, гидромодуль кислоты – 1–2.3) на выход соединений. Результаты анализа выхода СГА при различных значениях факторов экстракции приведены в таблицах 3–5.

Таблица 1. Качественные показатели сортов картофеля

Сорт	Цвет мякоти	Сухие вещества, %	Крахмал, % массы картофеля	Редуцирующие сахара, % массы картофеля	СГА, мг/ кг массы картофеля	Сухие вещества кожуры, %
Накра	Желтовато-кремовый	27.8±0.1	21.7±0.9	0.31±0.09	422±26	23.0±0.1
Комета	Зеленовато-желтый	21.9±0.3	15.5±0.7	0.05±0.02	251±18	20.5±0.3

Таблица 2. Анализ возможности кратной экстракции СГА различными кислотами

Используемая кислота	Кратность экстракции	Концентрация СГА, мг/кг кожуры
Уксусная кислота 5%	1	716.3
	2	1387.0
	3	954.8
Серная кислота 0.5%	1	954.0
	2	893.7
	3	844.6

Таблица 3. Выход СГА при различных значениях факторов экстракции

№ опыта	Концентрация кислоты, %	Температура, °С	Гидромодуль (объем, кратный навеске кожуры)	Выход СГА, мг/кг кожуры
1	0.1	20	1.0	300.1
2	0.1	30	1.3	383.6
3	0.1	40	1.6	488.8
4	0.1	50	2.0	565.1
5	0.1	55	2.3	685.1
6	0.2	20	1.3	358.4
7	0.2	30	1.6	308.7
8	0.2	40	2.0	500.1
9	0.2	50	2.3	594.7
10	0.2	55	1.0	313.2
11	0.3	20	1.6	579.2
12	0.3	30	2.0	543.7
13	0.3	40	2.3	484.2
14	0.3	50	1.0	178.3
15	0.3	55	1.3	244.7
16	0.4	20	2.0	430.0
17	0.4	30	2.3	420.0
18	0.4	40	1.0	246.8
19	0.4	50	1.3	257.0
20	0.4	55	1.6	347.9
21	0.5	20	2.3	373.2
22	0.5	30	1.0	307.3
23	0.5	40	1.3	590.3
24	0.5	50	1.6	477.7
25	0.5	55	2.0	411.4

Таблица 4. Данные параметрической статистики для факторов экстракции

Параметр	Дисперсия, ед. ²	Стандартное отклонение, ед.	Доверительный интервал -95.000%	Доверительный интервал +95.000%	Коэффициент вариации, %	Ошибка среднего, ед.
Концентрация кислоты, %	0.02	0.1443	0.1127	0.2008	48.11252	0.02887
Температура, °С	170.83	13.0703	10.2057	18.1828	33.51365	2.61406
Гидромодуль	0.23	0.4770	0.3724	0.6635	29.08351	0.09539
Концентрация СГА, мг/кг кожуры	17453.42	132.1114	103.1563	183.7870	31.78964	26.42228

Таблица 5. Корреляционная матрица исследуемых показателей по критерию Спирмена (уровень значимости $p=0.05$)

Показатели	Концентрация кислоты, %	Температура, °С	Гидромодуль	Концентрация СГА, мг/кг кожуры
Концентрация кислоты, %	1	0	0	-0.184
Температура, °С	0	1	0	-0.0196
Гидромодуль	0	0	1	0.679
Концентрация СГА, мг/кг кожуры	-0.184	-0.0196	0.679	1

Зависимость выхода С (СГА) от гидромодуля GM (рис. 1) может быть представлена формулой ($r=0.6592$; $p=0.0003$; $r^2=0.4346$):

$$C(\text{СГА})=116.1268+182.5934 \cdot \text{GM} \quad (1)$$

Значимость гидромодуля связана с его непосредственным влиянием на выход экстракта и на насыщенность раствора извлекаемыми из тканей кожуры соединениями. Максимальное извлечение стероидных гликоалкалоидов наблюдалось при гидромодуле 2.3.

Однако для определения оптимальных параметров экстракции необходимо учитывать все факторы в совокупности. При одном и том же гидромодуле, но различной концентрации кислоты и температуре процесса наблюдается различный выход СГА. Например, при экстракции 0.4%-ной кислотой с гидромодулем 1.3 при 50 °С извлекалось 257.0 мг СГА/кг (0.21 мг СГА/мл экстракта). При использовании 0.5%-ной кислоты с таким же гидромодулем при 40 °С выход СГА увеличился до 590.3 мг/кг (0.39 мг/мл экстракта). При экстракции 0.2% кислотой с гидромодулем 2.3 при 50 °С извлекалось 594.7 мг СГА/кг (0.26 мг СГА/мл экстракта). При использовании 0.5% кислоты с таким же гидромодулем, но без нагревания, наблюдалось снижение выхода до 373.2 мг СГА/кг (0.15 мг СГА/мл экстракта). Из этого следует, что условия процесса влияют на результат в совокупности.

В программе STATISTICA 10 получен 3D-график распределения выхода СГА по концентрации кислоты и температуре процесса (рис. 2).

Максимальное извлечение стероидных гликоалкалоидов наблюдалось при температуре 55 °С уже при минимальной концентрации кислоты (0.1%).

На примере сорта Накра изучалась зависимость выхода СГА в раствор от временного фактора (рис. 3). Эксперимент проводился с 0.1%-ным раствором серной кислоты при гидромодуле 2.3 и температуре 55 °С.

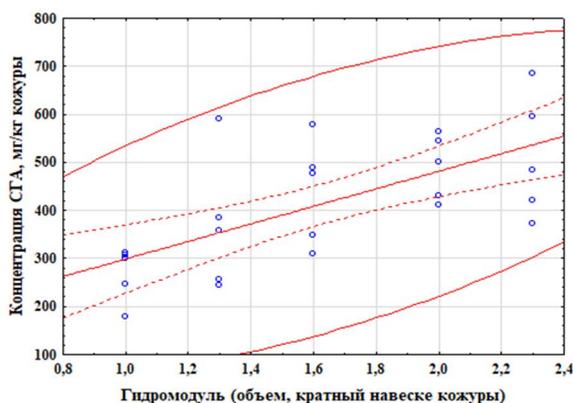


Рис. 1. Зависимость выхода СГА от гидромодуля

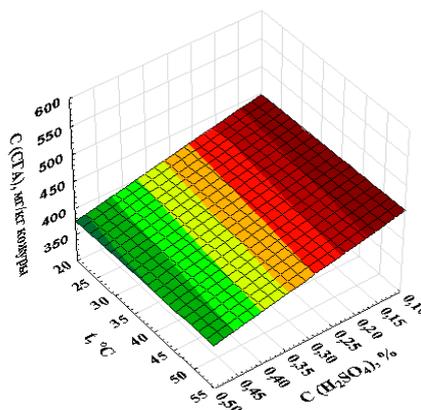


Рис. 2. 3D-график распределения выхода СГА по концентрации кислоты и температуре процесса

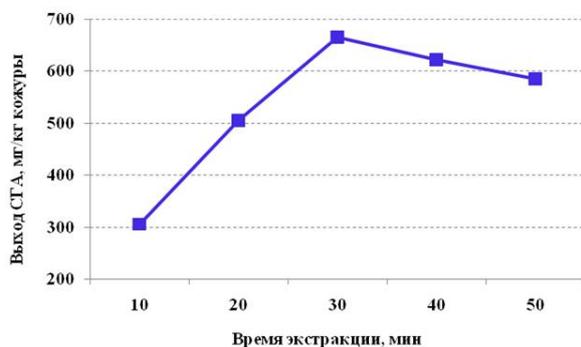


Рис. 3. Зависимость выхода СГА от времени экстракции

Показатель экстракции стероидных гликоалкалоидов интенсивно увеличивался с 10 до 30 мин, и при 30 мин достигал своего максимума. Далее он постепенно снижался. Наименьшее время, при котором извлекалось наиболее высокое количество СГА (665.3 мг/кг кожуры), составило 30 мин. Дальнейшая экстракция неэффективна в связи с отсутствием роста выхода СГА при увеличении временных затрат на процесс экстракции.

Выводы

Кислотный способ экстракции позволяет эффективно извлекать стероидные гликоалкалоиды из картофельной кожуры, которая в больших количествах образуется при переработке картофеля. Получаемые экстракты СГА возможно использовать на новых массах кожуры для повторной экстракции, при этом количество извлекаемых соединений сильно не снижается. Эксперимент показал, что концентрация СГА существенно повышается при сгущении экстракта с концентрацией СВ 5% до 10%. Из кожуры, выделенной из сортов с высокой массовой долей СГА, извлекалось 200–1000 мг СГА/кг кожуры (0.20–0.60 мг СГА/мл экстракта).

В качестве растворителя наиболее целесообразно использовать разбавленную серную кислоту, в связи с ее доступностью и небольшим расходом на приготовление раствора с высокой экстрагирующей способностью. Математическая обработка данных показала, что значимым фактором кислотной экстракции СГА является гидромодуль кислоты. Однако на выход СГА при одинаковом гидромодуле кислоты оказывают влияние температура, концентрация кислоты, продолжительность процесса, то есть имеет место совокупность факторов. Установлено, что наиболее эффективно процесс экстракции протекает при гидромодуле серной кислоты 2.3, температуре процесса 55 °С, концентрации кислоты 0.1% и продолжительности экстракции 30 мин.

На разработанный способ экстракции стероидных гликоалкалоидов получен патент [27]. Значительное снижение СГА в картофельной кожуре в результате экстракции может снизить токсичность кормов, полученных из побочных продуктов промышленной переработки картофеля.

Экстракты СГА могут найти применение в качестве инсектицида натурального происхождения для защиты от сельскохозяйственных вредителей и патогенной микрофлоры при вегетации растений.

В результате изучения свойств экстрактов СГА, специалистами в области фармацевтики могут быть созданы различные препараты, благотворно влияющие на лечение раковых опухолей, снижение холестерина и воспалительных процессов, а также подавляющие активность патогенных грибов, бактерий и вирусов.

Список литературы

1. Сечин Е.Н., Маракаев О.А., Гаврилов Г.Б. Определение стероидного статуса генеративных особей пальчатокоренника пятнистого (*Dactylorhiza maculata* (L.) So6) (Orchidaceae) методом ГХ-МС // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 171–178. DOI: 10.14258/jcprm.2020047320.
2. Пузанский Р.К., Емельянов В.В., Шишова М.Ф. Метаболомика – современный подход при изучении адаптации растений картофеля к биотическому и абиотическому стрессу // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. №1. С. 15–28. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.15rus.
3. Еренкова Л.А., Моляко А.А., Марухленко А.В., Борисова Н.П. Сорта картофеля нового поколения, устойчивые к фитопатогенам // Селекция, семеноводство и генетика. 2018. №4. С. 47–50.
4. Peng Zh., Wang P., Tang D., Li C.-H., Huang S., Zhang Ch., Shang Y. Inheritance of steroidal glycoalkaloids in potato tuber flesh // Journal of Integrative Agriculture. 2019. Vol. 18(10). Pp. 2255–2263. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62718-8.
5. Kasnak C., Artik N. Change in Some Glycoalkaloids of Potato under Different Storage Regimes // European Potato Journal. 2018. Vol. 61(2). Pp. 183–193. DOI: 10.1007/s11540-018-9367-2.
6. Zhang W., Zuo C., Chen Zh., Kang Y., Qin Sh. RNA Sequencing Reveals That Both Abiotic and Biotic Stress-Responsive Genes are Induced during Expression of Steroidal Glycoalkaloid in Potato Tuber Subjected to Light Exposure // Genes. 2019. Vol. 10(11). 920. DOI: 10.3390/genes10110920.
7. Kowalczewski P.L., Zembrzuska J., Drożdżyńska A., Smarzyński K., Radzikowska D., Kieliszek M., Jeżowski P., Sawinska Z. Influence of Potato Variety on Polyphenol Profile Composition and Glycoalkaloid Contents of Potato Juice // Open Chemistry. 2021. Vol. 19 (1). Pp. 1225–1232. DOI: 10.1515/chem-2021-0109.
8. Quandahor P., Gou Yu., Lin Ch., Dawuda M.M., Coulter J.A., Liu Ch. Phytohormone Cross-Talk Synthesizes Glycoalkaloids in Potato (*Solanum tuberosum* L.) in Response to Aphid (*Myzus persicae* Sulzer) Infestation under Drought Stress // Insects. 2020. Vol. 11(11). 724. DOI: 10.3390/insects11110724.
9. Pacifico D., Lanzanova C., Pagnotta E., Bassolino L., Mastrangelo A.M., Marone D., Matteo R., Lo Scalzo R., Balconi C. Sustainable Use of Bioactive Compounds from *Solanum Tuberosum* and Brassicaceae Wastes and by-Products for Crop Protection – A Review // Molecules. 2021. Vol. 26 (8). 2174. DOI: 10.3390/molecules26082174.
10. Зотева Н.М., Васипов В.В., Семенова А.Г. Устойчивость клубней к фитофторозу и содержание гликоалкалоидов у образцов картофеля различного происхождения // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2021. №1 (62). С. 77–84. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-1-77-84.
11. Singh B., Dutt S., Raigond P. Potato Glycoalkaloids // Potato. Singapore, 2020. Pp. 191–211. DOI: 10.1007/978-981-15-7662-1_11.
12. Mystkowska I. Reduction of glycoalkaloids in potato under the influence of biostimulators // Applied Ecology and Environmental Research. 2019. Vol. 17(2). Pp. 3567–3574. DOI: 10.15666/aer/1702_35673574.

13. Friedman M. Potato Glycoalkaloids and Metabolites: Roles in the Plant and in the Diet // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2006. Vol. 54. Pp. 8655–8681. DOI: 10.1021/jf061471t.
14. Алехин Ю.Н., Елизарова Т.И., Лазарев Б.П., Миньченко С.В. Возможности использования отходов производства сухого вареного быстрорастворимого картофельного пюре в кормлении сельскохозяйственных животных // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2014. №2. С. 13–14.
15. Joshi A., Sethi Sh., Arora B., Azizi A.F., Thippeswamy B. Potato Peel Composition and Utilization // Potato. Singapore, 2020. Pp. 229–245. DOI: 10.1007/978-981-15-7662-1_13.
16. Venturi F., Bartolini S., Sanmartin C., Orlando M., Taglieri I., Macaluso M., Lucchesini M., Trivellini A., Zinnai A., Mensuali A. Potato Peels as a Source of Novel Green Extracts Suitable as Antioxidant Additives for Fresh-Cut Fruits // Applied Sciences. 2019. Vol. 9(12). 2431. DOI: 10.3390/app9122431.
17. Omojola A., Kallon D., Owoputi A. Biofuel Generation from Potato Peel Waste: Current State and Prospects // Recycling. 2022. Vol. 7(2). 23. DOI: 10.3390/recycling7020023.
18. Nie X., Zhang G., Lv Sh., Guo H. Steroidal glycoalkaloids in potato foods as affected by cooking methods // International Journal of Food Properties. 2018. Vol. 21(1). Pp. 1875–1887. DOI: 10.1080/10942912.2018.1509346.
19. Omayio D.G., Abong G.O., Okoth M.W. Review of Occurrence of Glycoalkaloids in Potato and Potato Products // Current Research in Nutrition and Food Science Journal. 2016. Vol. 4 (3). Pp. 195–202. DOI: 10.12944/CRNFSJ.4.3.05.
20. Гольдштейн В.Г., Дегтярев В.А., Коваленок В.А., Семенова А.В., Морозова А.А. Определение пригодности различных сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с белой и пигментированной мякотью для переработки на картофелепродукты // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. №23(1). С. 98–109. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.1.98-109.
21. Maldonado A.F.S., Mudge E.M., Gänzle M.G., Schieber A. Extraction and fractionation of phenolic acids and glycoalkaloids from potato peels using acidified water/ethanol-based solvents // Food Research International. 2014. Vol. 65. Pp. 27–34. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.06.018.
22. Apel C., Lyng J., Papoutsis K., Harrison S.M., Brunton N.P. Screening the effect of different extraction methods (ultrasound-assisted extraction and solid-liquid extraction) on the recovery of glycoalkaloids from potato peels: Optimisation of the extraction conditions using chemometric tools // Food and Bioprocess Processing. 2020. Vol. 119. Pp. 277–286. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.06.018.
23. Лукин Н.Д., Кирюхина И.И., Костенко В.Г. Общие методы анализа в технологическом контроле производства крахмала и крахмалопродуктов. М., 2007. 158 с.
24. Ладыгина Е.А. Гликоалкалоиды в картофеле и методы их определения. М., 2009. 25 с.
25. Симаков Е.А., Митюшкин А.В., Митюшкин А.В., Журавлев А.А. Современные требования к сортам картофеля различного целевого использования // Достижения науки и техники АПК. 2016. №30 (11). С. 45–48.
26. Friedman M., McDonald G.M. Potato Glycoalkaloids: chemistry, analysis, safety, and plant physiology // Crit. Rev. Plant Sci. 1997. Vol. 16 (1). Pp. 55–132.
27. Патент №2763892 (РФ). Способ извлечения гликоалкалоидов из очищенной кожуры картофеля при производстве картофелепродуктов для использования в качестве инсектицида и подавления патогенной микрофлоры при вегетации сельскохозяйственных растений / В.Г. Гольдштейн, В.А. Дегтярев, В.А. Бызов, А.В. Семенова, А.А. Морозова. – 11.01.2022.

Поступила в редакцию 10 мая 2022 г.

После переработки 16 декабря 2022 г.

Принята к публикации 20 декабря 2022 г.

Для цитирования: Семенова А.В., Гольдштейн В.Г., Дегтярев В.А., Морозова А.А., Кузина Л.Б. Извлечение стероидных гликоалкалоидов из кожуры картофеля методом кислотной экстракции // Химия растительного сырья. 2023. №2. С. 269–278. DOI: 10.14258/jcrpm.20230211355.

*Semenova A.V.**, *Gol'dshteyn V.G.*, *Degtyarev V.A.*, *Morozova A.A.*, *Kuzina L.B.* ISOLATION OF STEROIDAL GLYCOALKALOIDS FROM POTATO PEEL BY ACID EXTRACTION

All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, ul. Nekrasova, 11, Kraskovo, Moscow region, 140051 (Russia), Nekrasova st., 11, Kraskovo, Moscow region, 140051 (Russia), e-mail: semnast97@mail.ru

The peel of a potato contains many biologically active compounds of various directions, which can be extracted for further use. The peel contains the largest amount of steroidal glycoalkaloids (SGAs) of potato, the extraction of which may be interesting for protecting plants from pests, as well as for the development of pharmaceuticals. The article studied the mechanisms that affect the accumulation and activity of SGAs in plants. Possibilities of their isolation from the potato peel by the acid method with the study of the effect of extraction factors on the yield of SGAs were studied. The object of the study was potato varieties Nakra and Kometa with the content of SGAs 422 and 251 mg/kg of potatoes. The concentration of compounds that passed into the solution was estimated by the spectrophotometric method. The possibility of reusing extracts on new peel masses has been established. When the extracts were concentrated by evaporation, the content of SGAs in them increased markedly. As a result of acid extraction, 200–1000 mg of SGAs/kg of peel (0.20–0.60 mg of SGAs/ml of extract) were extracted. Hydromodulus is a significant factor of acid extraction of SGAs. However, acid concentration and temperature can also influence the extraction process. The most optimal parameters for the process of extraction of steroidal glycoalkaloids with dilute sulfuric acid were established: acid hydromodulus 2.3, temperature 55 °C, acid concentration 0.1%, and extraction duration 30 min.

Keywords: potato, by-products from potato, plant secondary metabolites, plant protection, concentration, multiplicity of extraction, hydromodulus, temperature, extraction duration.

References

1. Sechin Ye.N., Marakayev O.A., Gavrillov G.B. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 171–178. DOI: 10.14258/jcpm.2020047320. (in Russ.).
2. Puzanskiy R.K., Yemel'yanov V.V., Shishova M.F. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2018, vol. 53, no. 1, pp. 15–28. DOI: 10.15389/agrobiology.2018.1.15rus. (in Russ.).
3. Yerenkova L.A., Molyavko A.A., Marukhlenko A.V., Borisova N.P. *Selektsiya, semenovodstvo i genetika*, 2018, no. 4, pp. 47–50. (in Russ.).
4. Peng Zh., Wang P., Tang D., Li C.-H., Huang S., Zhang Ch., Shang Y. *Journal of Integrative Agriculture*, 2019, vol. 18(10), pp. 2255–2263. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62718-8.
5. Kasnak C., Artik N. *European Potato Journal*, 2018, vol. 61(2), pp. 183–193. DOI: 10.1007/s11540-018-9367-2.
6. Zhang W., Zuo C., Chen Zh., Kang Y., Qin Sh. *Genes*, 2019, vol. 10(11), 920. DOI: 10.3390/genes10110920.
7. Kowalczewski P.L., Zembrzuska J., Drożdżyńska A., Smarzyński K., Radzikowska D., Kieliszek M., Jeżowski P., Sawinska Z. *Open Chemistry*, 2021, vol. 19 (1), pp. 1225–1232. DOI: 10.1515/chem-2021-0109.
8. Quandahor P., Gou Yu., Lin Ch., Dawuda M.M., Coulter J.A., Liu Ch. *Insects*, 2020, vol. 11(11), 724. DOI: 10.3390/insects11110724.
9. Pacifico D., Lanzanova C., Pagnotta E., Bassolino L., Mastrangelo A.M., Marone D., Matteo R., Lo Scalzo R., Balconi C. *Molecules*, 2021, vol. 26 (8), 2174. DOI: 10.3390/molecules26082174.
10. Zoteyeva N.M., Vasipov V.V., Semenova A.G. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021, no. 1 (62), pp. 77–84. DOI: 10.24412/2078-1318-2021-1-77-84. (in Russ.).
11. Singh B., Dutt S., Raigond P. *Potato*. Singapore, 2020, pp. 191–211. DOI: 10.1007/978-981-15-7662-1_11.
12. Mystkowska I. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2019, vol. 17(2), pp. 3567–3574. DOI: 10.15666/aer/1702_35673574.
13. Friedman M. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, vol. 54, pp. 8655–8681. DOI: 10.1021/jf061471t.
14. Alekhin Yu.N., Yelizarova T.I., Lazarev B.P., Min'chenko S.V. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya*, 2014, no. 2, pp. 13–14. (in Russ.).
15. Joshi A., Sethi Sh., Arora B., Azizi A.F., Thippeswamy B. *Potato*. Singapore, 2020, pp. 229–245. DOI: 10.1007/978-981-15-7662-1_13.
16. Venturi F., Bartolini S., Sanmartin C., Orlando M., Taglieri I., Macaluso M., Lucchesini M., Trivellini A., Zinnai A., Mensuali A. *Applied Sciences*, 2019, vol. 9(12), 2431. DOI: 10.3390/app9122431.
17. Omojola A., Kallon D., Owoputi A. *Recycling*, 2022, vol. 7(2), 23. DOI: 10.3390/recycling7020023.
18. Nie X., Zhang G., Lv Sh., Guo H. *International Journal of Food Properties*, 2018, vol. 21(1), pp. 1875–1887. DOI: 10.1080/10942912.2018.1509346.
19. Omayio D.G., Abong G.O., Okoth M.W. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 2016, vol. 4 (3), pp. 195–202. DOI: 10.12944/CRNFSJ.4.3.05.
20. Gol'dshteyn V.G., Degtyarev V.A., Kovalenok V.A., Semenova A.V., Morozova A.A. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*, 2022, no. 23(1), pp. 98–109. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.1.98-109. (in Russ.).
21. Maldonado A.F.S., Mudge E.M., Gänzle M.G., Schieber A. *Food Research International*, 2014, vol. 65, pp. 27–34. DOI: 10.1016/j.foodres.2014.06.018.
22. Apel C., Lyng J., Papoutsis K., Harrison S.M., Brunton N.P. *Food and Bioprocesses Processing*, 2020, vol. 119, pp. 277–286. DOI: 10.1016/j.fbp.2019.06.018.

* Corresponding author.

23. Lukin N.D., Kiryukhina I.I., Kostenko V.G. *Obshchiye metody analiza v tekhnologicheskoy kontrolye proizvodstva krakhmala i krakhmaloproduktov*. [General methods of analysis in the technological control of the production of starch and starch products]. Moscow, 2007, 158 p. (in Russ.).
24. Ladygina Ye.A. *Glikoalkaloidy v kartofele i metody ikh opredeleniya*. [Glycoalkaloids in potatoes and methods for their determination]. Moscow, 2009, 25 p. (in Russ.).
25. Simakov Ye.A., Mityushkin A.V., Mityushkin A.V., Zhuravlev A.A. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016, no. 30 (11), pp. 45–48. (in Russ.).
26. Friedman M., McDonald G.M. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 1997, vol. 16 (1), pp. 55–132.
27. Patent 2763892 (RU). 11.01.2022. (in Russ.).

Received May 10, 2022

Revised December 16, 2022

Accepted December 20, 2022

For citing: Semenova A.V., Gol'dshteyn V.G., Degtyarev V.A., Morozova A.A., Kuzina L.B. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 269–278. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230211355.