

КАРТОФЕЛЬ: НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ТРАДИЦИОННЫЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКТ И ЕГО УПОТРЕБЛЕНИЕ В ВИДЕ СОКА* (обзор)

Е.П. ШАНИНА[✉], Д.А. ОБЕРЮХТИН, А.Е. ЧЕРНИЦКИЙ

Традиционно картофель употребляют в термически обработанном виде (вареном, жареном, запеченном), при этом значительная часть полезных свойств теряется (А.Д. Fabbri с соавт., 2015; J. Tian с соавт., 2016). При такой обработке заметно изменяются минеральный и витаминный состав продукта, содержание пищевых волокон и активность вторичных метаболитов (J. Tian с соавт., 2016; А.Т. Ророва, 2019). Здоровой альтернативой термически обработанному картофелю может стать свежесжатый картофельный сок. О его использовании в народной медицине известно с начала XIX века (J.E. Vlachojannis с соавт., 2010), в то же время лишь единичные научные исследования описывают физиологические эффекты, которые оказывает употребление картофельного сока на организм экспериментальных животных и человека. Один из уникальных компонентов картофельного сока — «резистентный крахмал» (L. Copeland с соавт., 2009), который не усваивается в организме человека (P.J. Butterworth с соавт., 2011) и положительно влияет на микробиоту кишечника (I. Martinez с соавт., 2010), нормализует содержание инсулина и глюкагоноподобного пептида-1 в сыворотке крови (А.А. Rashed с соавт., 2022). Из всех известных на сегодняшний день растительных белков белок картофеля оказался наиболее сбалансированным по незаменимым аминокислотам и биодоступным для человека (M. Hussain с соавт., 2021). Ингибиторы протеаз, входящие в его состав, способны регулировать пищеварение и оказывать терапевтическое действие при ожирении (S. Komagnytsky с соавт., 2011; S. Nakajima с соавт., 2011), пататин обладает гиполипидемическим (J. Wu с соавт., 2021), гипотензивным (Y. Fu с соавт., 2019), антиоксидантным и антипролиферативным свойствами (Y. Sun с соавт., 2013). Сырой картофель и полученный из него сок содержат высокие концентрации аскорбиновой кислоты (K.A. Beals с соавт., 2019), витаминов группы В, калия, фосфора, кальция, магния, железа и цинка (K. Zaheer с соавт., 2016; Г.И. Пискун, 2023), необходимых для поддержания здоровья. Сорта картофеля с фиолетовой, красной и желтой окраской клубней — богатейший источник полифенолов, в первую очередь фенольных кислот и антоцианов (Е.П. Шанина, 2013; H. Akyol с соавт., 2016; И.В. Ким с соавт., 2020). Наиболее спорными с точки зрения возможной пользы для здоровья остаются гликоалкалоиды картофеля соланин и хакинин. С одной стороны, их среднее содержание в клубнях картофеля достаточно мало для того, чтобы вызвать симптомы отравления у человека (K. Nishie с соавт., 1971), с другой стороны, в эксперименте с чистыми экстрактами гликоалкалоидов доказано холинблокирующее, антихолинэстеразное (В.А. Воронов с соавт., 2023) и цитотоксическое действие последних (M. Friedman, 2015; D.K. Zhao с соавт., 2021; M.L. Lanteri с соавт., 2023). В настоящем обзоре обсуждаются как потенциальная опасность выявленных эффектов для здоровья человека, так и перспективы использования продукта для коррекции иммунодефицитных состояний, профилактики и лечения онкологических заболеваний (D.K. Zhao с соавт., 2021; M.L. Lanteri с соавт., 2023). Приводятся сведения о современных способах биодетоксикации гликоалкалоидов картофеля (R.C. Hennessy с соавт., 2020). Описываются отдельные исследования биологических эффектов экстракта кожуры картофеля (N. Singh с соавт., 2008) и картофельного сока (R. Miscenese с соавт., 2008; V. Bartova с соавт., 2018). Приведенные сведения показывают, что именно в картофельном соке содержатся все полезные вещества сырого картофеля в их нативном виде. Перспективы использования картофельного сока для функционального питания очевидны, однако еще предстоит определить оптимальные технологические приемы для его массового производства с сохранением биологической активности компонентов.

Ключевые слова: картофель, картофельный сок, крахмал, ингибиторы протеаз, пататин, полифенолы, флавоноиды, фенольные кислоты, витамин С, соланин.

В диетологии давно ведется полемика о пользе и вреде картофеля (*Solanum tuberosum* L.) как продукта питания. В 2018 году Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ, World Health Organization, WHO) опубликовала рекомендации по здоровому питанию, согласно которым взрослому

* Обзор подготовлен в рамках государственных заданий «Создание конкурентоспособных, высокоурожайных сортов зерновых, зернобобовых, кормовых, плодово-ягодных культур и картофеля мирового уровня на основе перспективных генетических ресурсов, устойчивых к био- и абиотическим факторам» (0532-2021-0008) и «Разработка биологических технологий управления здоровьем животных и прижизненного формирования качества продукции животноводства и птицеводства» (0532-2021-0009).

человеку следует ежедневно употреблять 400 г фруктов и овощей за исключением картофеля (1). В качестве основных аргументов, не позволяющих считать картофель продуктом здорового питания, эксперты приводят следующие факты: малое содержание клетчатки в продукте (2), большое содержание крахмала, который при долгом хранении картофеля гидролизует до простых углеводов (преимущественно D-глюкозы, хотя в результате холодного осахаривания в клубнях накапливается и D-фруктоза) (3, 4), высокий гликемический индекс (5), возможное присутствие токсичного для человека гликоалкалоида соланина (6, 7). Картофель не рекомендуется употреблять людям, страдающим сердечно-сосудистыми заболеваниями (8), сахарным диабетом (9), ожирением (10). Однако на сегодняшний день изучены и полезные свойства картофеля, такие как его уникальный минеральный состав (в первую очередь, высокое содержание калия и низкое содержание натрия) (11) и белковый состав (сбалансированное сочетание аминокислот, включая незаменимые аминокислоты аргинин, фенилаланин, валин, лизин, уникальные белки-ингибиторы протеаз и пататин) (12), а также вторичные метаболиты (витамин С, полифенолы, фенольные кислоты, гликоалкалоиды и другие) (13), которые могут иметь потенциальный лечебный и профилактический эффект при ряде социально значимых заболеваний (14).

Первые медицинские записи о применении сырого картофеля принадлежат швейцарскому врачу М. Vircher-Benner (1867-1939 годы), который обнаружил антацидное и спазмолитическое действия картофельного сока при желудочно-кишечных заболеваниях (15). Позднее в исследованиях J.E. Vlachojannis с соавт. (16) было показано, что картофельный сок облегчает симптомы при диспепсических расстройствах. Учитывая сложный многокомпонентный состав картофеля, ключевым фактором, определяющим его физиологические эффекты, может быть способ употребления продукта и наличие либо отсутствие его термической обработки (17). Традиционно картофель употребляют вареным, тушеным, жареным, запеченным, приготовленным на пару или в микроволновой печи (18).

В обзоре J. Tian с соавт. (19) отмечено, что при термической обработке картофеля меняется его минеральный состав (в процессе варки теряется до 50 % калия в результате выщелачивания); утрачиваются водорастворимые витамины (аскорбиновая и никотиновая кислоты, тиамин) как в результате вымывания, так и при атмосферном окислении; происходит денатурация белков; несколько повышается содержание пищевых волокон из-за образования связей между полисахаридами и белками; в той или иной степени (в зависимости от способа приготовления картофеля и времени термического воздействия) снижаются содержание и активность вторичных метаболитов — полифенолов (в том числе антоцианов), каротиноидов и гликоалкалоидов.

Свежевыжатый картофельный сок может стать здоровой альтернативой термически обработанному картофелю. Большая часть его полезных свойств при такой форме употребления сохраняется (18, 19). Об использовании сока картофеля в народной медицине известно с начала XIX века (16). В то же время лишь единичные научные исследования описывают физиологические эффекты употребления сырого картофеля и его компонентов на организм экспериментальных животных и человека.

Цель настоящего обзора — систематизация знаний о биологически активных компонентах сырого картофеля и обоснование употребления картофельного сока в функциональном питании человека.

Поиск источников осуществлялся в сервисах PubMed, Google

Scholar и eLibrary за период с 2013 по 2023 годы. Из 300 статей, обнаруженных по ключевым запросам «potato juice» и «картофельный сок», мы отобрали 80 источников, посвященных исследованию состава картофельного сока и его биологической активности в экспериментах *in vitro* и *in vivo*. Публикации, касающиеся технологий получения, очистки и концентрирования картофельного сока в процессе крахмалопаточного производства, а также изучения сока сладкого картофеля — батата (*sweet potato*, *Ipomoea batatas* L.) мы не включали в работу.

Состав и калорийность сырого картофеля. Пищевая ценность сырого картофеля определяется сбалансированным соотношением наиболее важных питательных веществ. В 100 г клубней содержится менее 1 г жира, 18 г углеводов и 3 г белка. Калорийность сырого картофеля составляет около 75 ккал (20). При тепловой кулинарной обработке картофеля теряется около 6 % жиров, 9 % углеводов и 5 % белков (21).

Главный углевод картофеля крахмал (2-4, 7) состоит из двух фракций — амилопектина (полимер глюкозы с разветвленной цепью) и амилозы (полимер глюкозы с прямой цепью) в постоянном соотношении 3:1 (22). Сырой крахмал человеком практически не усваивается (23), однако в свежесваренном картофеле более 95 % всего крахмала переходит в легкоусвояемую форму (24). Оставшаяся часть — это так называемый резистентный крахмал, он интенсивно ферментируется микробиотой толстого отдела кишечника с образованием короткоцепочечных жирных кислот, которые снижают pH кишечного содержимого, уменьшают токсический эффект аммиака и действуют как пребиотик (20, 25). С помощью технологий пиросеквенирования I. Martinez с соавт. (26) показали, что под влиянием резистентного крахмала в кишечнике увеличивается популяция бактерий *Actinobacteria* sp. и *Bacteroidetes* sp. и уменьшается *Firmicutes* sp.

В обзоре A.A. Rashed с соавт. (27) описывается положительное влияние резистентного крахмала на состояние пациентов с сахарным диабетом 2-го типа — повышение содержания инсулина и глюкагоноподобного пептида-1 в крови, снижение постпрандиальной гликемии (количество глюкозы венозной крови после приема пищи) в 2 раза. Наблюдаемые эффекты свидетельствуют об антидиабетическом действии резистентного крахмала, хотя детальные молекулярные механизмы такого действия еще предстоит изучить.

Белки. Растительные белки служат источником незаменимых аминокислот (28). Показано, что увеличение потребления высококачественного растительного белка вместо животного уменьшает риск возникновения сахарного диабета 2-го типа (29). Поскольку растительные белки очень дешевы (30), их потребление населением увеличивается с течением времени (31).

Содержание белка в картофеле выше, чем в большинстве клубней других растений (20). Говоря о качестве белка, часто используют понятие «биологическая ценность» (БЦ), учитывающее его аминокислотный состав и биодоступность (32). Эталонным белком принято считать яичный белок. Его биологическая ценность принимается за 100 % (33). Картофель имеет относительно высокую БЦ — выше 90 % по сравнению с другими ключевыми растительными источниками белка (рис. 1) (34).

Картофельный белок состоит из 19 аминокислот, включая лизин, метионин, треонин и триптофан (рис. 2) (20, 34-36). Аминокислотный состав картофеля разных сортов может существенно различаться. Так, анализ 22 сортов и гибридов показал, что содержание некоторых аминокислот (аргинин, тирозин и фенилаланин) зависит от генотипа, а общее содержание

белка в картофеле напрямую связано с агроклиматическими условиями его выращивания (35). Было установлено, что у картофеля сорта Лидер, выращенного на Урале, белок на $\frac{1}{3}$ состоит из незаменимых аминокислот — аргинина (0,644 %), фенилаланина (0,430 %), валина (0,369 %) и лизина (0,340 %). Остальные $\frac{2}{3}$ составляют заменимые аминокислоты, из которых в основном встречаются аспарагиновая (1,77 %) и глутаминовая (1,44 %) (35-36).

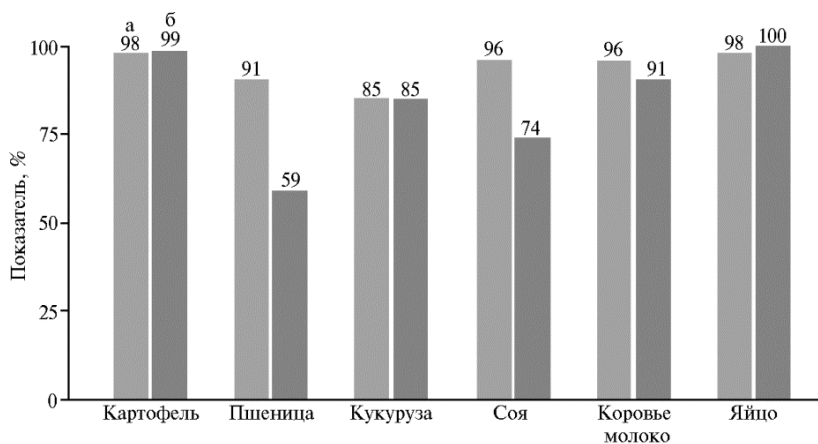


Рис. 1. Переваримость (а) и биологическая ценность (б) белка из различных источников. При построении диаграммы мы использовали экспериментальные данные М. Hussain с соавт. (34).

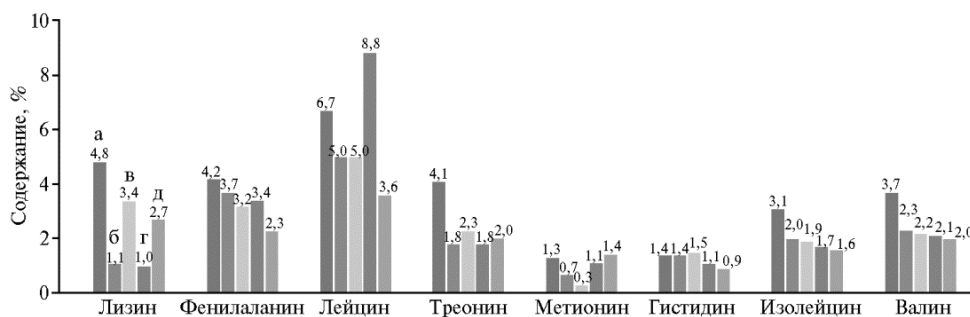


Рис. 2. Содержание незаменимых аминокислот (% от общего количества белка) в картофеле (а), пшенице (б), сое (в), кукурузе (г) и яйце (д). При построении диаграммы мы использовали экспериментальные данные М. Hussain с соавт. (34).

В состав картофеля входят ингибиторы протеаз (50 % от белкового состава), пататин (40 %) и другие белки (10 %), однако их процентное соотношение сильно варьируется в зависимости от сорта и условий выращивания (34).

К ингибиторам протеаз относятся водорастворимые белки с молекулярной массой 4-25 кДа (37). Среди ингибиторов протеаз картофеля выделяют 7 классов: ингибитор I, ингибитор II, ингибитор сериновой протеазы, ингибитор цистеиновой протеазы, ингибитор аспарагиновой протеазы, ингибитор протеазы типа Кунитц, ингибитор карбоксипептидазы и ингибиторы других сериновых протеаз (38). Все они активно связываются с трипсином, несмотря на кислую среду желудка (предположительно за счет большого количества β -листов во вторичной структуре белка). Ингибирование трипсина предотвращает протеолитическую инактивацию эндогенных трипсин-чувствительных холецистокинин-релизинг пептидов, способствуя высвобождению холецистокинина (39, 40). Изучая кинетику взаимодействия ингибиторов протеаз и трипсина, Q. Li с соавт. (41) выявили неконкретный

тип ингибирования. При таком типе ингибитор связывается с эфирной группой вне активного центра и не влияет на взаимодействие фермент—субстрат.

В регуляции пищевого гомеостаза центральную роль играет холецистокинин. Он секретируется нейроэндокринными клетками, расположенными в слизистой оболочке тонкого отдела кишечника (42). Наиболее ранний физиологический эффект этого гормона — стимуляция сокращения желчного пузыря и секреции экзокринной части поджелудочной железы. Желчь необходима для образования мицелл при переваривании жиров, а ферменты поджелудочной железы участвуют в переваривании жиров и белков. Помимо этого, L.J. Miller с соавт. (43) обнаружили рецепторы к холецистокинину в афферентных нейронах блуждающего нерва кишечника (холецистокининовый рецептор 1-го типа) и на париетальных клетках желудка (холецистокининовый рецептор 2-го типа). Так холецистокинин увеличивает перистальтику кишечника и опосредует секрецию желудочного сока. Описанные механизмы позволяют рассматривать ингибиторы протеаз картофельного сока в качестве агонистов холецистокинина и эффективного терапевтического средства против ожирения (рис. 3).

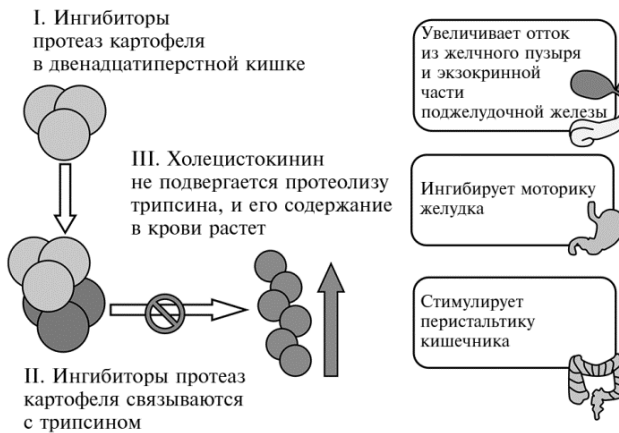


Рис. 3. Влияние ингибитора протеаз картофеля на функционирование органов желудочно-кишечного тракта. Схема составлена нами на основании данных L.J. Miller с соавт. (43).

В другом исследовании *in vivo* (44) было показано, что пептиды, полученные из ингибиторов протеаз картофеля при помощи ферментативного гидролиза, могут снижать содержание холестерина и триглицеридов в крови за счет стерол-связывающей способности. В сыворотке крови крыс, употреблявших этот гидролизат, снижалось количество общего холестерина, холестерина в составе липопротеинов низкой плотности и триглицеридов по сравнению с соответствующими показателями у животных из контрольной группы (44). В более ранних исследованиях биологической активности гидролизатов картофельных белков анализ мРНК печени крыс показал усиленный синтез белков, ответственных за клиренс липопротеинов (45).

Пататин представляет собой гликопротеин с молекулярной массой 40–45 кДа (46). Очищенный пататин содержит 6 незаменимых аминокислот: лизин, фенилаланин, треонин, изолейцин, лейцин и валин. Индекс незаменимых аминокислот (EAAI) составляет 76 %. Моносахариды пататина включают маннозу, рамнозу, глюкозу, галактозу, ксилозу, арабинозу и фукозу (47). Соотношение белков и углеводов в пататине составляет соответственно 64 и 36 % (48). Интересны биологические эффекты пататина. В

исследованиях на рыбках *Danio rerio* пататин демонстрировал неспецифическую ацилгидролазную активность в отношении триглицеридов, активируя липолиз. Более того, пататин способен ингибировать панкреатическую липазу и регулировать всасывание липидов в тонком отделе кишечника (47). Полученные данные свидетельствуют о том, что пататин имеет большой потенциал для использования в качестве функционального продукта в программах снижения веса.

Помимо этого, согласно оценке *in silico* (49), пататин служит предшественником пептидов, ингибирующих ангиотензин-превращающий фермент (АПФ) и ренин. Такие пептиды имеют способность к связыванию с АПФ и ренином, вызывая их конформационные изменения по смешанному механизму (49, 50). Эффективное ингибирование двух ключевых ферментов ренин—ангиотензин—альдостероновой системы — один из перспективных подходов к лечению артериальной гипертензии (51).

Описаны и другие биологические эффекты пататина. Например, антиоксидантная и антипролиферативная активность в отношении клеток меланомы мыши В₁₆, в которых пататин инициировал остановку клеточного цикла в фазе G₁, а также в отношении раковых клеток кишечника Сасо-2 и НТ-29 (48, 49, 52).

Картофельный сок можно использовать в питании людей, предрасположенных к аллергии. По сравнению с глютенем (белок пшеницы, на который часто возникает аллергия у детей и взрослых), у белка, содержащегося в картофельном соке, IgE-связывающая способность ниже даже при высокой концентрации. Пататин — единственная фракция белка картофеля, которая способна провоцировать аллергию, однако ее интенсивность будет существенно ниже, чем на белки пшеницы, коровьего молока или яйца (34). В 2018 году компания «Nestle» (Швейцария) запатентовала заменитель молочной смеси на основе белков картофеля для детей с аллергией на белок коровьего молока (53).

При термической обработке пищевых продуктов происходит реакция сахароаминной конденсации (реакция Майяра). В 1912 году французский химик L.C. Maillard (1878-1936 годы) случайно обнаружил, что раствор, содержащий сахара и аминокислоты, темнеет и приобретает характерный запах при интенсивном нагревании (54). Коричневые пигменты, появляющиеся в реакции Майяра, называются меланоидинами. Они образуются в результате взаимодействия кетонных групп сахаров и аминокислот (55). Поскольку картофель — это высокоуглеводный продукт, который содержит белки, то при его длительной термической обработке образуется крайне нежелательный продукт реакции Майяра — токсичный акриламид (56). Доказано, что акриламид оказывает выраженное цито- и генотоксичное действие на организм (57). Воздействие акриламида на клетки инициирует оксидативный стресс, приводящий к апоптозу по митохондриальному типу (58). В то же время в экспериментах на мышах линии BALB/c (59) было обнаружено, что пищевые волокна картофеля могут снижать побочные эффекты акриламида. В группе животных, получавших препарат пищевых волокон картофеля, было отмечено снижение негативного воздействия акриламида на гистологическую структуру и иннервацию тонкого отдела кишечника (58).

Таким образом, растительные белки, содержащиеся в картофельном соке, в нативном виде обладают высокой биологической активностью и способны регулировать процессы пищеварения. Кроме этого, гидролизаты этих белков, обладают гипополипидемическими, гипотензивными, антиокси-

дантными и антипролиферативными свойствами. Однако перечисленные эффекты характерны только для нативных белков и белков, полученных в процессе ферментативного гидролиза, в то время как обычная кулинарная обработка, предполагающая нагревание до 100 °С и выше, их разрушает.

Витамины и минералы. В процессе тепловой обработки картофеля утрачивается активность многих содержащихся в нем витаминов (60), в частности витамина С в форме аскорбиновой кислоты. В сырой картофелине средних размеров (150 г) содержится 28 мг витамина С (20), что составляет около 1/3 суточной потребности взрослого человека в этом витамине (61).

А.Т. Ророва (62) изучила, насколько уменьшается содержание витамина С в картофеле при разных способах его кулинарной обработки (рис. 4).

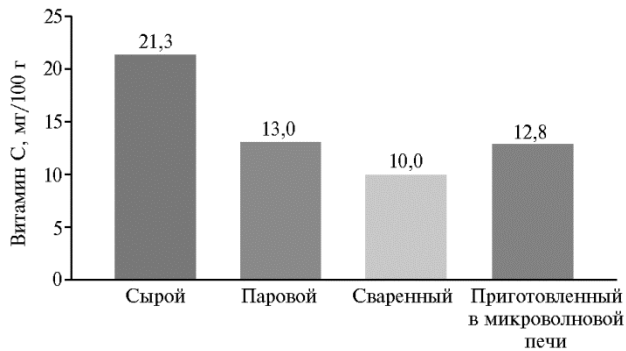


Рис. 4. Содержание витамина С при разных способах приготовления картофеля. При построении диаграммы мы использовали экспериментальные данные А.Т. Ророва (62).

Помимо аскорбиновой кислоты, сырой картофель и полученный из него сок богаты витаминами группы В (В₁, В₂, В₃, В₆) и минералами — калием, фосфором, магнием, кальцием, железом, натрием и цинком (25, 56). В таблице 1 приведены данные по содержанию некоторых витаминов и минералов в сыром картофеле, а также процент покрытия суточной физиологической потребности согласно действующим

Методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (61) при потреблении сока из сырого картофеля (две картофелины среднего размера).

Таким образом, картофельный сок как удобная форма употребления сырого картофеля сохраняет все содержащиеся в нем витамины и минералы в нативном виде и в исходных концентрациях.

1. Некоторые витамины и минералы, содержащиеся в сыром картофеле (20, 61)

Нутриент	Содержание, мг/100 г сырого картофеля	Покрытие суточной физиологической потребности при употреблении 300 г сырого картофеля, % (для взрослых)
Витамин С	18,3	55
Витамин В ₁	0,08	16
Витамин В ₂	0,02	3
Витамин В ₃	1,09	16
Витамин В ₆	0,14	21
Фолиевая кислота	0,0163	12
Калий	420,6	36
Кальций	13,6	4
Магний	22,4	16
Железо	0,75	16
Цинк	0,27	7

Полифенолы. Картофель содержит значительное количество полифенолов. На 150 г свежего сырого картофеля приходится 36 мг-экв. галловой кислоты (общая антиоксидантная активность эквивалентна 124,5 мг витамина С) (63). Помимо аскорбиновой кислоты, пигментированные сорта картофеля содержат другие вещества, обладающие антиоксидантной

активностью, например каротиноиды, флавоноиды, токоферол, α -линолевую кислоту (20, 63). Полифенолы распределены в картофеле неравномерно: их максимальное количество определяется в кожуре и постепенно уменьшается к центру клубня (64). Наибольшая антиоксидантная активность отмечена у сортов картофеля с фиолетовой и красной мякотью, меньшая — у сортов с желтыми и белыми клубнями (20, 63).

В растениях полифенолы обеспечивают процессы фотосинтеза, дыхания и защиты генетического аппарата от ультрафиолетового излучения, а потому непрерывно синтезируются в клетках (65).

Эффекты применения полифенолов в эксперименте и клинике довольно полно описаны в работах S.V. Luca с соавт. (66) и Н.-F. Chiu с соавт. (67). В чистом виде полифенолы широко применяют в качестве биологически активных добавок к пище (68). Действие полифенолов в организме животных и человека проявляется во многих формах. Так, у млекопитающих флавоноиды окисляются в хиноны, способные взаимодействовать с функциональными группами ферментов, тем самым воздействуя на кинетику биохимических реакций (69). Помимо этого, флавоноиды обладают хелатирующими свойствами. В активной форме они связывают ионы переходных металлов, образуя хелатные комплексы (70). Благодаря образованию таких комплексов в клетке происходит ингибирование свободнорадикальных процессов (71). Из-за своего уникального строения полифенолы оказывают множественный физиологический эффект — общеукрепляющий, противовоспалительный, гепатопротекторный, желчегонный, противоопухолевый (71, 72). Более того, полифенолы способны усиливать действие некоторых лекарственных средств. Например, К. Zhai с соавт. (73) доказали синергические эффекты традиционных химиотерапевтических препаратов и некоторых полифенолов (хризин, катехин, формонетин, гиспидулин, икариин, кверцетин, рутин и силибинин) против агрессивной опухоли мозга (глиобластома).

Все полифенолы картофеля можно разделить на фенольные кислоты и флавоноиды (включая флавонолы, флаваноны и антоцианы). Больше всего в картофеле содержится фенольных кислот, из которых до 90 % приходится на хлорогеновую кислоту (рис. 5) (74).

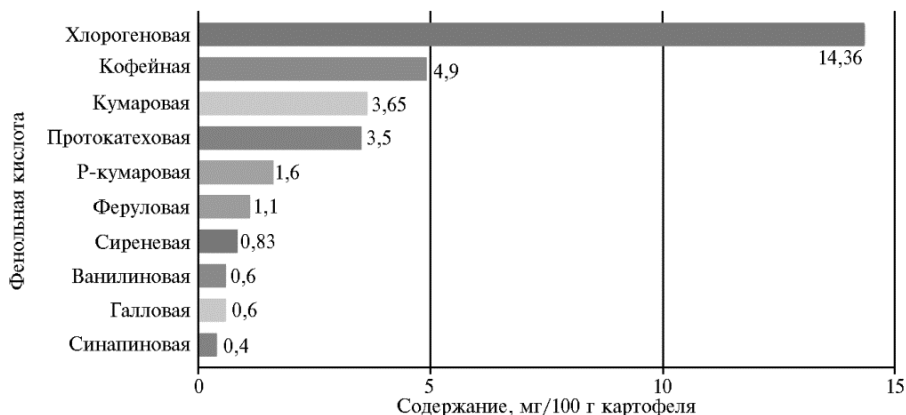


Рис. 5. Содержание фенольных кислот в сыром картофеле. При построении диаграммы мы использовали экспериментальные данные Н. Акуол с соавт. (74).

Среди флавоноидов картофеля наиболее распространены антоцианы, а также катехин, кверцетин, кэмпферол и рутин (табл. 2) (74). Благодаря антоцианам, кожура и мякоть окрашивается в фиолетовый, красный и

желтые цвета. В состав антоцианов картофеля входят пеларгонидин, пеонидин, петунидин и мальвидин (74, 75).

2. Средняя концентрация флавоноидов в сухом веществе картофеля (74)

Флавоноид	Средняя концентрация, мг/100 г сухого вещества
Антоцианы	283,4
Катехин	41,7
Рутин	2,9
Кверцетин	2,5
Кэмпферол	1,1

Таким образом, сок, полученный из клубней картофеля с пигментированной мякотью, будет обладать дополнительными биологическими эффектами за счет высокого содержания в нем флавоноидов.

Гликоалкалоиды. Гликоалкалоиды — это вторичные метаболиты растений, которые могут накапливаться в цветках, листьях, плодах и клубнях (76). В картофеле синтезируется преимущественно два алкалоида — α -соланин и α -хаконин (чаконин) (77). По химической структуре оба представляют собой соединение агликона соланидина с углеводной боковой цепью, ответственной за взаимодействие с клеточными мембранами (78). По строению гликоалкалоиды схожи со стероидными гормонами млекопитающих (79). При употреблении человеком больших доз гликоалкалоидов может развиваться интоксикационный синдром (80).

Хотя содержание гликоалкалоидов в картофеле значительно различается в зависимости от сорта и условий выращивания, можно провести обобщенное сравнение содержания соланина и хаконина в свежих сырых клубнях с полумлетальной дозой для человека LD₅₀ (табл. 3) (81, 82).

3. Содержание гликоалкалоидов в кожуре и мякоти картофеля и средняя полумлетальная доза для человека (LD₅₀) (81, 82)

Гликоалкалоид	Содержание в кожуре картофеля, мг/кг	Содержание в мякоти картофеля, мг/кг	LD ₅₀ перорально, мг/кг
α -Соланин	89	12	2,8
α -Хаконин	173	18	

Гликоалкалоиды активно синтезируются в клубнях при наличии вредителей, длительном хранении, особенно при воздействии света (даже искусственного) и высокой температуры (83, 84). Поэтому для недопущения высокого содержания гликоалкалоидов в клубнях картофель должен быть правильно выращен, транспортирован и сохранен перед употреблением (85).

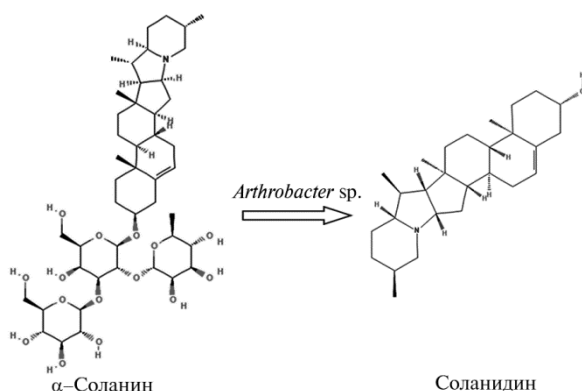


Рис. 6. Биодegradация гликоалкалоидов на примере α -соланина. Формулы взяты с сайта PubChem (91, 92).

Помимо токсичного действия, описаны и терапевтические эффекты при использовании чистых гликоалкалоидов из картофеля (86-89). In vitro и ex vivo показано холиноблокирующее действие за счет антагонистической активности по отношению к M₃-холинорецепторам и антихолинэстеразное действие (86), цитотоксический эффект в отношении клеток нейробластомы SH-SY5Y (87), рака

толстой кишки HT-29, печени Hep G2, шейки матки HeLa и лимфомы U937, желудка AGS и KATI II (88), предстательной железы LNCaP и PC3 и других клеточных линий (89). Полученные данные свидетельствуют о том, что гликоалкалоиды могут рассматриваться в качестве перспективных средств для противоопухолевой терапии.

В литературе описаны биотехнологические способы уменьшения токсичности гликоалкалоидов картофеля. Так, у бактерий *Arthrobacter* sp. обнаружены ферменты, способные к биодegradации α -соланина и α -хаконина. При помощи этих ферментов из молекул α -соланина и α -хаконина можно удалить трисахарид, ответственный за взаимодействие гликоалкалоидов с клеточными мембранами животных. В результате такой биодegradации (рис. 6) образуется малотоксичный соланидин (90).

Продукты переработки картофеля и их биологические эффекты. В кожуре картофеля содержится максимальное количество полифенолов (64), поэтому N. Singh с соавт. (93) предложили изучить экстракты из нее. В эксперименте на лабораторных крысах исследователи показали, что экстракт из кожуры картофеля смог существенно снизить острое повреждение печени за счет антиоксидантной активности.

Картофельный сок содержит соединения, способные влиять на ГАМК-ергическую активность мозга, вытесняя γ -аминомасляную кислоту (ГАМК) из ее рецепторов (94). Помимо этого, V. Bartova с соавт. (95) обнаружили, что сок картофеля за счет его уникальных белков проявляет выраженную антимикотическую активность, причем силу эффекта можно модулировать температурой.

Более того, в пилотном исследовании, проведенном в 2006 году, S. Chrubasik с соавт. (96) использовали картофельный сок компании «Biotta» (Швейцария) при лечении больных с синдромом диспепсии. Была рекомендована следующая схема приема: по 100 мл дважды в сутки (за полчаса до еды утром и вечером перед сном). Результаты клинического исследования показали, что по крайней мере у $2/3$ пациентов наблюдалось улучшение по истечении 1 нед, что подтверждает перспективность использования картофельного сока в клинической гастроэнтерологии.

Перспективы разработки картофельного сока как продукта функционального питания. Картофельный сок — это единственный продукт, который позволяет сохранить все природные компоненты — белки, крахмал, витамины, минералы, полифенолы, гликоалкалоиды (табл. 4).

4. Основные компоненты картофельного сока и их биологическое действие

Компонент	Биологическое действие	Ссылка
Крахмал	Источник глюкозы и фруктозы — важнейшего энергетического субстрата организма	(2, 3, 20, 22, 23, 25, 26)
«Резистентный крахмал»	Субстрат микрофлоры кишечника; подавление роста патогенной флоры; антидиабетический эффект	(20, 22, 24, 26, 27)
Ингибиторы протезы	Источник незаменимых аминокислот; усиление процессов пищеварения; профилактика ожирения; гиполлипидемическое действие	(37-41, 45)
Пататин	Источник незаменимых аминокислот; профилактика ожирения; гиполлипидемическое действие; антигипертензивное действие; антиоксидантное действие и антипролиферативная активность	(34, 47-53)
Витамин С	Антиоксидантное, иммуномодулирующее, адаптогенное действие; повышение усвоения железа; участие в формировании коллагеновых волокон	(61)
Витамин В1	Регуляция углеводного и энергетического обмена	(61)
Витамин В2	Окислительно-восстановительные реакции; способствует повышению восприимчивости цвета зрительной сенсорной системой и темновой адаптации	(61)

Витамин В ₃	Регуляция окислительно-восстановительных реакций; кофактор ряда ферментов	(61)
Витамин В ₆	Регуляция обмена белков, липидов и нуклеиновых кислот; иммуномодулирующее действие; регуляция процессов торможения и возбуждения нервной системы; участие в процессах эритропоэза	(61)
Фолиевая кислота	Участие в обмене нуклеиновых кислот и аминокислот	(61)
Калий	Основной внутриклеточный ион, поддерживающий мембранный потенциал; участие в обмене электролитов	(61)
Кальций	Поддержание структуры костной ткани, участие в передаче нервного импульса, мышечном сокращении, процессах свертывания крови	(61)
Магний	Кофактор ряда ферментов, стабилизатор биомембран, регулирует мышечные сокращения, поддерживает гомеостаз кальция, калия и натрия	(61)
Железо	Входит в состав гемо- и миоглобина, цитохромов, каталазы и пероксидазы; регулирует протекание окислительно-восстановительных реакций; в зависимости от концентрации оказывает про- либо антиоксидантное действие	(61)
Цинк	Входит в состав ферментов, участвующих в обмене углеводов, белков, липидов и нуклеиновых кислот; регулирует экспрессию генов;	(61)
Полифенолы	Антиоксидантное действие и защита биомембран	(20, 63-75)
Гликоалкалоиды	Интоксикационный синдром; антипролиферативное действие	(76-89)

Однако для промышленного производства картофельного сока необходимо решить ряд вопросов, касающихся требований к сырому картофелю, процессу получения и упаковки сока. Помимо этого, стоит подумать и о введении в сок консервантов и антиоксидантов. Также необходима органолептическая оценка полученного продукта, в результате которой может быть поставлен вопрос о дополнительных компонентах для придания соку более привлекательного вкуса. Несмотря на технологические сложности, картофельный сок может стать полноценным функциональным продуктом и быть введенным в пищевой рацион всех возрастных групп для сохранения и улучшения здоровья населения (97).

Описанные эффекты картофельного сока *in vivo* могут достигаться за счет синергизма его компонентов, что открывает широкие перспективы для применения этого продукта в диетологии и медицине (98-100). Систематическое употребление картофельного сока может стать важным элементом в профилактике таких социально значимых заболеваний, как злокачественные новообразования, сахарный диабет и артериальная гипертензия (101, 102). Для лиц, уже имеющих эти заболевания, картофельный сок может быть рекомендован в качестве средства вспомогательной терапии.

Итак, картофельный сок содержит все полезные вещества, входящие в состав сырого картофеля, в их нативном виде: уникальные белки, аскорбиновую кислоту, витамины группы В, калий, фосфор, кальций, магний, железо, цинк, полифенолы (в первую очередь, фенольные кислоты и антоцианы). Накопленные сведения открывают широкие перспективы использования картофельного сока для функционального питания. Показано положительное влияние компонентов картофельного сока на процессы пищеварения, микробиоту кишечника, содержание инсулина и глюкагоноподобного пептида-1 в сыворотке крови, описано гипополипидемическое, гипотензивное, антиоксидантное и антипролиферативное действие. Наиболее спорными с точки зрения возможной пользы для здоровья человека остаются гликоалкалоиды картофеля соланин и хаконин, которые требуют дальнейшего изучения. Картофельный сок становится привлекательным продуктом для пищевой промышленности и диетологии. Биодоступность и высокая активность его компонентов, а также описанные эффекты позволяют утвер-

ждать, что этот продукт можно использовать в профилактике злокачественных новообразований, сахарного диабета, артериальной гипертензии и других заболеваний. Дальнейшие исследования должны определить оптимальные технологические приемы для массового производства картофельного сока с сохранением биологической активности его компонентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. *WHO Technical Report Series*, 2003, 916: 1-149.
2. Slavin J.L. Carbohydrates, dietary fiber, and resistant starch in white vegetables: links to health outcomes. *Advances in Nutrition*, 2013, 4(3): 351-355 (doi: 10.3945/an.112.003491).
3. Ovando-Martínez M., Whitney K., Simsek S. Analysis of starch in food systems by high-performance size exclusion chromatography. *Journal of Food Science*, 2013, 78(2): 192-198 (doi: 10.1111/1750-3841.12037).
4. Сергеева Е.М., Ларичев К.Т., Салина Е.А., Кочетов А.В. Метаболизм крахмала у картофеля *Solanum tuberosum* L. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 2022, 26(3): 250-263 (doi: 10.18699/VJGB-22-32).
5. Filardi T., Panimolle F., Crescioli C., Lenzi A., Morano S. Gestational diabetes mellitus: the impact of carbohydrate quality in diet. *Nutrients*, 2019, 11(7): 1549 (doi: 10.3390/nu11071549).
6. Колонтай Е.А., Карпеня А.Е., Лысенко Е.М. Осведомленность населения о соланине. В сб.: *Современные технологии: тенденции и перспективы развития*. Петрозаводск, 2022: 169-173.
7. Гольдштейн В.Г., Дегтярев В.А., Апшев Х.Х., Коваленок В.А., Семенова А.В. Исследование соотношения крахмала, белка и гликоалкалоидов в клубнях картофеля в процессе вегетации. *Достижения науки и техники АПК*, 2021, 35(10): 72-77 (doi: 10.53859/02352451_2021_35_10_72).
8. Alissa E.M., Ferns G.A. Dietary fruits and vegetables and cardiovascular diseases risk. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2017, 57(9): 1950-1962 (doi: 10.1080/10408398.2015.1040487).
9. Liu S. Intake of refined carbohydrates and whole grain foods in relation to risk of type 2 diabetes mellitus and coronary heart disease. *Journal of the American College of Nutrition*, 2002, 21(4): 298-306 (doi: 10.1080/07315724.2002.10719227).
10. Locke A., Schneiderhan J., Zick S.M. Diets for health: goals and guidelines. *American Family Physician*, 2018, 97(11): 721-728.
11. Navarre D.A., Brown C.R., Sathuvalli V. Potato vitamins, minerals and phytonutrients from a plant biology perspective. *American Journal of Potato Research*, 2019, 96: 111-126 (doi: 10.1007/s12230-018-09703-6).
12. Altung A.C., Pouvreau L., Giuseppin M.L.F., van Nieuwenhuijzen N.H. Potato proteins. In: *Woodhead publishing series in food science, technology and nutrition, handbook of food proteins* /G.O. Phillips, P.A. William (eds.). Woodhead Publishing, 2011: 316-334 (doi: 10.1533/9780857093639.316).
13. Hajslová J., Schulzová V., Slanina P., Janné K., Hellenäs K.E., Andersson C.H. Quality of organically and conventionally grown potatoes: four-year study of micronutrients, metals, secondary metabolites, enzymic browning and organoleptic properties. *Food Additives and Contaminants*, 2005, 22(6): 514-534 (doi: 10.1080/02652030500137827).
14. Дерябина Ю.И., Исакова Е.П., Гесслер Н.Н., Мариничев А.А., Кляйн О.И. Природные фенолы выполняют роль гепатопротекторов в животных моделях печеночной патологии. В сб. научных статей по мат. X Межд. симп. «Фенольные соединения: свойства, активность, инновации». М., 2018: 439-442.
15. Chrubasik S., Boyko T., Filippov Y., Torda T. Further evidence on the effectiveness of potato juice in dyspeptic complaints. *Phytomedicine*, 2006, 13(8): 596-597 (doi: 10.1016/j.phymed.2005.10.009).
16. Vlachojannis J.E., Cameron M., Chrubasik S. Medicinal use of potato-derived products: a systematic review. *Phytotherapy Research*, 2010, 24(2): 159-162 (doi: 10.1002/ptr.2829).
17. Vaaler S., Hanssen K.F., Aagenaes O. The effect of cooking upon the blood glucose response to ingested carrots and potatoes. *Diabetes Care*, 1984, 7(3): 221-223 (doi: 10.2337/diacare.7.3.221).
18. Fabbri A.D.T., Crosby G.A. A review of the impact of preparation and cooking on the nutritional quality of vegetables and legumes. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 2015, 3: 2-11 (doi: 10.1016/j.ijgfs.2015.11.001).
19. Tian J., Chen J., Ye X., Chen S. Health benefits of the potato affected by domestic cooking: a review. *Food Chemistry*, 2016, 202: 165-175 (doi: 10.1016/j.foodchem.2016.01.120).
20. Beals K.A. Potatoes, nutrition and health. *American Journal of Potato Research*, 2019, 96(103): 102-110 (doi: 10.1007/s12230-018-09705-4).
21. Мажаева Т.В., Дубенко С.Э., Гращенко Д.В., Сутункова М.П. *Гигиеническая оценка пищевой и биологической ценности рационов питания* /Под ред. В.Б. Гурвича. Екатеринбург,

2020.

22. Copeland L., Blazek J., Salman H., Tang M.C. Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 2009, 23(6): 1527-1534 (doi: 10.1016/j.foodhyd.2008.09.016).
23. Butterworth P.J., Warren F.J., Ellis P.R. Human α -amylase and starch digestion: an interesting marriage. *Starch/Stärke*, 2011, 63(7): 395-405 (doi: 10.1002/star.201000150).
24. Mishra S., Monro J., Hedderley D. Effect of processing on slowly digestible starch and resistant starch in potato. *Starch/Stärke*, 2008, 60(9): 500-507 (doi: 10.1002/star.200800209).
25. Пискун Г.И. Пищевая ценность и роль картофеля в здоровом питании человека. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 2023, 16(2): 93-97.
26. Martínez I., Kim J., Duffy P.R., Schlegel V.L., Walter J. Resistant starches types 2 and 4 have differential effects on the composition of the fecal microbiota in human subjects. *PLoS One*, 2010, 5(11): e15046 (doi: 10.1371/journal.pone.0015046).
27. Rashed A.A., Saparuddin F., Rathii D.-N.G., Nasir N.N.M., Lokman E.F. Effects of resistant starch interventions on metabolic biomarkers in pre-diabetes and diabetes adults. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 8: 793414 (doi: 10.3389/fnut.2021.793414).
28. Young V.R., Pellett P.L. Plant proteins in relation to human protein and amino acid nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 1994, 59(5): 1203-1212 (doi: 10.1093/ajcn/59.5.1203S).
29. Adeva-Andany M.M., Rañal-Muñío E., Vila-Altesor M., Fernández-Fernández C., Funcasta-Calderón R., Castro-Quintela E. Dietary habits contribute to define the risk of type 2 diabetes in humans. *Clinical Nutrition ESPEN*, 2019, 34: 8-17 (doi: 10.1016/j.clnesp.2019.08.002).
30. Aschemann-Witzel J., Gantriis R.F., Fraga P., Perez-Cueto F.J.A. Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 61(18): 3119-3128 (doi: 10.1080/10408398.2020.1793730).
31. Sha L., Xiong Y.L. Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 102: 51-61 (doi: 10.1016/j.tifs.2020.05.022).
32. Friedman M. Nutritional value of proteins from different food sources. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1996, 44(1): 6-29 (doi: 10.1021/jf9400167).
33. Layman D.K., Rodriguez N. Egg protein as a source of power, strength, and energy. *Nutrition Today*, 2009, 44(1): 43-48 (doi: 10.1097/NT.0b013e3181959cb2).
34. Hussain M., Qayum A., Xiuxiu Z., Liu L., Hussain K., Yue P., Yue S., Koko M., Hussain A., Li X. Potato protein: an emerging source of high quality and allergy free protein, and its possible future based products. *Food Research International*, 2021, 148: 110583 (doi: 10.1016/j.foodres.2021.110583).
35. Шанина Е.П. Качественные показатели клубней — одно из основных направлений селекции картофеля на Среднем. В сб.: *Состояние и перспективы инновационного развития современной индустрии картофеля*. Чебоксары, 2013: 35-40.
36. Шанина Е.П. Селекция на повышенное содержание антиоксидантов в картофеле. В сб.: *Современное состояние и перспективы развития картофелеводства*. Чебоксары, 2012: 35-38.
37. Waglay A., Karboune S., Alli I. Potato protein isolates: recovery and characterization of their properties. *Food Chemistry*, 2014, 142: 373-382 (doi: 10.1016/j.foodchem.2013.07.060).
38. Pouvreau L., Gruppen H., Piersma S.R., van den Broek L.A.M., van Koningsveld G.A., Vorage A.G.J. Relative abundance and inhibitory distribution of protease inhibitors in potato juice from cv. Elkana. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2001, 49(6): 2864-2874 (doi: 10.1021/jf010126v).
39. Komarnytsky S., Cook A., Raskin I. Potato protease inhibitors inhibit food intake and increase circulating cholecystokinin levels by a trypsin-dependent mechanism. *International Journal of Obesity*, 2011, 35: 236-243 (doi: 10.1038/ijo.2010.192).
40. Nakajima S., Hira T., Tsubata M., Takagaki K., Hara H. Potato extract (Potein) suppresses food intake in rats through inhibition of luminal trypsin activity and direct stimulation of cholecystokinin secretion from enteroendocrine cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(17): 9491-9496 (doi: 10.1021/jf200988f).
41. Li Q., Huang L., Luo Z., Tamer T.M. Stability of trypsin inhibitor isolated from potato fruit juice against pH and heating treatment and in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 2020, 328: 127152 (doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127152).
42. Pathak V., Flatt P.R., Irwin N. Cholecystokinin (CCK) and related adjunct peptide therapies for the treatment of obesity and type 2 diabetes. *Peptides*, 2018, 100: 229-235 (doi: 10.1016/j.peptides.2017.09.007).
43. Miller L.J., Harikumar K.G., Wootten D., Sexton P.M. Roles of cholecystokinin in the nutritional continuum. Physiology and potential therapeutics. *Frontiers in Endocrinology*, 2021, 12: 684656 (doi: 10.3389/fendo.2021.684656).
44. Zhang D.-q., Mu T.-h., Sun H.-n., Chen J.-w., Zhang M. Comparative study of potato protein concentrates extracted using ammonium sulfate and isoelectric precipitation. *International Journal of Food Properties*, 2017, 20(9): 2113-2127 (doi: 10.1080/10942912.2016.1230873).
45. Liyanage R., Minamino S., Nakamura Y., Shimada K., Sekikawa M., Sasaki K., Ohba K., Jaya-

- wardana B.C., Shibayama S., Fukushima M. Preparation method modulates hypocholesterolaemic responses of potato peptides. *Journal of Functional Foods*, 2010, 2(2): 118-125 (doi: 10.1016/j.jff.2010.03.001).
46. Pots A.M., Gruppen H., van Diepenbeek R., van der Lee J.J., van Boekel M.A., Wijngaards G., Voragen A.G. The effect of storage of whole potatoes of three cultivars on the patatin and protease inhibitor content; a study using capillary electrophoresis and MALDI-TOF mass spectrometry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1999, 79(12): 1557-1564 (doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(199909)79:12<1557::AID-JSFA375>3.0.CO;2-K).
 47. Wu J., Wu Q., Yang D., Zhou M., Xu J., Wen Q., Cui Y., Bai Y., Xu S., Wang Z., Wang S. Patatin primary structural properties and effects on lipid metabolism. *Food Chemistry*, 2021, 344: 128661 (doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128661).
 48. Sun Y., Jiang L., Wei D. Partial characterization, in vitro antioxidant and antiproliferative activities of patatin purified from potato fruit juice. *Food and Function*, 2013, 4(10): 1502-1511 (doi: 10.1039/c3fo60248f).
 49. Fu Y., Liu W.-N., Soladoye O.P. Towards potato protein utilisation: Insights into separation, functionality and bioactivity of patatin. *International Journal of Food Science & Technology*, 2019, 55(6): 2314-2322 (doi: 10.1111/ijfs.14343).
 50. Fu Y., Alashi A.M., Young J.F., Therkildsen M., Aluko R.E. Enzyme inhibition kinetics and molecular interactions of patatin peptides with angiotensin I-converting enzyme and renin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2017, 101: 207-213 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2017.03.054).
 51. Балыкова Л.А., Леонтьева И.В., Краснополяская А.В., Садыкова Д.И., Машкина Л.С., Чегодаева И.Ю., Хабибрахманова З.Р., Слестникова Е.С., Галимова Л.Ф., Ушакова С.А. Современные подходы к лечению артериальной гипертензии у детей и подростков: обзор клинических рекомендаций. *Вопросы современной педиатрии*, 2021, 20(4): 271-281.
 52. Kowalczewski P.L., Olejnik A., Białas W., Kubiak P., Siger A., Nowicki M., Lewandowicz G. Effect of thermal processing on antioxidant activity and cytotoxicity of waste potato juice. *Open Life Sciences*, 2019, 14(1): 150-157 (doi: 10.1515/biol-2019-0017).
 53. *Infant formula for cow's milk protein allergic infants. Publ. Number WO/2018/115340. Publ. Date 28.06.2018. Int. Appl. No. PCT/EP2017/084198. Int. Filing Date 21.12.2017.* Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2018115340>. Без даты.
 54. Maillard L.C. Action des acidesamines sur les sucres: formation des melanoidines par voie methodique. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*, 1912, 154: 66-68.
 55. Murata M. Browning and pigmentation in food through the Maillard reaction. *Glycoconjugate Journal*, 2021, 38: 283-292 (doi: 10.1007/s10719-020-09943-x).
 56. Zaheer K., Akhtar M.H. Potato production, usage, and nutrition — a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 56(5): 711-721 (doi: 10.1080/10408398.2012.724479).
 57. Friedman M. Chemistry, biochemistry, and safety of acrylamide. A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(16): 4504-4526 (doi: 10.1021/jf030204+).
 58. Koszucka A., Nowak A., Nowak I., Motyl I. Acrylamide in human diet, its metabolism, toxicity, inactivation and the associated European Union legal regulations in food industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(10): 1677-1692 (doi: 10.1080/10408398.2019.1588222).
 59. Dobrowolski P., Huet P., Karlsson P., Eriksson S., Tomaszewska E., Gawron A., Pierzynowski S.G. Potato fiber protects the small intestinal wall against the toxic influence of acrylamide. *Nutrition*, 2012, 28(4): 428-435 (doi: 10.1016/j.nut.2011.10.002).
 60. Lee S., Choi Y., Jeong H.S., Lee J., Sung J. Effect of different cooking methods on the content of vitamins and true retention in selected vegetables. *Food Science and Biotechnology*, 2018, 27: 333-342 (doi: 10.1007/s10068-017-0281-1).
 61. *Методические рекомендации 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.* М., 2021.
 62. Popova A.T. The effect of heating on the vitamin C content of selected vegetables. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 2019, 03(03): 027-032 (doi: 10.30574/wjarr.2019.3.3.0073).
 63. Liu R.H. Health-promoting components of fruits and vegetables in the diet. *Advances in Nutrition*, 2013, 4(3): 384-392 (doi: 10.3945/an.112.003517).
 64. Friedman M. Chemistry, biochemistry and dietary role of potato polyphenols. a review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, 45(5): 1523-1540 (doi: 10.1021/jf960900s).
 65. Зайцева С.М., Доан Т.Т., Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н. Локализация фенольных соединений в клетках и тканях растений разных таксономических групп. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*, 2018, 3(39): 52-58.
 66. Luca S.V., Macovei I., Bujor A., Miron A., Skalicka-Woźniak K., Aprotosoae A.C., Trifan A. Bioactivity of dietary polyphenols: the role of metabolites. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, 60(4): 626-659 (doi: 10.1080/10408398.2018.1546669).
 67. Chiu H.-F., Venkatakrisnan K., Golovinskaia O., Wang C.-K. Gastroprotective effects of polyphenols against various gastro-intestinal disorders: a mini-review with special focus on clinical evidence. *Molecules*, 2021, 26(7): 2090 (doi: 10.3390/molecules26072090).
 68. Zhang L.-X., Li C.-X., Kakar M.U., Khan M.S., Wu P.F., Amir R.M., Dai D.F., Naveed M.,

- Li Q.Y., Saeed M., Shen J.-Q., Rajput S.A., Li J.-H. Resveratrol (RV): A pharmacological review and call for further research. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2021, 143: 112164 (doi: 10.1016/j.biopha.2021.112164).
69. Азарова О.В., Галактионова Л.П. Флавоноиды: механизм противовоспалительного действия. *Химия растительного сырья*, 2012, 4: 61-78.
 70. Heim K.E., Tagliaferro A.R., Bobilya D.J. Flavonoid antioxidants: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2002, 13(10): 572-584 (doi: 10.1016/s0955-2863(02)00208-5).
 71. Писарев Д.И., Новиков О.О., Селютин О.А., Писарева Н.А. Биологическая активность полифенолов растительного происхождения. Перспектива использования антоцианов в медицинской практике. *Актуальные проблемы медицины*, 2012, 10(129): 17-24.
 72. Чиряпкин А.С. Обзор биологической активности флавоноидов: кверцетин и кемпферол. *Juvenis Scientia*, 2023, 9(2): 5-20 (doi: 10.32415/jscientia_2023_9_2_5-20).
 73. Zhai K., Mazurakova A., Koklesova L., Kubatka P., Büsselberg D. Flavonoids synergistically enhance the anti-glioblastoma effects of chemotherapeutic drugs. *Biomolecules*, 2021, 11(12): 1841 (doi: 10.3390/biom11121841).
 74. Akyol H., Riciputi Y., Capanoglu E., Caboni M.F., Verardo V. Phenolic compounds in the potato and its byproducts: an overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, 17(6): 835 (doi: 10.3390/ijms17060835).
 75. Ким И.В., Волков Д.И., Захаренко В.М., Захаренко А.М., Голохваст К.С., Клыкков А.Г. Состав и содержание антоцианов в диетических сортах картофеля (*Solanum tuberosum* L.), перспективных для выращивания и селекции в условиях Дальнего Востока России. *Сельскохозяйственная биология*, 2020, 55(5): 995-1003 (doi: 10.15389/agrobiology.2020.5.995rus).
 76. Ginzberg I., Tokuhisa J.G., Veilleux R.E. Potato steroidal glycoalkaloids: biosynthesis and genetic manipulation. *Potato Research*, 2009, 52: 1-15 (doi: 10.1007/s11540-008-9103-4).
 77. Разгонова М.П., Куликова В.И., Ходаева В.П., Захаренко А.М., Голохваст К.С. Метаболическое исследование гликоалкалоидов методом тандемной масс-спектрометрии в восьми сортах цветного картофеля *Solanum tuberosum* L. *Вестник КРАСГАУ*, 2023, 2(191): 81-87.
 78. Baur S., Frank O., Hausladen H., Hüchelhoven R., Hofmann T., Eisenreich W., Dawid C. Biosynthesis of α -solanine and α -chaconine in potato leaves (*Solanum tuberosum* L.) — a ^{13}C study. *Food Chemistry*, 2021, 365: 130461 (doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130461).
 79. Pan B., Zhong W., Deng Z., Lai C., Chu J., Jiao G., Liu J., Zhou Q. Inhibition of prostate cancer growth by solanine requires the suppression of cell cycle proteins and the activation of ROS/P38 signaling pathway. *Cancer Medicine*, 2016, 5(11): 3214-3222 (doi: 10.1002/cam4.916).
 80. Kuete V. Health effects of alkaloids from african medicinal plants. In: *Toxicological survey of African medicinal plants*. Elsevier, 2014: 611-633 (doi: 10.1016/B978-0-12-800018-2.00021-2).
 81. Friedman M., Roitman J.N., Kozukue N. Glycoalkaloid and calystegine contents of eight potato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(10): 2964-2973 (doi: 10.1021/jf021146f).
 82. Nishie K., Gumbmann M.R., Keyl A.C. Pharmacology of solanine. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 1971, 19(1): 81-92 (doi: 10.1016/0041-008x(71)90192-x).
 83. Иванова К.А. Регуляция биосинтеза стероидных гликоалкалоидов картофеля. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 2018, 22(1): 25-34 (doi: 10.18699/VJ18.328).
 84. Dhalsamant K., Singh C.B., Lankapalli R. A review on greening and glycoalkaloids in potato tubers: potential solutions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2022, 70(43): 13819-13831 (doi: 10.1021/acs.jafc.2c01169).
 85. Лыгин С.А., Соломинова Л.В. Соланин — опасный компонент картофеля. *Инновации в науке*, 2017, 10(71): 16-19.
 86. Воронов В.А., Поздняков Д.И., Золотых Д.С., Дайронас Ж.В., Черников М.В. Холинергические эффекты алкалоидов *Solanum tuberosum* L. *Вестник новых медицинских технологий*, 2023, 30(1): 75-79.
 87. Lanteri M.L., Silveyra M.X., Morán M.M., Boutet S., Solis-Gozar D.D., Perreau F., Andreu A.B. Metabolite profiling and cytotoxic activity of Andean potatoes: Polyamines and glycoalkaloids as potential anticancer agents in human neuroblastoma cells in vitro. *Food Research International*, 2023, 168: 112705 (doi: 10.1016/j.foodres.2023.112705).
 88. Zhao D.-K., Zhao Y., Chen S.-Y., Kennelly E.J. Solanum steroidal glycoalkaloids: structural diversity, biological activities, and biosynthesis. *Natural Product Report*, 2021, 38(8): 1423-1444 (doi: 10.1039/d1np00001b).
 89. Friedman M. Chemistry and anticarcinogenic mechanisms of glycoalkaloids produced by eggplants, potatoes, and tomatoes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(13): 3323-3337 (doi: 10.1021/acs.jafc.5b00818).
 90. Hennessy R.C., Nielsen S.D., Greve-Poulsen M., Larsen L.B., Sørensen O.B., Stougaard P. Discovery of a bacterial gene cluster for deglycosylation of toxic potato steroidal glycoalkaloids α -chaconine and α -solanine. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2020, 68(5): 1390-1396 (doi: 10.1021/acs.jafc.9b07632).
 91. *alpha-Solanine*. Режим доступа: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/alpha-Solanine>.

- Дата обращения: 30.08.2023.
92. *Solanidine*. Режим доступа: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Solanidine>. Дата обращения: 30.08.2023.
 93. Singh N., Kamath V., Narasimhamurthy K., Rajini P.S. Protective effect of potato peel extract against carbon tetrachloride-induced liver injury in rats. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2008, 26(2): 241-246 (doi: 10.1016/j.etap.2008.05.006).
 94. Muceniec R., Saleniece K., Krigere L., Rumaks J., Dzirkale Z., Mezhapuke R., Kviešis J., Mekss P., Klusa V., Schiöth H.B., Dambrova M. Potato (*Solanum tuberosum*) juice exerts an anticonvulsant effect in mice through binding to GABA receptors. *Planta Medica*, 2008, 74(5): 491-496 (doi: 10.1055/s-2008-1074495).
 95. Bártová V., Bárta J., Vlačihová A., Šedo O., Zdráhal Z., Konečná H., Stupková A., Švajner J. Proteomic characterization and antifungal activity of potato tuber proteins isolated from starch production waste under different temperature regimes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2018, 102(24): 10551-10560 (doi: 10.1007/s00253-018-9373-y).
 96. Chrubasik S., Chrubasik C., Torda T., Madisch A. Efficacy and tolerability of potato juice in dyspeptic patients: a pilot study. *Phytomedicine: International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*, 2006, 13(1-2): 11-15 (doi: 10.1016/j.phymed.2005.03.005).
 97. ГОСТ Р 52349-2005. *Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения*. М., 2005.
 98. Капитонова Э.К. Использование картофеля в питании: второе рождение. *Пищевая промышленность: наука и технологии*, 2012, 2(16): 13-19.
 99. Капитонова Э.К. Картофель в питании детей: пищевая и биологическая ценность. *Вопросы детской диетологии*, 2013, 11(4): 51-55.
 100. Шилов М.П., Шилова Т.Н., Дмитриев А.В. Картофель (*Solanum tuberosum* L. 1753): уникальные особенности и их эффективное использование в пищевых и лечебных целях. *Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН*, 2018, 11: 137-153.
 101. Макушева Т.С., Галушина Е.Н., Апанович М.С. Факторный анализ социально значимых заболеваний Российской Федерации. *Вестник НГУЭУ*, 2019, 2: 85-93.
 102. *Определение безопасности и эффективности биологически активных добавок к пище: методические указания*. М., 1999.

ФГБНУ Уральский федеральный аграрный
научно-исследовательский центр
Уральского отделения РАН,
620142 Россия, г. Екатеринбург, ул. Белинского, 112а,
e-mail: shanina08@yandex.ru, oberuhtindenis@gmail.com,
cherae@mail.ru ✉

Поступила в редакцию
2 октября 2023 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2024, V. 59, № 1, pp. 22-38

POTATO JUICE vs. TRADITIONAL POTATO USE — A NEW INSIGHT (review)

E.P. Shanina ✉, D.A. Oberiuhtin, A.E. Chernitskiy

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre UB RAS, 112a, ul. Belinskogo, Ekaterinburg, 620142 Russia, e-mail shanina08@yandex.ru, oberuhtindenis@gmail.com, cherae@mail.ru (✉ corresponding author)

ORCID:

Shanina E.P. orcid.org/0009-0000-5818-3813

Chernitskiy A.E. orcid.org/0000-0001-8953-687X

Oberiuhtin D.A. orcid.org/0009-0006-1497-5740

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

The review was prepared within the framework of state assignments "Creation of competitive, high-yielding varieties of grains, legumes, fodder, fruit and berry crops and potatoes of the world level based on promising genetic resources that are resistant to bio- and abiotic factors" (0532-2021-0008) and "Development of biological technologies for managing animal health and intravital formation of the quality of livestock and poultry products" (0532-2021-0009).

Final revision received October 02, 2023

doi: 10.15389/agrobiologia.2024.1.22eng

Accepted November 27, 2023

Abstract

Traditionally, potatoes are consumed in a heat-treated form, e.g., boiled, fried, baked, with a significant part of its beneficial properties lost (A.D. Fabbri et al., 2015; J. Tian et al., 2016). Such processing greatly changes the mineral and vitamin composition of the product, the content of dietary fibre and the activity of secondary metabolites (J. Tian et al., 2016; A.T. Popova, 2019). Freshly squeezed potato juice can be a healthy alternative to heat-treated potatoes. Its use in folk medicine

has been known since the early XIX century (J.E. Vlachojannis et al., 2010), while only a few scientific studies describe the physiological effects of potato juice consumption on experimental animals and on humans. One of the unique components of potato juice is resistant starch (L. Copeland et al., 2009). Resistant starch is not digested in the human body (P.J. Butterworth et al., 2011), positively affects the intestinal microbiota (I. Martínez et al., 2010), and normalizes insulin and glucagon-like peptide-1 in blood serum (A.A. Rashed et al., 2022). Of all plant proteins known to date, potato protein is the most balanced in essential amino acids and bioavailable to humans (M. Hussain et al., 2021). Its protease inhibitors are able to regulate digestion and have therapeutic effects in obesity (S. Komarnytsky et al., 2011; S. Nakajima et al., 2011), patatin has hypolipidemic (J. Wu et al., 2021), hypotensive (Y. Fu et al., 2019), antioxidant and antiproliferative properties (Y. Sun et al., 2013). Raw potatoes and their juice contain high concentrations of ascorbic acid (K.A. Beals et al., 2019), B vitamins, potassium, phosphorus, calcium, magnesium, iron and zinc (K. Zaheer et al., 2016; G.I. Piskun, 2023) which are essential for good health. Potato varieties with purple-, red- and yellow-coloured tubers are the richest source of polyphenols, primarily phenolic acids and anthocyanins (E.P. Shanina, 2013; H. Akyol et al., 2016; I.V. Kim et al., 2020). The potato glycoalkaloids solanine and chaconine remain the most controversial in terms of possible health benefits. On the one hand, their average content in potato tubers is low to cause symptoms of poisoning in humans (K. Nishie et al., 1971). On the other hand, experiments with pure extracts of glycoalkaloids proved their anticholinergic, anticholinesterase (V.A. Voronov et al., 2023) and cytotoxic effects (M. Friedman, 2015; D.K. Zhao et al., 2021; M.L. Lanteri et al., 2023). In the review, we discuss the likely danger of the identified effects for human health vs. the prospects for the immunodeficiency correction, as well as prevention and treatment of cancer diseases (D.K. Zhao et al., 2021; M.L. Lanteri et al., 2023). We also focus on current methods of biodegradation of potato glycoalkaloids (R.C. Hennessy et al., 2020). Selected studies on the biological effects of potato peel extract (N. Singh et al., 2008) and potato juice (R. Muceniece et al., 2008; V. Bartova et al., 2018) are described. The above information shows that potato juice contains all the useful substances of intact raw potatoes. The prospects for using potato juice in functional nutrition are obvious, but it remains to determine the optimal technological methods for its mass production while preserving the biological activity of the components.

Keywords: potatoes, potato juice, starch, protease inhibitors, patatin, polyphenols, flavonoids, phenolic acids, vitamin C, solanine.