

УДК 633.492

ИССЛЕДОВАНИЕ БАТАТА (*IPOMOEA BATATAS* (L.) LAM.) И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ НА КРАХМАЛ

© В.Г. Гольдштейн¹, А.В. Семенова^{1*}, А.А. Морозова¹, Л.А. Вассерман²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия, semnast97@mail.ru

² Институт биохимической физики имени Н.М. Эмануэля РАН, ул. Косыгина, 4, Москва, 119334, Россия

Статья посвящена изучению особенностей химического состава батата и возможности его переработки. Авторами выполнены исследования качественных характеристик клубней десяти образцов батата, выращенных в Московской области на базе ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха». Массовая доля крахмала, соответствующая критериям промышленной переработки, установлена для образцов: Пурпл 1, Сухумский и Японский. Для них зафиксирована наименьшая массовая доля редуцирующих сахаров (менее 6% массы клубня). Крахмал данных сортов содержит более 90% амилопектина. В результате переработки батата наибольший коэффициент извлечения крахмала (24.5%) установлен для образца Пурпл 1. В качестве столовых сортов особенно интересны образцы с низким содержанием крахмала (5–8.5%) – ЛА, Манчжурский и Винницкий розовый. В образцах Ковингтон, ЛА, Победа-100 и Бразильский наблюдаются высокие показатели (более 70 мг/100 г) как по фосфору, так и по кальцию. Однако оптимальное диетическое соотношение данных макроэлементов (1.5 : 1.0) установлено для образцов Сухумский и Японский. Получены и математически выражены зависимости между массовыми долями сухих веществ и крахмала ($r=0.96$), сухих веществ и фосфора ($r=0.87$), крахмала и фосфора ($r=0.80$) в батате. Повышение содержания фосфора в клубнях сопряжено со снижением количества сухих веществ и крахмала и одновременно с увеличением концентрации редуцирующих сахаров. Наибольший интерес при переработке батата представляет амилопектиновый крахмал, который может успешно применяться в пищевой промышленности в качестве загустителя и стабилизатора, и для получения модифицированных крахмалов.

Ключевые слова: батат, сухие вещества (СВ), фосфор, кальций, крахмал, редуцирующие сахара, переработка.

Для цитирования: Гольдштейн В.Г., Семенова А.В., Морозова А.А., Вассерман Л.А. Исследование батата (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) и продуктов его переработки на крахмал // Химия растительного сырья. 2026. №1. С. 313–321. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260117074>.

Введение

Интерес к батату, тропическому растению семейства вьюнковых, или сладкому картофелю (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.), обусловлен, прежде всего, его питательной и кормовой ценностью. Представлен сладкий картофель различными разновидностями, такими как крахмалистый, овощной, лекарственный батат и батат с высоким содержанием антоцианов [1].

Ipomoea batatas (L.) Lam. является источником множества питательных веществ, включая витамины, сложные углеводы, пищевые волокна, белок и другие элементы, необходимые для поддержания здоровья. Этот овощ также содержит большое количество вторичных метаболитов, которые оказывают положительное влияние на организм. Сладкий картофель является отличным источником диетических каротиноидов и полисахаридов, обладающих антиоксидантными, противовоспалительными и гепатопротекторными свойствами. Эти вещества защищают сердечно-сосудистую систему, предотвращают развитие опухолей, улучшают неврологические функции и память, а также нормализуют обмен веществ и барьерную функцию кишечника [1, 2].

Клубни батата образуются за счет утолщения боковых корней. Могут достигать 30 см в длину и от 50 г до 4 кг по весу. Сорта батата могут различаться по окрасу: розовый, белый, фиолетовый, зеленоватый,

* Автор, с которым следует вести переписку.

красный или оранжевый окрас, в зависимости от массовой доли пигментов и фенольных соединений [3, 4], и по форме: веретеновидная или округло-овальная форма [4]. Содержание белка в сладком картофеле составляет от 1.3 до 10% сухого веса. Большинство сортов и гибридов батата содержат лишь небольшое количество незаменимых аминокислот [5].

В клубнях сортов батата с белой мякотью содержится наибольшее количество крахмала – от 61.5 до 67.5% СВ и наименьшее количество растворимых сахаров – от 13.1 до 18.0% СВ, а в клубнях сортов с желтой мякотью, наоборот, наименьшее количество крахмала – от 45.8 до 53.1% СВ и наибольшее количество сахаров – от 28.9 до 31.5% СВ. В исследовании [6] показано, что в зависимости от сорта крахмала батата различаются по размеру гранул (диаметр 12.3–18.1 мкм) и содержанию амилозы (24.1–27.2%), но все они имеют кристаллическую структуру СА-типа. Относительная кристалличность варьируется от 22.3 до 25.5% [6].

Не установлено прямой связи между содержанием крахмала в батате и его извлечением из клубней. Различия в сортах батата требуют изменения параметров измельчения для высвобождения крахмала. При выборе сорта батата для извлечения крахмала необходимо учитывать массу батата, собранного на единицу посевной площади, содержание крахмала в клубнях (зависит от сезона сбора урожая) и, что наиболее важно, выход крахмала. При интенсификации измельчения наблюдается увеличение количества извлеченного из батата крахмала. Однако достижение коэффициента извлечения крахмала выше 85% требует значительного увеличения затрат энергии. Установлено, что с увеличением степени измельчения не наблюдается увеличения примесей волокон мезги, а качество крахмала остается приемлемым [7].

Разработаны различные пленки на основе желатина и крахмала батата. Свежие, минимально обработанные продукты, могут быть покрыты такими съедобными пленками в целях повышения пищевой ценности и увеличения сроков хранения продуктов [8].

Исследованиями в области переработки батата установлено, что питательная ценность клубней батата заключается не только в высокой крахмалистости. Натуральные пигменты и антиоксиданты, присутствующие в фиолетовом и красном батате, могут быть использованы для разработки функциональных продуктов питания [9].

В результате промышленной переработки сладкого картофеля получают такие продукты, как крахмал, мука, консервы и пюре. Содержание белка в муке батата варьируется от 1.0 до 14.4% СВ. Углеводы составляют большую часть муки, их содержание находится в диапазоне от 84.2 до 94.8% СВ. 80% углеводов составляет крахмал и 20% – простые сахара [10]. Разработаны технологии переработки батата на чипсы [11] и глюкозно-фруктозный сироп [12].

В результате промышленной переработки батата получают твердые побочные продукты (кожура, обрезки корнеплодов) и жидкие отходы, которые возникают в результате применения различных методов обработки и создают внушительные объемы сточных вод, богатых различными питательными веществами. Это углеводы, белки, фенольные соединения, макро- и микроэлементы, а также пигменты, которые могут быть извлечены или использованы для дальнейшей переработки [13]. Благодаря богатому углеводному составу побочные продукты сладкого картофеля могут быть использованы в качестве субстрата для производства этанола и молочной кислоты или для производства биогаза путем анаэробного сбраживания [13].

Отмечена биологическая ценность сортов батата с белой кожицей и мякотью, характеризующихся значительно более высоким содержанием крахмала, редуцирующих сахаров, белка, витамина С, аскорбиновой кислоты и фосфора, кальция и магния, в сравнении с сортами с пигментированной кожицей и мякотью [14]. Корнеплоды батата с более высоким содержанием фосфора отличаются повышенным содержанием сухого вещества, липидов, пищевых волокон, редуцирующего сахаров, а также крахмала [15, 16]. Оптимальным диетическим соотношением является более высокое содержание фосфора в клубнях в сравнении с кальцием [17]. Сорта батата с высоким содержанием кальция могут быть рекомендованы для питания детей и кормящих женщин [18].

Выращивание батата в различных регионах РФ проблематично, так как зеленая биомасса растений перестает развиваться при температуре 10 °С [19]. В связи с этим изучение образцов батата, устойчивых к низким положительным температурам, представляется актуальным.

Цель данной работы – исследование биохимических показателей различных сортов батата, выращенных в условиях Московской области, для оценки питательной ценности клубней, а также возможности их промышленной переработки.

Экспериментальная часть

Материалом для данного исследования послужили 10 образцов батата с различным цветом мякоти, переданных лабораторией клеточных и геномных технологий ФГБНУ «ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха».

Массовую долю сухих веществ (СВ) в клубнях и крахмале определяли экспресс-методом высушивания [20]; массовую долю крахмала в клубнях – методом Эверса с использованием поляриметра Polartronic-N с поправкой на растворимые углеводы [20]; массовую долю редуцирующих сахаров – поляриметрическим методом с использованием поляриметра Polartronic-N [20]. Массовую долю кальция оценивали унифицированным колориметрическим методом с о-крезолфталеин комплексом с реактивами набора «НПФ Абрис+» [21], предназначенного для определения концентрации кальция в сыворотке и плазме крови. Массовую долю неорганического фосфора – спектрофотометрическим методом [22] с реактивами набора «ФН-ОЛЬВЕКС», предназначенного для определения ионов фосфора в сыворотке и плазме крови.

Переработку батата на крахмал осуществляли следующим образом. Клубни промывали, нарезали небольшими кусочками (мелкой соломкой) и помещали в 0.25%-ный раствор метабисульфита натрия с доведением pH до 8.6–9.0 в результате добавления 0.1%-ного раствора NaOH. Кусочки батата помещали в блендер и измельчали в течение 2.5 мин, от полученной массы отделяли мезгу на капроновом сите №70 и промывали до отсутствия крахмала в промывной воде по йодной пробе. Мезгу высушивали и определяли массовую долю крахмала и СВ. Полученную суспензию крахмала отстаивали в цилиндрах, сливали воду. Осадок отделяли на центрифуге от фильтрата, далее осадок трехкратно промывали 0.1% раствором NaOH, удаляя некрахмальную примесь с помощью шпателя. Затем трехкратно промывали дистиллированной водой. Полученный крахмал высушивали и определяли его выход, СВ, содержание амилозы и белизну [23]. Выход крахмала рассчитывали, как отношение массы а.с.в. крахмала, полученного с навески батата, к массе а.с.в. навески батата и выражали в %. Массовую долю амилозы в крахмале определяли спектрофотометрическим методом с использованием спектрофотометра УФ-3200 [24]. Белизну крахмала измеряли с помощью белизномера СКИБ-М.

Для статистической обработки полученных результатов использовали программу Statistica 12. Исследование проводили в 3-кратной повторности. Рассчитывали средние значения (\pm стандартное отклонение). Значимость взаимосвязей между качественными показателями батата оценивали по критерию Спирмена (при $p < 0.05$) с последующим регрессионным анализом полученных зависимостей.

Обсуждение результатов

Изучены 10 образцов батата, переданных лабораторией клеточных и геномных технологий ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха, для исследования качественных характеристик и целесообразности переработки на крахмал и другие виды продукции.

Результаты исследования батата приведены в таблице 1.

Массовая доля СВ более 34% выявлена у образцов Пурпл 1 и Сухумский. Массовая доля крахмала, соответствующая требованиям к промышленной переработке, установлена только у трех образцов: Пурпл 1, Сухумский и Японский. В этих образцах наблюдалась наиболее низкая массовая доля редуцирующих сахаров, не превышающая 6% к массе клубня. Остальные образцы пригодны в пищевых целях в том же качестве, что и столовый картофель. Сорта Ковингтон, ЛА, Бразильский и Тайнунг Т-65 отличаются высоким содержанием редуцирующих сахаров. По содержанию фосфора наибольшие значения установлены для сортов Ковингтон, ЛА, Победа-100 и Манчжурский, а по содержанию кальция – для сортов Ковингтон, ЛА, Победа-100, Бразильский и Тайнунг Т-65.

С помощью данных непараметрической статистики (табл. 2) оценено влияние показателей химического состава батата друг на друга.

По критерию Спирмена наиболее значимо ($r > 0.70$) влияли друг на друга: массовые доли СВ и крахмала (положительная корреляция); СВ и фосфора (отрицательная корреляция); крахмала и фосфора (отрицательная корреляция); редуцирующих сахаров и фосфора (положительная корреляция).

На рисунке 1 показана зависимость массовой доли крахмала от содержания СВ в клубнях. Эта зависимость может быть представлена линейным уравнением:

$$S = -11.823 + 0.989 \cdot Dm, \quad (1)$$

где S – массовая доля крахмала; Dm – СВ батата в клубнях.

Таблица 1. Исследование химического состава клубней батата

Сорт или происхождение образца	Цвет мякоти	Сухие вещества, %	Содержание крахмала с поправкой на растворимые сахара, %	Редуцирующие сахара, % массы клубня	Содержание фосфора, мг/100 г	Содержание кальция, мг/100 г
Пурпл 1	Ярко-малиновый	34.4±0.3	26.3±0.6	5.8±0.3	37.3±2.1	43.2±3.2
Ковингтон	Оранжевый	22.2±0.1	10.8±0.3	11.9±0.6	73.1±4.2	78.8±4.3
Победа-100	Желто-оранжевый	25.6±0.3	13.5±0.1	7.4±0.2	73.9±3.0	105.5±7.8
ЛА	Морковный	17.9±0.3	4.9±0.2	11.1±0.4	85.1±5.1	84.1±6.2
Манчжурский	Буро-желтый	16.3±0.2	5.1±0.1	8.1±0.4	77.7±4.2	27.2±1.3
Винницкий розовый	Теплый оттенок желтого	20.4±0.1	8.5±0.6	7.2±0.3	59.3±3.6	12.0±0.8
Бразильский	Желто-оранжевый	25.1±0.4	14.0±0.8	10.3±0.2	68.4±4.1	84.4±3.2
Сухумский	Бледно-бурый	34.2±0.3	19.5±0.4	6.0±0.1	31.2±2.3	20.3±1.1
Тайнунг Т-65	Буро-желтый	28.3±0.3	14.4±0.7	10.6±0.3	54.1±4.5	70.9±5.7
Японский	Соломенный	30.0±0.4	16.5±0.6	5.8±0.2	30.3±3.2	16.6±0.7

Таблица 2. Корреляционная матрица исследуемых показателей по критерию Спирмена (уровень значимости $p=0.05$)

Показатели	СВ	Крахмал	Редуцирующие сахара	Фосфор	Кальций
СВ	1.000	0.976	-0.612	-0.830	-0.139
Крахмал	0.976	1.000	-0.624	-0.867	-0.200
Редуцирующие сахара	-0.612	-0.624	1.000	0.709	0.600
Фосфор	-0.830	-0.867	0.709	1.000	0.588
Кальций	-0.139	-0.200	0.600	0.588	1.000

Влияние массовой доли фосфора на качественные показатели батата показано на рисунках 2–4. Увеличение содержания сухих веществ и крахмала в клубнях батата отрицательно коррелировало с массовой долей фосфора (рис. 2–4). Однако массовая доля фосфора имела тенденцию к повышению при накоплении редуцирующих сахаров в клубнях.

Отрицательная корреляционная зависимость концентрации фосфора от содержания СВ в клубне (рис. 2) может быть выражена линейным уравнением:

$$P = 129.106 - 2.753 \cdot Dm, \quad (2)$$

где Dm – массовая доля СВ; P – массовая доля фосфора в клубнях батата.

В связи с положительной корреляцией между показателями массовой доли СВ и крахмала в батате получили также отрицательную корреляцию между показателями массовой доли крахмала и фосфора в клубнях. При проведении линейного регрессионного анализа выявлены следующие параметры корреляции: $r=-0.8032$; $p=0.0051$; $r^2=0.6452$. Эти данные свидетельствовали о наличии статистически значимой зависимости ($p<0.05$) между исследуемыми показателями. Однако коэффициент детерминации модели ($r^2=0.6452$) показал, что полученная аппроксимация слабодостоверна. В связи с этим в данном случае представлялось целесообразным применить ортогональную регрессию, позволяющую учитывать ошибки в измерениях, как для независимых, так и для зависимых переменных вдоль осей x и y (рис. 3; уравнение 3).

Полученное уравнение зависимости приняло вид:

$$P = 99.963 - 3.065 \cdot S, \quad (3)$$

где S – массовая доля крахмала; P – массовая доля фосфора в клубнях.

На рисунке 4 представлена поверхность, демонстрирующая взаимосвязь между концентрацией фосфора и массовой долей СВ и крахмала в клубнях батата.

Полученная зависимость может быть выражена уравнением:

$$P = 294.806 - 39.093 \cdot Dm + 46.330 \cdot S + 1.707 \cdot Dm^2 - 3.837 \cdot S \cdot Dm + 1.910 \cdot S^2, \quad (4)$$

где Dm – СВ батата; S – массовая доля крахмала; P – массовая доля фосфора в клубнях батата.

Чем больше сухого вещества накапливают клубни батата, тем выше их крахмалистость и тем ниже массовая доля фосфора в клубнях. Наиболее существенно массовая доля фосфора снижается при содержании СВ более 25% и крахмалистости выше 15%.

Увеличение концентрации редуцирующих сахаров, наоборот, сопровождается накоплением фосфора в клубнях. Это подтверждается статистически значимой положительной корреляцией, полученной при применении линейной регрессии: $r = -0.7125$; $p = 0.0208$. Однако невысокий коэффициент детерминации модели, $r^2 = 0.5077$, свидетельствует о слабодостоверной аппроксимации данных, в связи с чем функциональная зависимость не образует полином. Исходя из этого, можно сделать вывод только о наличии тенденции к повышению содержания фосфора при увеличении концентрации редуцирующих сахаров в клубнях батата.

Благодаря высокой концентрации фосфора в сортах батата повышается питательная ценность корнеплода [15, 16]. Соотношение фосфора и кальция 1.5 : 1.0 является идеальным диетическим соотношением [17]. Такому соотношению макроэлементов соответствует сорт Сухумский. Близкое соотношение (1.8 : 1.0) наблюдается для сорта Японский. В сортах Пурпл 1, Победа-100, Бразильский и Тайнунг Т-65 содержание кальция превышает содержание фосфора в 1.2–1.4 раза.

Для исследования процессов переработки батата на крахмал выбраны образцы Пурпл 1, Сухумский и Японский в связи с их пригодностью к переработке по показателю крахмалистости клубней. Результаты переработки батата на крахмал и побочные продукты приведены в таблице 3. Наибольший коэффициент извлечения крахмала установлен для образца Пурпл 1 – 24.5%. В промытой мезге массовая доля крахмала составила 29–43.5%, но потери крахмала с мезгой не превышали 2.2%. Белизна крахмала зависела от сорта перерабатываемого батата: для образцов Сухумский и Японский она составляла 88 ед. прибора, для образца Пурпл 1 – 85 ед. прибора. Высокий показатель белизны свидетельствовал о качественной очистке крахмала при использовании изложенного способа и об отсутствии в крахмале посторонних примесей.

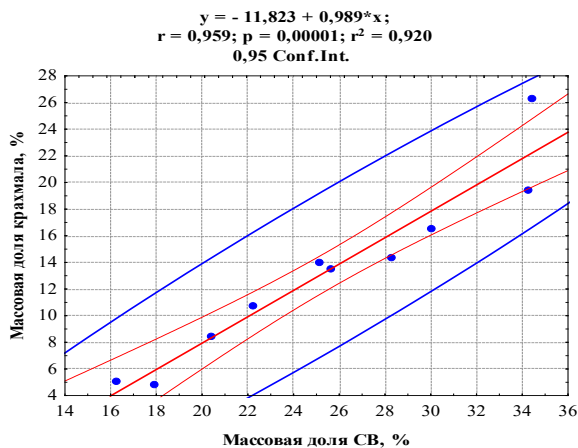


Рис. 1. Зависимость крахмалистости клубней батата от массовой доли сухих веществ

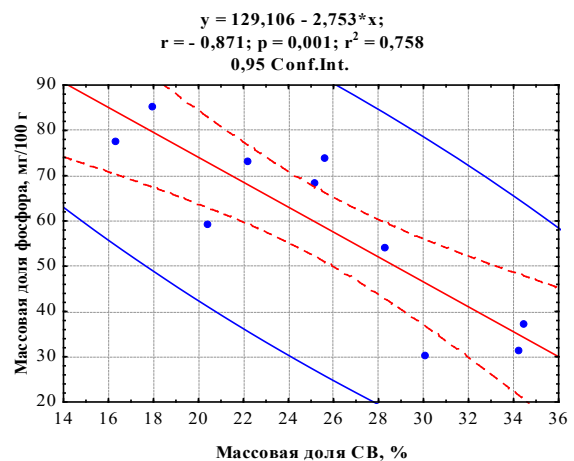


Рис. 2. Взаимосвязь между массовыми долями сухих веществ и фосфора в клубнях батата

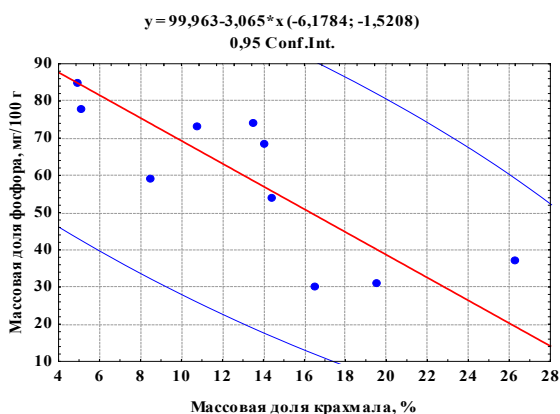


Рис. 3. Взаимосвязь между массовыми долями крахмала и фосфора в клубнях батата

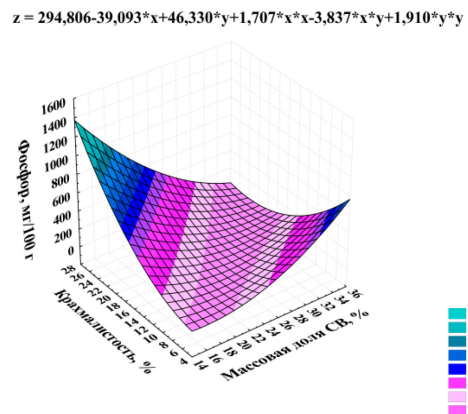


Рис. 4. Зависимость массовой доли фосфора от содержания сухих веществ и крахмалистости клубней батата

Таблица 3. Изучение возможности переработки батата на крахмал

Сорт или происхождение образца	Выход крахмала, % массы клубня	СВ в крахмале, %	Массовая доля амилозы, %	Белизна крахмала, ед. прибора	Потери крахмала с мезгой, %
Пурпл 1	24.5±0.8	86.7±0.2	9.6±0.4	85.2±0.5	2.2±0.3
Сухумский	18.2±0.5	84.1±0.1	8.9±0.3	87.9±0.4	1.7±0.1
Японский	14.8±0.7	86.4±0.2	8.3±0.3	88.0±0.7	1.9±0.3

При переработке батата с массовой долей крахмала более 16% установлены незначительные потери крахмала с мезгой – 1.7–2.2% к массе клубня. Наибольший интерес при переработке батата сортов Пурпл 1, Сухумский и Японский представляет крахмал с содержанием амилопектина более 90%, который может успешно применяться как в пищевой промышленности в качестве загустителя и стабилизатора, так и для производства модифицированных крахмалов.

Высокая корреляция ($r=0.96$) между значениями массовой доли сухих веществ и общей крахмалистости клубней (рис. 1) соответствует аналогичной зависимости для картофеля [25]. А внесение фосфорных удобрений может оказывать влияние на влажность клубней батата, что приводит к уменьшению концентрации белка и каротиноидов [26] и крахмала (рис. 2–4). С увеличением массовой доли фосфора накапливается больше редуцирующих сахаров в клубнях батата.

Выводы

Проведены исследования 10 образцов батата, выращенных в условиях Московской области в ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха. Для трех образцов батата установлена высокая массовая доля крахмала – 16–26% к массе клубня, в четырех образцах – средняя (10–14%). Также выявлены три образца с очень низким содержанием крахмала – 5–8.5% – это сорта ЛА, Манчжурский и Винницкий розовый. Батат с низким содержанием крахмала перспективен для использования в качестве столовых сортов, а батат с высокой массовой долей крахмала (Пурпл 1, Сухумский и Японский) – эффективен для переработки. Потери крахмала с побочными продуктами переработки не превышали 2.2%, а в извлеченном крахмале массовая доля амилопектина составила более 90% при белизне крахмала более 85%. Наибольший коэффициент извлечения крахмала в процессе переработки (24.5%) установлен для образца Пурпл 1. В результате проведенного исследования выявлены и представлены в виде уравнений регрессии взаимосвязи между содержанием СВ и крахмала ($r=0.96$), СВ и фосфора ($r=-0.87$), крахмала и фосфора ($r=-0.80$). Также прослеживалась тенденция к повышению содержания фосфора при увеличении концентрации редуцирующих сахаров в клубнях батата. Выявлены сорта батата с оптимальным диетическим соотношением фосфора и кальция: Сухумский и Японский. А наиболее высокое содержание обоих макроэлементов отмечено у сортов Ковингтон, ЛА, Победа-100 и Бразильский.

Финансирование

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета Всероссийского научно-исследовательского института крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья и Института биохимической физики имени Н.М. Эмануэля. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным конкретным исследованием получено не было.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

- Li Y., Zhao L., Shi L., Lin L., Cao Q., Wei C. Sizes, Components, Crystalline Structure, and Thermal Properties of Starches from Sweet Potato Varieties Originating from Different Countries // *Molecules*. 2022. Vol. 27 (6). 1905. <https://doi.org/10.3390/molecules27061905>.
- Laveriano-Santos E.P., López-Yerena A., Jaime-Rodríguez C., González-Coria J., Lamuela-Raventós R.M., Valverde-Queralt A., Romanyà J., Pérez M. Sweet Potato Is Not Simply an Abundant Food Crop: A Comprehensive

- Review of Its Phytochemical Constituents, Biological Activities, and the Effects of Processing // *Antioxidants*. 2022. Vol. 11 (9). 1648. <https://doi.org/10.3390/antiox11091648>.
3. Amoanima-Dede H., Su C., Yeboah A., Chen C., Yang S., Zhu H., Chen M. Flesh Color Diversity of Sweet Potato: An Overview of the Composition, Functions, Biosynthesis, and Gene Regulation of the Major Pigments // *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. 2020. Vol. 89(4). Pp. 805–833. <https://doi.org/10.32604/phyton.2020.011979>.
 4. Hayati M., Zakaria S., Efendi E., Anhar A. Morphological characteristics and yields of several sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) tubers // *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 425 (1). 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012055>.
 5. Triasih D., Utami F.D. The Effect of Different Processing Techniques in Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) of Content Nutrition // *The 3-rd International Conference on Agricultural and Life Sciences*. E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 142 (4). 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014201007>.
 6. Guo K., Liu T., Xu A., Zhang L., Bian X., Wei C. Structural and functional properties of starches from root tubers of white, yellow, and purple sweet potatoes // *Food Hydrocolloids*. 2019. Vol. 89. Pp. 829–836. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.058>.
 7. Rahman M.S.M., Wheatley C., Rakshit S.K. Selection of Sweet Potato Variety for High Starch Extraction // *International Journal of Food Properties*. 2003. Vol. 6, no. 3. Pp. 419–430. <https://doi.org/10.1081/JFP-120021333>.
 8. Ghoshal G., Kaur M. Optimization of extraction of starch from sweet potato and its application in making edible film // *Food Chemistry Advances*. 2023. Vol. 3 (11). 100356. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100356>.
 9. Oke M.O., Workneh T.S. A review on sweet potato postharvest processing and preservation technology // *African Journal of Agricultural Research*. 2013. Vol. 8(40). Pp. 4990–5003. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.6841>.
 10. Diofanor Acevedo Correa D.A., Castillo P.M.M., Martelo R.J. Physicochemical Characterization of Sweet Potato Flour from the Colombian Caribbean // *Contemporary Engineering Sciences*. 2018. Vol. 11 (37). Pp. 1845–1851. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.84167>.
 11. Fontes B.L.C., Oliveira F.G., Collares-Queiroz F.P. Optimization of the Deep-fat Frying Process of Sweet Potato Chips in Palm Olein or Stearin // *American Journal of Food Technology*. 2011. Vol. 6, no. 5. Pp. 348–361. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.348.361>.
 12. Цугкиев Б.Г., Гагиева Л.Ч., Дзантиева Л.Б. Разработка технологии фруктозоглюкозного сиропа из клубней батата // *Пищевая промышленность*. 2017. №9. С. 26–27.
 13. Akoetey W., Britain M.M., Morawicki R.O. Potential use of byproducts from cultivation and processing of sweet potatoes // *Ciencia Rural*. 2017. Vol. 47. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160610>.
 14. Krochmal-Marczak B., Sawicka B., Supski J., Cebulak T., Paradowska K. Nutrition value of the sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) cultivated in south – eastern Polish conditions // *International Journal of Agricultural Research*. 2014. Vol. 4, no. 4. Pp. 169–178.
 15. Nunes Jas.G.d.S., Leonel M., Fernandes A.M., Nunes Jes.G.d.S., Figueiredo R.T.d., Silva J.A.d., Menegucci N.C. Yield and nutritional composition of sweet potatoes storage roots in response to cultivar, growing season and phosphate fertilization // *Ciencia Rural*. 2025. Vol. 55. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20240046>.
 16. Cordeiro C.F., Fabio F.R., Batista G.D., Fernandes A.M. Sweet potato yield and quality as a function of phosphorus fertilization in different soils // *Revista Brasileira de Engenharia Fgricola e Ambiental*. 2023. Vol. 27, no. 6. Pp. 487–495. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n6p487-495>.
 17. Oguezi V.U., Ibekwe F.C., Ngbede E.O. Analysis of calcium and phosphorus (calcium-phosphorus ratio) by spectrophotometric techniques of some commonly eaten root/tubers species in Nigeria // *Journal of Chemical Society of Nigeria*. 2022. Vol. 47, no. 1. Pp. 171–178. <https://doi.org/10.46602/jcsn.v47i1.711>.
 18. Sanoussi A.F., Adjatin A., Dansi A., Adebawale A., Sanni L.O., Sanni A. Mineral Composition of Ten Elites Sweet Potato (*Ipomoea Batatas* [L.] Lam.) Landraces of Benin // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2016. Vol. 5, no. 1. Pp. 103–115. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.501.009>.
 19. Калашникова Е.А., Киракосян Р.Н., Сумин А.В., Абубакаров Х.Г., Темирбекова С.К. Клеточная селекция батата (*Ipomoea batatas* (L.) на устойчивость к положительным низким температурам // *Биосфера*. 2022. Т. 14, №4. С. 331–332. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i4.696>.
 20. Лукин Н.Д., Кирюхина И.И., Костенко В.Г. Общие методы анализа в технологическом контроле производства крахмала и крахмалопродуктов. М., 2007. 158 с.
 21. Barnett R.N. et al. Performance of "kits" used for clinical chemical analysis of calcium in serum // *Amer. J. Clin. Path.* 1973. Vol. 59. Pp. 836–845.
 22. Jaiswal A. Nutritional significance of processed potato products // *Potato, Nutrition and Food Security*. 2020. Pp. 247–270. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7662-1_14.
 23. Kaur M., Sandhu K.S. Sweet Potato Flour and Starch: Production, Processing and Technology // *Tropical Roots and Tubers*. 2020. Pp. 479–506. <https://doi.org/10.1002/9781118992739.ch11a>.
 24. ГОСТ ISO 6647-1-2015. Рис. Определение содержания амилозы. Часть 1. Контрольный метод. М., 2019. 16 с.
 25. Семенова А.В., Гольдштейн В.Г., Дегтярев В.А., Морозова А.А., Королева А.К. Изучение состава картофеля по хозяйственно ценным признакам, определяющим его пригодность к промышленной переработке // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022. Т. 23, №6. С. 841–851. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851>.

26. Hammett H.L., Constantin R.J., Jones L.G., Hernandez T.P. The Effect of Phosphorus and Soil Moisture Levels on Yield and Processing Quality of 'Centennial' Sweet Potatoes // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1982. Vol. 107, no. 1. Pp. 119–122. <https://doi.org/10.21273/JASHS.107.1.119>.

Поступила в редакцию 26 марта 2025 г.

После переработки 12 мая 2025 г.

Принята к публикации 3 июля 2025 г.

Gol'dshteyn V.G.¹, Semenova A.V.^{1}, Morozova A.A.¹, Vasserman L.A.²* THE STUDY OF SWEET POTATO (*IPOMOEA BATATAS* (L.) LAM.) AND ITS PROCESSED PRODUCTS INTO STARCH

¹ *All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of the A.G Lorkh Federal Research Center of Potato, st. Nekrasova, 11, Kraskovo, 140051, Russia, semnast97@mail.ru*

² *N.M. Emanuel Institute of Biochemical Physics of the Russian Academy of Sciences, st. Kosygina, 4, Moscow, 119334, Russia*

This article is devoted to the study of the chemical composition of sweet potatoes and the possibility of their processing. The qualitative characteristics of ten samples of sweet potato tubers grown in the Moscow region on the basis of Russian Potato Research Centre were studied by authors. The mass fraction of starch meets the criteria of industrial processing was determined only for three samples: Purple 1, Sukhumi and Japanese. These samples had the lowest mass fraction of reducing sugars (no more than 6% of the tuber mass). The starch extracted from their tubers contains more than 90% amylopectin. As a result of sweet potato processing, the highest starch yield (24.5%) was established for the sample Purple 1. The samples LA, Manchurian and Vinnickiy pink with low starch content (5–8.5%) are especially interesting as table varieties. The samples Covington, LA, Pobeda-100 and Brazilian showed high values (more than 70 mg/100 g) for both phosphorus and calcium content. However, the optimal dietary ratio of these macroelements (1.5 : 1.0) was established for the samples Sukhumi and Japanese. The correlations between the mass fraction of dry matter and starch ($r=0.96$), dry matter and phosphorus ($r=-0.87$), starch and phosphorus ($r=-0.80$) in sweet potato were identified and mathematically expressed. The increase of the phosphorus content in tubers is accompanied by the decrease of the dry matter content and the starch content, and at the same time the increase of the reducing sugars content. The amylopectin starch is the most interesting sweet potato processing product, because it can be successfully used in the food industry as a thickener and stabilizer, and for obtaining of modified starches.

Keywords: sweet potato, dry matter (DM), phosphorus, calcium, starch, reducing sugars, processing.

For citing: Gol'dshteyn V.G., Semenova A.V., Morozova A.A., Vasserman L.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2026, no. 1, pp. 313–321. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20260117074>.

References

- Li Y., Zhao L., Shi L., Lin L., Cao Q., Wei C. *Molecules*, 2022, vol. 27 (6), 1905. <https://doi.org/10.3390/molecules27061905>.
- Laveriano-Santos E.P., López-Yerena A., Jaime-Rodríguez C., González-Coria J., Lamuela-Raventós R.M., Valverde-Queralt A., Romanyà J., Pérez M. *Antioxidants*, 2022, vol. 11 (9), 1648. <https://doi.org/10.3390/antiox11091648>.
- Amoanimaa-Dede H., Su C., Yeboah A., Chen C., Yang S., Zhu H., Chen M. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 2020, vol. 89(4), pp. 805–833. <https://doi.org/10.32604/phyton.2020.011979>.
- Hayati M., Zakaria S., Efendi E., Anhar A. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 425 (1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/425/1/012055>.
- Triasih D., Utami F.D. *The 3-rd International Conference on Agricultural and Life Sciences. E3S Web of Conferences*, 2020, vol. 142 (4), 01007. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014201007>.
- Guo K., Liu T., Xu A., Zhang L., Bian X., Wei C. *Food Hydrocolloids*, 2019, vol. 89, pp. 829–836. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.058>.
- Rahman M.S.M., Wheatley C., Rakshit S.K. *International Journal of Food Properties*, 2003, vol. 6, no. 3, pp. 419–430. <https://doi.org/10.1081/JFP-120021333>.
- Ghoshal G., Kaur M. *Food Chemistry Advances*, 2023, vol. 3 (11), 100356. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100356>.
- Oke M.O., Workneh T.S. *African Journal of Agricultural Research*, 2013, vol. 8(40), pp. 4990–5003. <https://doi.org/10.5897/AJAR2013.6841>.

* Corresponding author.

10. Diofanor Acevedo Correa D.A., Castillo P.M.M., Martelo R.J. *Contemporary Engineering Sciences*, 2018, vol. 11 (37), pp. 1845–1851. <https://doi.org/10.12988/ces.2018.84167>.
11. Fontes B.L.C., Oliveira F.G., Collares-Queiroz F.P. *American Journal of Food Technology*, 2011, vol. 6, no. 5, pp. 348–361. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.348.361>.
12. Tsugkiyev B.G., Gagiyeva L.Ch., Dzantiyeva L.B. *Pishchevaya promyshlennost'*, 2017, no. 9, pp. 26–27. (in Russ.).
13. Akoetey W., Britain M.M., Morawicki R.O. *Ciencia Rural*, 2017, vol. 47. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20160610>.
14. Krochmal-Marczak B., Sawicka B., Supski J., Cebulak T., Paradowska K. *International Journal of Agricultural Research*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 169–178.
15. Nunes Jas.G.d.S., Leonel M., Fernandes A.M., Nunes Jes.G.d.S., Figueiredo R.T.d., Silva J.A.d., Menegucci N.C. *Ciencia Rural*, 2025, vol. 55. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20240046>.
16. Cordeiro C.F., Fabio F.R., Batista G.D., Fernandes A.M. *Revista Brasileira de Engenharia Fgricola e Ambiental*, 2023, vol. 27, no.6, pp. 487–495. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v27n6p487-495>.
17. Oguezi V.U., Ibekwe F.C., Ngbede E.O. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 2022, vol. 47, no. 1, pp. 171–178. <https://doi.org/10.46602/jcsn.v47i1.711>.
18. Sanoussi A.F., Adjatin A., Dansi A., Adebowale A., Sanni L.O., Sanni A. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2016, vol. 5, no. 1, pp. 103–115. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.501.009>.
19. Kalashnikova Ye.A., Kirakosyan R.N., Sumin A.V., Abubakarov Kh.G., Temirbekova S.K. *Biosfera*, 2022, vol. 14, no. 4, pp. 331–332. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i4.696>. (in Russ.).
20. Lukin N.D., Kiryukhina I.I., Kostenko V.G. *Obshchiye metody analiza v tekhnologicheskoy kontrolye proizvodstva krakhmala i krakhmaloproduktov*. [General methods of analysis in technological control of production of starch and starch products]. Moscow, 2007, 158 p. (in Russ.).
21. Barnett R.N. et al. *Amer. J. Clin. Path.*, 1973, vol. 59, pp. 836–845.
22. Jaiswal A. *Potato, Nutrition and Food Security*, 2020, pp. 247–270. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7662-1_14.
23. Kaur M., Sandhu K.S. *Tropical Roots and Tubers*, 2020, pp. 479–506. <https://doi.org/10.1002/9781118992739.ch11a>.
24. *GOST ISO 6647-1-2015. Ris. Opredeleniye soderzhaniya amilozy. Chast' 1. Kontrol'nyy metod*. [Rice. Determination of amylose content. Part 1. Reference method]. Moscow, 2019, 16 p. (in Russ.).
25. Semenova A.V., Gol'dshteyn V.G., Degtyarev V.A., Morozova A.A., Koroleva A.K. *Agrarnaya nauka Yevro-Severo-Vostoka*, 2022, vol. 23, no. 6, pp. 841–851. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851>. (in Russ.).
26. Hammett H.L., Constantin R.J., Jones L.G., Hernandez T.P. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1982, vol. 107, no. 1, pp. 119–122. <https://doi.org/10.21273/JASHS.107.1.119>.

Received March 26, 2025

Revised May 12, 2025

Accepted July 3, 2025

Сведения об авторах

Гольдштейн Владимир Георгиевич – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделом глубокой переработки крахмалсодержащего сырья, 6919486@mail.ru

Семенова Анастасия Владимировна – научный сотрудник отдела глубокой переработки крахмалсодержащего сырья, semnast97@mail.ru

Морозова Анастасия Алексеевна – младший научный сотрудник отдела глубокой переработки крахмалсодержащего сырья, iknowwhereibelong@gmail.com

Вассерман Любовь Александровна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник лаборатории физико-химической модификации полимеров, lwasserma@mail.ru

Information about authors

Goldstein Vladimir Georgievich – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Head of the Department of Deep Processing of Starch-Containing Raw Materials, 6919486@mail.ru

Semenova Anastasia Vladimirovna – Researcher, Department of Deep Processing of Starch-Containing Raw Materials, semnast97@mail.ru

Morozova Anastasia Alekseevna – Junior Researcher, Department of Deep Processing of Starch-Containing Raw Materials, iknowwhereibelong@gmail.com

Wasserman Lyubov Aleksandrovna – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Physical and Chemical Modification of Polymers, lwasserma@mail.ru