



***Lactuca sativa* L.: выращивание, фитохимический состав, применение, селекция и генетическая трансформация**

Е.Б. Николаева, З.А. Бережнева*, А.А. Березин

Институт биохимии и генетики – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, Россия, 450054, Уфа, пр. Октября, 71, *E-mail: [berezneva-z@yandex.ru](mailto:berezhneva-z@yandex.ru)

Резюме

Латук посевной или салат-латук (*Lactuca sativa* L.) – это холодостойкое листовое овощное растение, принадлежащее к трибе Cichoreae семейства Asteraceae. Данный обзор посвящен рассмотрению биологии, условий выращивания, состава фитонутриентов, применения, селекции, исследований в области генетики и генетической трансформации салата-латука. Считается, что данная овощная культура была одомашнена на территории Плодородного Полумесяца и наиболее вероятным его предком является *Lactuca serriola* L. – латук компасный. Мировое производство салата-латука составляет около 28 миллионов тонн, причем в Азии производится 50% мирового объема, за ней следуют Северная Америка с 27% и Европа с 21%. Латук посевной выращивается в полевых условиях или теплицах традиционными методами или с применением технологий органического земледелия. Набирают популярность различные гидропонные технологии, в том числе с использованием искусственного освещения светодиодными лампами широкого спектра. Салат-латук – важный компонент здорового питания, так как является источником клетчатки, фенольных соединений, каротиноидов, хлорофилла, фолиевой кислоты, витаминов С, Е, К, бета-каротина, а также ряда минералов. Латук посевной также рассматривается как один из альтернативных источников натурального каучука, так как продуцирует высокополимерный полиизопрен. Проводятся полногеномные исследования салата-латука, в результате которых идентифицировано множество SSR и SNP маркеров, которые можно использовать в маркерной селекции. *L. sativa* довольно легко трансформируется и характеризуется высокими регенерационными способностями, что способствовало созданию ряда трансгенных и транспластомных растений латука посевного. Таким образом, салат-латук – это важный компонент функционального питания, источник ценных фитонутриентов для поддержания здоровья и приготовления биологически активных добавок, а также перспективный источник высококачественного натурального каучука.

Ключевые слова: латук посевной, салат-латук, гидропоника, domestикация, натуральный каучук, селекция, ДНК-маркеры, трансгенные растения, транспластомные растения

Цитирование: Николаева Е.Б., Бережнева З.А., Березин А.А. *Lactuca sativa* L.: выращивание, фитохимический состав, применение, селекция и генетическая трансформация. *Biomics*. 2025. Т.17(4). С. 65-95. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2026-5

© Авторы, 2026, Е.Б. Николаева, З.А. Бережнева, А.А. Березин

***Lactuca sativa* L.: cultivation, phytochemical composition, application, breeding, and genetic research**

E.B. Nikolaeva, Z.A. Berezheva*, A.A. Berezin

Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, 450054, Ufa, Prospect Oktyabrya, 71, *E-mail: berezheva-z@yandex.ru

Resume

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is a cold-hardy leafy vegetable belonging to the Cichoreae tribe of the Asteraceae family. This review examines the biology, growing conditions, phytonutrient composition, uses, breeding, genetic research, and genetic transformation of lettuce. This vegetable crop is believed to have been domesticated in the Fertile Crescent, and its most likely ancestor is *Lactuca serriola* L. (prickly lettuce). Global lettuce production is approximately 28 million tons, with Asia accounting for 50% of the global total, followed by North America with 27% and Europe with 21%. Lettuce is grown in the field or in greenhouses using traditional or organic farming methods. Various hydroponic technologies are gaining popularity, including those using broad-spectrum LED artificial lighting. Lettuce is an important component of a healthy diet, as it is a source of fiber, phenolic compounds, carotenoids, chlorophyll, folate, vitamins C, E, K, beta-carotene, and several minerals. Lettuce is also considered an alternative source of natural rubber, as it produces high-polymer polyisoprene. Genome-wide studies of lettuce are underway, which have identified numerous SSR and SNP markers that can be used in marker-assisted selection. *L. sativa* is quite easily transformed and has high regenerative capacity, which has facilitated the creation of a number of transgenic and transplastomic lettuce plants. Thus, lettuce is an important component of functional foods, a source of valuable phytonutrients for maintaining health and preparing dietary supplements, and a promising source of high-quality natural rubber.

Keywords: lettuce, hydroponics, domestication, natural rubber, selection, DNA markers, transgenic plants, transplastomic plants

Citation: Nikolaeva E.B., Berezheva Z.A., Berezin A.A. *Lactuca sativa* L.: cultivation, phytochemical composition, application, breeding, and genetic research. *Biomcs*. 2025. T.17(4). P. 65-95. DOI: DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2026-5 (In Russian)

© The Authors, 2026, E.B. Nikolaeva, Z.A. Berezheva, A.A. Berezin

Введение

Латук посевной, салат-латук или просто салат (*Lactuca sativa* L.) – это холодостойкое листовое овощное растение, принадлежащее к трибе Cichoreae семейства Asteraceae [Funk et al., 2005]. Эта культура включает семь основных групп сортов, различающихся по фенотипу, называемых морфотипами [Doležalová et al., 2002]. Точное место доместикации салата-латука неизвестно, однако произошёл он, вероятнее всего, от латука компасного (*Lactuca serriola* L.), в диком виде растущего в Западной и Южной Европе, Закавказье, Передней Азии, Северной Африке, в Сибири (до Алтая), Средней Азии [Горкин (Gorkin), 2006]. Первоначально салат выращивали древние египтяне, прежде всего для получения масла, однако со временем он стал важной продовольственной культурой, выращиваемой из-за его сочных листьев.

Род *Lactuca* включает более 100 видов, большинство из которых произрастает в Азии (51 вид) и Африке (43 вида), некоторые растут в Европе [Lebeda et al., 2004]. В Северной Америке было описано до 12 видов, которые широко распространены от Канады до Флориды и Мексики [Lebeda et al., 2007]. В большинстве случаев эти виды являются двулетними [Lebeda et al., 2004a]. Виды *Lactuca*, произрастающие в Северной Америке, вероятно, появились относительно недавно, в плиоцене [Lebeda et al., 2019]. Шесть из них, *L. biennis* (Moench), *L. canadensis* L., *L. floridana* (L.) Gaertn., *L. graminifolia* Michx., *L. hirsuta* Muhl. ex Nutt. и *L. ludoviciana* (Nutt.) Riddell, являются аллотетраплоидами ($x = 17$) [Lebeda et al., 2019]. Кроме того, в Северной Америке встречаются три сорных вида из Старого Света (*L. saligna* L., *L. serriola* и *L. virosa* L.) [Lebeda et al., 2019], а также культивируемый *L. sativa* [Lebeda et al.,

2007]. Все эти виды были завезены в Новый Свет европейскими поселенцами, при этом *L. sativa*, возможно, был завезен ещё во время второго путешествия Х. Колумба в 1494 году [Lebeda et al., 2019].

По всему миру культивируется только один вид – *L. sativa* [Grulich et al., 2004], который характеризуется очень высоким генетическим разнообразием. Салат-латук содержит большое количество масла (35%) и витамина Е и их содержание является предметом различных исследований. Также проводится изучение устойчивости к абиотическим факторам среды, прежде всего к засухе, засолению и гипотермии. Среди важнейших биотических факторов можно выделить вирус мозаики латука, ложную мучнистую росу, *Sclerotinia* spp., *Microdochium panattonianum*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium* spp., *Botrytis cinerea*, мучнистую росу латука, *Septoria* spp. Наиболее известными вредителями салата-латука являются тли *Myzus persicae* и *Nasonovia ribisnigri* [George et al., 1999].

В данном обзоре рассмотрены биология, условия выращивания, генетические исследования, пищевое применение, питательный и фитохимический состав, а также альтернативное применение латука посевного.

Доместикация салата-латука

Точное географическое происхождение салата-латука неизвестно, и он может происходить из разных регионов. До сих пор точно не ясно, какие именно виды были вовлечены в эволюцию, которая привела к появлению сегодняшнего салата-латука. Однако несомненно, что одним из, а может и единственным прямым предком является *L. serriola* [de Vries et al., 1997]. Действительно *L. sativa* и *L. serriola* свободно скрещиваются друг с другом, и хромосомы этих двух видов морфологически очень похожи [Feráková et al., 1977]. Некоторые считают эти два таксона подвидами одного и того же вида. Скорее всего, изменения в *L. serriola*, вызванные мутациями, привели к появлению благоприятных признаков, которые понравились людям, особенно формы без шипов на стеблях и листьях и с крупными семенами. Затем их стали отбирать для размножения, что со временем привело к соответствию потребностям человека. Эти ранние формы могли быть пригодны для использования в животноводстве или для получения масла из семян для домашнего потребления. Несколько таких примитивных форм салата-латука до сих пор существуют и используются в этих целях в Египте [Harlan et al., 1986]. Большинство из них быстро растут и развиваются, имеют нераскрывающуюся обёртку, предотвращающую осыпание семян, имеют

крупные семена и высокое содержание масла в них – 35% [Boukema et al., 1990]. Причем один из этих сортов, известный как USDA Plant Introduction (PI) 251245 из Египта, до сих пор используется для производства масла из семян. Данный сорт имеет ряд примитивных черт, к примеру, очень быстро дает стрелку и переходит к цветению, а также представляет ценность для селекции салата, так как имеет ряд положительных особенностей, к примеру, обладает устойчивостью к вирусу мозаики салата [Mikel, 2007].

Будучи одним из первых одомашненных овощей, латук относится к основной группе древних культур [Zhang et al., 2017]. Есть предположения, что латук имеет полифилетическое происхождение, но отобран из генофонда *L. serriola* [Lebeda et al., 2007]. Согласно последним исследованиям, центр разнообразия этих родственных видов *Lactuca* находится в Юго-Западной Азии (восток Турции, Армения и северо-запад Ирана) [An et al., 2022], и происхождение салата-латука, вероятнее всего, также связано с этим регионом, особенно с долиной Евфрата и Тигра [Zohary et al., 1991]. Одомашнивание диких видов латука привело к исчезновению колочек на листьях и стеблях, уменьшению количества латекса и горечи в тканях, уменьшению количества отростков, замедлению стрелкования, за исключением кочанного латука посевного, и увеличению размера семян. Отбор человеком и последующие селекционные работы также привели к изменениям в размере, форме, цвете, текстуре и вкусе листьев и растений, характере формирования кочана, устойчивости к болезням и насекомым, урожайности и адаптации к различным географическим регионам и условиям.

Способы выращивания салата-латука

Проводятся различные исследования по особенностям выращивания салата-латука и как это влияет на урожайность. К примеру, в производственной теплице ООО «Пригородный» (г. Сыктывкар) исследовали накопление биомассы и качество урожая листового салата сорта Афицион, культивируемого в зимнем обороте под светодиодными светильниками. Урожайность надземной биомассы составила 2.4 кг/м² при плотности потока ФАР около 90 мкмоль квантов/м² с (20 Вт/м²). КПД ФАР составил 3%, что близко полученным ранее данным на натриевых лампах высокого давления. Было показано, что для повышения продуктивности можно увеличить продолжительность освещения в декабре до 22-24 ч, в январе до 20-22 ч [Далькэ и др. (Dalke et al.), 2017]. Также ведутся работы по разработке технологий гидропонного выращивания

салата-латука [Назарова и др. (Nazarova et al.), 2019]. Авторы этой разработки исследовали зависимость между управляемыми параметрами микроклимата теплицы и урожайностью, периодом созревания салата-латука, при постоянном спектральном составе света. В более раннем исследовании [Колпаков, Решетникова (Kolpakov, Reshetnikova), 2012] был проведен сравнительный анализ продуктивности и хозяйственно ценных признаков сортообразцов салата-латука при разных сроках выращивания на гидропонике. Авторы выявили, что скорость нарастания листьев салата в весенне-летний период была существенно выше по сравнению с зимними сроками выращивания вследствие лучших условий для растений, в первую очередь освещенности и температуры. Также в статье приводятся рекомендации по выбору сортов салата для выращивания в зимний и весенне-летний периоды. В условиях открытого грунта в Московской области было показано, что при выращивании в весенне-летний период создаются наиболее благоприятные условия для развития и формирования урожая салата кочанного. А вот уже для летнего срока выращивания необходимо подбирать сорта устойчивые к болезням и высоким температурам [Воробьев и др. (Vorobyov et al.), 2023].

На базе предприятия ЗАО Агрохолдинг "Московский" были проведены исследования влияния различных органических препаратов на рост и развитие салата [Дыйканова, Ожерелков (Dyikanova, Ozherelkov), 2023]. В работе были испытаны препараты Nagro, Стормах, Золото полей в разных концентрациях. Наиболее эффективным для повышения продуктивности салата оказалось применение препаратов Nagro в концентрации 10 мл/10 л воды, Стормах в концентрации 10 мл/10 л воды и "Золото полей" в концентрации 30 мл/10 л воды.

В рамках международного сотрудничества были проведены исследования для оценки урожайности салата-латука разных сортов. Работы проводились на ферме Дамасского университета в течение первого сезона 2020–2021 годов и второго сезона (экспериментальное повторение) 2021–2022 годов. Целью эксперимента было изучение показателей роста, урожайности и качества двух сортов салата-латука: Ромэн и Крипсхед - при использовании различных гидропонных методов: метода питательной плёнки (NFT), капельной системы (DST), метода глубоководной культуры (DWC) и трёх различных концентраций питательного раствора (100%, 50%, 25%). Результаты дисперсионного анализа, согласно химическим анализам, показали, что у сорта Ромэн самый высокий процентный показатель индекса оценки каротиноидных

пигментов в листьях по сравнению с сортом Крипсхед. Кроме того, у сорта Ромэн был зафиксирован самый высокий процентный показатель общего содержания растворимых сухих веществ (TSS%) в листьях по сравнению с сортом Крипсхед. Между тем результаты дисперсионного анализа, согласно физическим тестам, показали, что у сорта Крипсхед процентное соотношение количества листьев было более высоким по сравнению с сортом Ромэн, в то время как у сорта Ромэн был более высокий показатель общей длины листьев и стебля [Idelbe et al., 2023].

В следующей работе были изучены выбросы углекислого газа (CO_2) с контролируемых производственных объектов, где выращивался салат-латук [Shiina et al., 2011]. Ещё одно исследование посвящено основным экологическим проблемам выращивания салата-латука в Испании при различных системах производства, а именно в неотапливаемых теплицах, с использованием пластиковой мульчи в сочетании с агроволокном на открытых полях и при различных уровнях внесения азота [Romero-Gamez et al., 2013]. Было оценено местное коммерческое производство салата-латука в пригородной зоне развитого города с децентрализованным производством и выявлены компромиссы между рядом экологических показателей, актуальных для региона (потенциал глобального потепления (ППП), землепользование, водопользование и эвтрофикация). Команда исследователей изучала три фермерских хозяйства, гидропонное выращивание на открытом воздухе и высокотехнологичное выращивание в теплице [Rothwell et al., 2015]. По всем анализируемым параметрам наилучшие показатели были характерны для пригородных фермерских хозяйств.

В другой работе изучались агрономические показатели и экологическая устойчивость органической и традиционной агроэкосистем для выращивания салата-латука в Центральной Италии. Были исследованы урожайность и качество продукции, адаптивность сортов к условиям органического земледелия, качество почвы и потенциальный риск вымывания азота из почвы. Было замечено, что урожайность салата-латука, выращенного органическим способом, ниже, чем при традиционном выращивании, из-за дефицита доступных питательных веществ и недостаточной борьбы с сорняками [Campanelli et al., 2012]. Актуально изучение как традиционных, так и органических систем выращивания салата-латука путём оценки их воздействия на окружающую среду. Для этого в качестве примеров были использованы традиционное и органическое выращивание салата-латука в открытом грунте в

условиях Греции. Данные по всем этапам выращивания салата-латука были собраны путём опроса фермера, владеющего сертифицированной органической фермой, и фермера, выращивающего овощи традиционным способом, а экологическая эффективность каждой системы выращивания была изучена с помощью методологии оценки жизненного цикла (LCA) [Foteinis et al., 2016]. Также была исследована экологическая устойчивость традиционной системы выращивания салата-латука на севере Греции. Собраны данные обо всех этапах (таких как орошение, использование техники и внесение удобрений) выращивания салата-латука, и их устойчивость определена с помощью оценки жизненного цикла (LCA). Были использованы две разные функциональные единицы: гектар посевной площади и тонна выращенного латука посевного. Воздействие на окружающую среду на промежуточном и конечном этапах, а также выбросы CO₂ были оценены с помощью программного обеспечения SimaPro 8 LCA. Было установлено, что воздействие на окружающую среду и выбросы CO₂ при выращивании органического латука были на 11% и 15% соответственно ниже, чем при выращивании обычного салата-латука, если оценивать устойчивость по площади (га) посевов. Напротив, традиционное выращивание салата-латука показало лучшие экологические результаты, чем органическое, на 51% и 53% по выбросам CO₂ и общего воздействия на окружающую среду соответственно, если в качестве функциональной единицы расчёта используется количество выращенного салата-латука. Это связано с тем, что органическая система земледелия из-за более низкой урожайности требует значительно больших посевных площадей для получения такого же урожая, как при традиционном земледелии. Кроме того, было установлено, что во всех случаях основной вклад в большинство категорий воздействия вносил этап орошения из-за высоких энергозатрат на перекачку грунтовых вод и зависимости греческой энергосистемы от ископаемого топлива. Кроме того, во всех случаях традиционная система выращивания латука посевного оказывала значительное влияние на эвтрофикацию из-за использования минеральных удобрений, что создавало серьёзную нагрузку на местные пресноводные экосистемы [Foteinis et al., 2016].

Для выращивания салата-латука все чаще применяют гидропонику и необходимо отметить, что данное растение даёт очень хорошие урожаи при таком способе выращивания. Гидропоника может рассматриваться как искусственно созданный способ выращивания растений, при котором используется беспочвенная среда для выращивания и питательный

раствор, оптимизированный для обеспечения необходимых ресурсов для роста и развития растений [Savvas et al., 2003]. Что касается управления гидропоникой, то его можно рассматривать как систему насыщения воды питательными веществами, необходимыми для растений, и подачи её к корням растений по мере необходимости, чтобы можно было получить максимальную урожайность на минимальной площади, используя гораздо меньше воды и труда [Eigenbrod et al., 2015]. Растения, выращенные гидропонным способом, получают сбалансированное питание, благодаря чему они более здоровы, чем растения, выращенные в почве. За последние несколько десятилетий по всему миру, но особенно в США и Китае, исследования в области гидропоники, направленные на повышение урожайности гидропонных культур и устранение их недостатков, значительно расширились. Многообещающими гидропонными методами для выращивания салата-латука, обеспечивающие более высокое содержание питательных веществ и урожайность по сравнению с системой выращивания в защищённом грунте, являются глубоководная культура (DWC) и метод питательной плёнки (NFT).

В исследовании Carotti [2021] анализировалось взаимодействие между плотностью потока фотонов (PPFD), температурой воздуха и температурой в корневой зоне при выращивании салата-латука в условиях неограниченного доступа к воде, питательным веществам и CO₂. Измерили параметры роста при 48 комбинациях PPFD в 200, 400 и 750 мкмоль/м² с (продолжительность светового дня 16 часов) при температуре воздуха в корневой зоне 20, 24, 28 и 32°C. Салат-латук (*L. sativa* cv. *Batavia Othilie*) выращивали в течение четырёх циклов (29 дней после пересадки). Восемь комбинаций с низкой температурой в корневой зоне (20 и 24°C), высокой температурой воздуха (28 и 32°C) и высокой фотосинтетической активной радиацией (400 и 750 мкмоль/м² с) привели к чрезмерному ожогу верхушек и не были включены в дальнейший анализ. Сухая масса увеличивалась с ростом потока фотонов до 750 мкмоль/ м² с. Эффективность преобразования фотонов (как в сухой, так и в сырой массе) снижалась с увеличением потока фотонов: 29, 27 и 21 г сырой массы побега и 1.01, 0.87 и 0.76 г сухой массы побега на моль падающего света при 200, 400 и 750 мкмоль/м² с соответственно, в среднем по всем температурным комбинациям, при одновременном уменьшении удельной площади листьев (SLA). Наибольшая эффективность была достигнута при интенсивности света 200 мкмоль/м² с, температуре воздуха 24°C и температуре в корневой зоне 28°C: 44 г сухой массы и 1.23 г сырой массы на моль

падающего света. Влияние температуры воздуха на урожайность свежей продукции было связано со всеми процессами роста листьев. Соотношение площади листьев к площади почвы, распределение массы побегов и содержание воды в листьях демонстрировали ту же тенденцию в зависимости от температуры воздуха с максимумом около 24°C. Влияние температуры почвы было менее выраженным, а оптимальная температура составляла около 28°C почти при всех условиях. При таком сочетании температур товарный размер (вес побегов = 250 г) достигался за 26, 20 и 18 дней при 200, 400 и 750 мкмоль/м² с соответственно, а содержание сухого вещества в побегах составляло 2.6, 3.8 и 4.2% [Carotti et al., 2021].

В гидропонной культуре латука значительно более быстрому росту способствовала технология микропузырьков. Данная технология применяется во многих областях, включая фракционирование пены, обработку пищевых продуктов, очистку загрязнённой воды и морскую культуру устриц. Микропузырьки — это крошечные пузырьки газа в воде со средним диаметром 50 мкм или меньше. Вероятно, это довольно перспективная технология, но для выяснения взаимосвязи между конкретными свойствами микропузырьков и ростом корней растений требуются дальнейшие исследования [Takahashi, 2005].

Целью исследования Alromian [2020] была оценка влияния типов и доз компоста на рост салата-латука. В теплице экспериментальной станции Колледжа сельского хозяйства и ветеринарии в Саудовской Аравии был проведён эксперимент в вегетационных сосудах. В песчаную почву были добавлены три типа компоста (куриные отходы, отходы животноводства и смешанные органические отходы) в четырех дозах (1%, 2%, 4% и 6%). Семена салата-латука были посеяны в питомнике. Через две недели каждый саженец был пересажен в горшок с 15 кг почвы. Растения латука посевного регулярно поливали в течение 60 дней, затем собирали урожай. Результаты показали значительные различия в сухой массе, содержании питательных веществ и концентрациях тяжёлых металлов в зависимости от различных обработок компостом. Оценка влияния различных видов компоста на качество и рост растений салата-латука показала, насколько важно учитывать компостную среду. Это крайне важно не только для получения урожая, но и для защиты здоровья людей и сохранения чистоты окружающей среды. В целом, было показано, что использование органических и минеральных удобрений приводит к существенному улучшению параметров роста латука. Но при определенных обработках с увеличением количества

компоста сухая масса салата-латука снижалась. Более того, при некоторых вариантах обработки с более высокими нормами внесения, рост растений прекращался. Питательный статус тканей салата-латука сильно различается у разных типов компоста. Концентрация тяжёлых металлов и микроэлементов в тканях латука значительно зависела от типа компоста. Концентрация меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), кадмия (Cd) и никеля (Ni) в тканях латука варьировала от 7.4 до 9.6, от 81.5 до 104, от 23.3 до 28.2, от 3.7 до 5.8 и от 27 до 30 мг/кг соответственно. Было обнаружено, что концентрация тяжёлых металлов в тканях латука увеличивалась по мере увеличения дозы внесения компоста. При этом содержание Zn, Pb, Cd и Ni в листьях латука было выше нормы и не соответствовало требованиям национальных стандартов [Alromian, 2020].

Было проведено исследование влияния внесения биоугля из рисовых отрубей на рост листьев *L. sativa*, которое оценивалось в ходе эксперимента в вегетационных сосудах в течение трех циклов выращивания. Использованный в работе биоуголь был побочным продуктом установки для газификации рисовых отрубей и содержал 28.7% углерода по массе. Дозы внесения биоугля в почвенную смесь составили 25, 50 и 150 г/кг и использовались с органическими удобрениями (смесь компоста, жидкого компоста и донных отложений) и без них. Этот биоуголь из рисовой шелухи был слабощелочным (pH 7,79), повышал pH почвы и содержал повышенное количество некоторых микроэлементов и обменных катионов (K, Ca и Mg) по сравнению с почвой. Было обнаружено, что обработка биоуглем увеличивает общую биомассу, массу корней, высоту растений и количество листьев во всех циклах выращивания по сравнению с обработкой без биоугля. Наибольшее увеличение биомассы за счёт добавления биоугля (903%) было отмечено в почвах без удобрений, а не в удобренных почвах (483%) [Carter et al., 2013]. Биоуголь из рисовых отрубей, внесённый в почву в количестве от 50 до 150 г на кг в ходе испытаний, оказал положительное влияние на рост латука как с местными органическими удобрениями, так и без них, на песчаной кислой почве, типичной для Камбоджи, где и проводилось исследование. Это говорит о том, что биоуголь из рисовых отрубей может быть полезен как для натурального, так и для коммерческого сельского хозяйства. При внесении в почвенный субстрат в ходе испытаний биоуголь и местные органические удобрения изменяли физическую структуру почвы (объемную плотность) и химические свойства почвы (pH, емкость катионного обмена и содержание питательных веществ),

и это влияние сохранялось в течение трех циклов выращивания [Lehmann et al., 2006].

Возделывание салата-латука в качестве листовой овощной культуры

Салат-латук важная листовая овощная культура, используется в рационе человека уже более 6500 лет [Whitaker et al., 1969]. Салат-латук имеет очень древнюю историю, культивируется со времен самых первых цивилизаций. Основные центры культивирования: Средиземноморье, Ближний Восток, Китай, Япония. На сегодняшний день салат-латук выращивается в умеренных и субтропических регионах Азии, Северной Америки и Европы. *L. sativa* – один из самых важных и популярных листовых овощей, который используется в большинстве стран мира [Lebeda et al., 2019]. Это один из наиболее морфологически и генетически разнообразных овощей, имеющий различные садовые типы (хрустящая головка, ромэн, баттерхед, листовой, латинский, стеблевой, краснolistный и масличное семя), которые различаются формой, размером и текстурой листьев, длиной стебля и размером семян. Все эти формы обычно употребляются в пищу в сыром виде [Lebeda et al., 2019], кроме стебля и семян.

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной ООН (the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)), в Азии производится 50% мирового объема салата-латука, за ней следуют Северная Америка с 27% и Европа с 21%. Информационная служба сельского хозяйства и рыболовства Мексики (SIAP) сообщила, что в 2023 году было произведено 523000 тонн салата-латука, а в 2025 году ожидается производство более 530000 тонн. В частности, Мексика ежегодно экспортирует в среднем 260000 тонн салата-латука в такие страны, как США, Канада, Япония, Коста-Рика и Панама. По данным Испанской федерации ассоциаций производителей и экспортёров фруктов, овощей, цветов и живых растений (FEREX), это делает Мексику третьим по величине экспортёром салата в мире после США и Испании. В Египте же в основном выращивают масличные формы *L. sativa*. В Эфиопии *L. sativa* выращивается в районах Фогера и Либокемкем, где высокую урожайность показал сорт *Tesfa*. По данным FAOSTAT, в 2015 г. мировое годовое производство салата-латука увеличилось с 12,5 млн тонн в 1993 году до 25 млн тонн в 2012 году. Салат-латук очень популярен в странах Средиземноморья [Romero-Gomez et al., 2014], особенно, в Греции [HCC, 2013]. За несколько лет в Греции резко возросло производство салата-латука: с 90 тыс. тонн в 2009 году до примерно 130 тыс. тонн в 2012 году [FAOSTAT, 2015].

Салат-латук выращивают на всех континентах, но крупнейшими потребителями и производителями являются США (91 тыс. га, из которых 60 тыс. га приходится на Калифорнию) и Европа (общая площадь полей в ЕЭС составляет 80 тыс. га). Большие площади салата-латука также выращиваются на юго-востоке Австралии, в Японии, Китае, Израиле, в Чили, Аргентине, Бразилии и Перу.

Салат-латук лучше всего растёт при средней температуре от 15 до 18,5°C, но может выдерживать температуру до -5°C, а в жарком климате может слишком быстро расти и рано зацветать [Thanopoulos et al., 2008]. Наиболее благоприятен нейтральный уровень pH почвы - от 6,5 до 7. Салат-латук выращивают либо в теплицах, либо в открытом грунте. Последний способ наиболее популярен как в традиционном, так и в органическом сельском хозяйстве [Thanopoulos et al., 2008].

В России также ведутся исследования по особенностям выращивания разных сортов салата-латука. К примеру, проведена сравнительная оценка сортов листового салата-латука по хозяйственно-ценным признакам при их выращивании на грунте. Наиболее ранние всходы и фаза образования двух настоящих листьев были у сорта Лакомка. Сорт салата Хрустящий витамин в весеннем посеве раньше всех сортов формировал урожай зелени. Салат сорта Лакомка в открытом грунте в весенний период формировал самый высокий урожай (16,4 т/га). Высокое содержание витамина С обнаруживалось в зелени сортов Атлет и Гранд (20,57 и 21,25 мг/100 г продукции соответственно) [Малхасян (Malkhasyan), 2017].

Фитохимический и питательный состав салата-латука

Согласно различным данным, у латука обнаруживаются тритерпеноиды, алкалоиды, смолистые вещества, 40 производных гидрокоричной кислоты, 21 производное гидробензойной кислоты, 2 производных гидрокси-фенилацетической кислоты, 18 флавонолов, 9 флавонов, один флаванон, 7 кумаринов, один танин, 12 лигнанов тритерпеноидный сапонин. Эфирное масло листьев салата содержат α -пинен, γ -цимен, тимол, дуренол, α -терпинен, тимол ацетат, кариофиллен, спатуленол, камфен, лимонен. Эфирное масло семян салата содержит *n*-гексанол (36,31%), *n*-гексанал (13,71%), транс-2-октен-1-ол (8,09%), 2-*n*-пентилфуран (4,41%) [Yadava, Jharbade, 2008; Xu et al., 2011; Viacava et al., 2018; Кароматов, Аслонова (Karomatov, Aslonova), 2018]. Органические кислоты в салате находятся в свободном состоянии и в виде солей. В листьях салата обнаружены яблочная, лимонная и янтарная кислоты. В

салате около 2% углеводов, 1.5% белка, 0.5% клетчатки [Каптел и др. (Kartel et al.), 2019]. Ниже более подробно рассмотрены некоторые группы соединений, которые обнаруживаются у салата-латука.

Фенольные соединения

Фенольные соединения относятся к жизненно важным вторичным метаболитам растений, которые играют важную роль в механизме защиты растений [Dai et al., 2010]. Считается, что фенолы могут продлить срок хранения салата и повысить устойчивость растений к стрессу, способствуя снижению потерь при хранении [Hodges et al., 2003]. Это может быть связано с тем, что активные формы кислорода обычно способствуют увяданию листьев, а системы антиоксидантной защиты будут препятствовать этому [López et al., 2014]. Наиболее распространёнными фенольными соединениями в салате являются кофейная кислота, хлорогеновая кислота, а также их производные [Zhao et al., 2007]. Фенольные кислоты составляют 70% и 94% от общего содержания фенолов в некоторых зелёных сортах, тогда как в красном салате только 35% и 45% [Llorach et al., 2008]. В состав флавоноидов и флавонолов в салате входят кверцетин и производные кемпферола, антоцианы и флаван лютеолин [Llorach et al., 2008]. Кроме того, в некоторых сортах салата обнаруживается изорамнетин являющийся важным флавоноидом. В салате содержатся свободные и связанные фенольные соединения [López et

al., 2014]. Свободные фенольные соединения, которые можно идентифицировать в метанольном экстракте – это протокатеховая, хлорогеновая, кофейная и п-кумаровая кислоты, кемпферол, лютеолин, апигенин и флоризин. Хлорогеновая кислота – это соединение, которое в основном содержится в свободных фенолах. Как правило, наибольшее количество хлорогеновой и кофейной кислот содержится в салате разновидности Ромэн, но с большой вариативностью в зависимости от конкретного сорта [López et al., 2014].

Основное различие между красным и зелёным салатом заключается в содержании антоцианов, поскольку этот тип флавоноидов отвечает за красные/синие/фиолетовые пигменты в некоторых овощах и фруктах [Mampholo et al., 2016]. Существует связь между цветом листьев и типом салата. Как правило, качественное и количественное содержание фенолов в салате зависит от сорта. В последние годы красный салат становится все более популярным в качестве ингредиента для салатов из-за высокого содержания антоцианов и фенолов, которые приносят больше пользы для здоровья, чем зеленый салат [Gazula et al., 2007]. Однако различные агрономические или экологические факторы, такие как свет, климатические и послеуборочные условия, а также тип ткани, могут влиять на содержание фенолов в салате (Таблица 1) [Park et al., 2021].

Таблица 1.

Основные фитохимические вещества, обнаруженные в салате-латуке и их биологическая активность для организма человека

Table 1. The main phytochemicals found in lettuce and their biological activity for the human body

Фитохимические вещества	Подгруппы	Специфические соединения	Биологическая активность
Фенольные соединения	Фенольные кислоты	Кофейная кислота, хлорогеновая кислота и их производные	Средства от диабета, противомикробные, противовоспалительные, для ухода за кожей, пищевые консерванты
	Флавоноиды	Кверцетин, изорамнетин, кемпферол, антоцианы	Гепатопротекторная, антибактериальная, противовоспалительная, противораковая, противовирусная
Каротиноиды	Каротиноиды	α-каротин, β-каротин, ликопин	Защита сердечно-сосудистой системы, противораковые свойства, борьба с ожирением, пигментные, антипролиферативные свойства
	Ксантофиллы	Лютеин, неоксантин, лактукаксантин, виолаксантин, зеаксантин	Защита сердечно-сосудистой системы, противораковые свойства, борьба с ожирением, пигментные, антипролиферативные свойства
Хлорофилл		Хлорофилл а, хлорофилл б	Антиоксидант, противораковое средство, стимулирует иммунную систему, улучшает цвет кожи, нормализует кровяное давление

Недавние исследования показали, что ряд пищевых полифенольных соединений, получаемых из растений, являются более мощными антиоксидантами *in vitro*, чем витамины Е или С, и поэтому могут оказывать защитное действие *in vivo*. Теперь можно установить антиоксидантную активность флавоноидов растительного происхождения в водной и липофильной фазах и определить степень, в которой общий антиоксидантный потенциал может быть объяснён активностью отдельных полифенолов [Kumar et al., 2019].

Каротиноиды

Каротиноиды – это разновидность жирорастворимых пигментов, широко распространённых в жёлто-оранжевых фруктах и овощах, а также в листовых овощах тёмного цвета [Maiani et al., 2009]. Содержание β-каротина было самым высоким во всех сортах салата, составляя половину от общего количества каротиноидов, за ним следовали лютеин (20%), лактукаксантин (13%), виолаксантин (11%) и неоксантин (6%) [López et al., 2014]. Однако содержание каротиноидов также различается в разных видах салата-латука. Наблюдалась умеренная связь между содержанием β-каротина и значением цвета листьев латука, что позволяет предположить, что увеличение яркости листьев в значительной степени связано с содержанием β-каротина [Mampholo et al., 2016]. Carnat с соавт. [2004] сообщили, что количество β-каротина и лютеина в листьях красного латука в целом выше, чем в листьях зелёного салата, таких как «Масляный» и «Батавия», что подтверждает положительную корреляцию между концентрацией каротиноидов, содержанием хлорофилла и зелёного цвета [Khachik et al., 2006]. Однако эти результаты в некоторой степени спорные. Например, в зелёном листовом салате [Mou et al., 2005] содержится больше каротиноидов, чем в красном, а содержание β-каротина в красном и зелёном листовом салате одинаково. Таким образом, содержание каротиноидов не полностью связано с пигментацией листьев.

Кроме того, предыдущие исследования показали, что сорт и другие условия могут влиять на содержание каротиноидов в салате. К примеру, сорт Криспхед с закрытой формой кочана, поэтому его листья получают меньше света, чем листья с относительно открытой формой кочана, что приводит к меньшему синтезу каротиноидов [Mou et al., 2005]. Содержание каротиноидов во внешних листьях выше, чем во внутренних, из-за положительного влияния интенсивности света на биосинтез каротиноидов во внешних листьях [Baslam et al., 2013].

Хлорофилл

Хлорофилл – это основной фотосинтезирующий пигмент, который придаёт растениям и многим водорослям зелёный цвет. Поэтому в зелёных сортах салата содержится больше хлорофилла, чем в красных. Будучи основным пигментом листовых зелёных овощей, содержание хлорофилла играет важную роль в определении качества овощей. Количественная оценка содержания хлорофилла может считаться неким индикатором, позволяющим контролировать питательную ценность зелёных листовых овощей, таких как салат-латук, поскольку большая часть азота содержится в хлорофилле листьев. Кроме того, по мере старения после сбора урожая содержание хлорофилла в салате-латуке постепенно снижается, что является показателем снижения качества [Heimler et al., 2007]. Кроме того, считается, что хлорофилл является хорошим источником витаминов Е, А, С, К и β-каротина, а также важных минералов, таких как магний, калий, железо, кальций и незаменимые жирные кислоты. Считается, что хлорофилл обладает защитными эффектами для организма человека, такими как антиканцерогенное и антимуtagenное действие, благодаря своим антиоксидантным свойствам [Turkmen et al., 2006].

Lopez с соавт. [2014] продемонстрировали различия в некоторых типах питательных и биологически активных соединений, обусловленные различной структурой и размерами кочанов салата. Например, в кочанах открытого салата, такого как Ромэн, с большей площадью фотосинтеза, содержится больше таких соединений, как хлорофиллы, сахара и другие важные метаболиты [Ozgen et al., 2011]. Напротив, кочаны закрытого салата могут препятствовать проникновению солнечного света, что приводит к снижению содержания хлорофилла и других метаболитов. На основе данных Mou с соавт. [2005] можно наблюдать аналогичные эффекты структуры кочана на содержание каротиноидов, о которых упоминалось ранее. Взаимосвязь между β-каротином и хлорофиллом играет роль в фотосинтезе, при этом первый выступает в качестве дополнительного пигмента. β-каротин может поглощать световую энергию в различных диапазонах длин волн и передавать её хлорофиллу [Mou et al., 2005].

Витамины

Витамины являются важными микроэлементами, необходимыми для обмена веществ [Survase et al., 2006]. В салате наиболее распространены фолиевая кислота и витамины С и Е. Wang с соавт. [2013] показали, что общее содержание фолиевой кислоты в салате Ромэн

выше, чем в другом популярном листовом овоще - шпинате. В листьях латука содержатся и выполняют биологические функции две формы витамина С - аскорбиновая кислота (АА) и дегидроаскорбиновая кислота (ДГАА) [Dewhirst et al., 2018]. Поэтому необходимо проводить одновременный анализ обоих соединений. Например, на аскорбиновую кислоту приходится 24,5% общей антиоксидантной активности салата, что показывает, что витамин С является важным антиоксидантом [Carnat et al., 2004]. Напротив, Szeto и др. [2002] обнаружили, что уровень витамина С в салате составляет всего 1% от общей антиоксидантной активности. Такие разные данные можно объяснить наличием в салате дегидроаскорбиновой кислоты. Хотя дегидроаскорбиновая кислота похожа на витамин С, она не обладает антиоксидантной активностью [Carnat et al., 2004]. В целом, салат-латук не является богатым источником витамина С, как некоторые другие овощи, такие как брокколи, цветная капуста или перец стручковый [Bahogun et al., 2004]. Содержание витамина Е в виде разных форм токоферола было изучено в четырёх формах салата-латука [Chun et al., 2006]. Было выяснено, что наибольшее количество токоферола, 1,06 мг/100 г съедобной массы, содержится в листовом салате. Действительно, α -токоферолы и γ -токоферолы являются основными формами токоферола в салате, и первый из них является наиболее биологически активным. Кроме того, [Szymańska et al., 2008] показали, что в листьях салата преобладает α -токоферол, а γ -изомер содержится в большом количестве в кочанах салата. По данным Министерства сельского хозяйства США, общее содержание токоферола в салате составляет около 0,5 мг/г, из которых 0,26 приходится на α - и γ -конформацию [Byrdwell et al., 2021]. Кроме того, Saini с соавт. [2016] отметили, что высокое содержание аскорбиновой кислоты и токоферола в салате-латуке способствует увеличению срока хранения, сохраняя фенольные соединения от окисления.

Минералы

Как известно одним из лучших способов получения минералов в достаточном количестве является включение в рацион листовых овощей [Saini et al., 2014]. Натрий (Na) и калий (K) играют важнейшую роль в балансе воды и электролитов, а также в других метаболических функциях [Soetan et al., 2010]. Если взять за стандарт рекомендуемое ежедневное потребление Na, то его содержание в салате низкое [Food et al., 2005]. Напротив, содержание K в салате выше, чем содержание Na. Еще одним важным минералом, содержащимся в салате-латуке, является кальций (Ca), который способствует здоровью костей и

сводит к минимуму риск развития остеопороза. Другие минералы, такие как фосфор (P), магний (Mg), железо (Fe) и цинк (Zn), также содержатся в салате-латуке, а их концентрация зависит от типа кочана и почвенных условий. Santos с соавт. [2014] обнаружили, что еще одним важным минералом в салате-латуке является железо (Fe). Между тем, также было показано высокое содержание калия (K) и кальция (Ca), а Na было мало.

Антипитательные соединения

В некоторых сортах и формах салата содержатся антипитательные вещества. Такие соединения оказывают прямое и косвенное воздействие, начиная от лёгкой реакции и заканчивая даже летальным исходом, поэтому их необходимо учитывать. К основным антипитательным веществам в салате относятся нитраты, фитаты, дубильные вещества, оксалаты и цианогенные гликозиды. К примеру, нитраты накапливаются в клеточных вакуолях и могут транспортироваться по ксилеме [Sinha et al., 2017]. Вода и питательные вещества могут транспортироваться по ксилеме от корней к листьям, а продукты фотосинтеза могут транспортироваться по флоэме между листьями и точками роста растения, влияя на распределение нитратов, поэтому листовые культуры, в том числе и салат-латук, могут иметь относительно высокую концентрацию нитратов. Ещё одним следствием этого механизма транспортировки является то, что в старых листьях концентрация нитратов выше, чем в молодых [Greenwood et al., 1986]. Другим антипитательным веществом в салате являются алкалоиды – натуральные горькие вещества, содержащиеся в растениях и обладающие некоторыми фармакологическими свойствами. Алкалоиды приводят к сбоям в работе желудочно-кишечного тракта и нервной системы, которые нарушают или неправильно усиливают электрохимическую передачу [Aletor et al., 1993]. Алкалоиды могут оказывать явное физиологическое воздействие на человека [Fernando et al., 2012]. Например, высокое потребление тропановых алкалоидов может привести к учащённому сердцебиению, параличу и даже смерти в тяжёлых случаях. Кроме того, высокая доза алкалоидов триптамина может вызвать головокружение и смерть.

Многие растения, в том числе некоторые сельскохозяйственные культуры, содержат растительные токсины, которые являются природными соединениями. Во многих случаях эти токсины можно рассматривать как защитные механизмы, которые вырабатывают растения, чтобы предотвратить поедание насекомыми. Если насекомое съест достаточно много растений, токсичные вещества могут накопиться в его

организме и достичь высокого уровня, нарушая функции клеток и тканей, после чего насекомое погибнет. Таким образом, растительные токсины жизненно важны для естественной системы баланса. Кроме того, зелёные листовые овощи, содержащие антипитательные вещества, такие как нитраты, оксалаты, фитаты, цианогенные гликозиды и дубильные вещества, влияют на усвоение микроэлементов. Некоторая термическая обработка путём варки, приготовления и бланширования может снизить содержание антипитательных веществ в салате-латуке. Также необходимы дальнейшие исследования различных сортов и внедрение агрономических методов, которые могут снизить содержание и влияние антипитательных веществ в зелёных листовых овощах, таких как салат-латук, и повысить их питательную ценность.

Возможное медицинское применение

Упоминания о латуке *Lactuca* sp., появившиеся с древних времен, содержали информацию о его целебных свойствах, но такие свойства приписывались разным видам или разновидностям. Помимо латука дикого, сообщалось, что лечебным действием обладает также салат-латук, причем в некоторых источниках отсутствовала информация, позволяющая точно идентифицировать вид рассматриваемого латука. В 19 веке были предприняты попытки навести некоторый порядок в знаниях о салате-латуке как лекарственном растении. Информация, содержащаяся в польских медицинских публикациях XIX века о салате-латуке, указывает на то, что в качестве лекарственного растения использовались ядовитый вид *L. virosa* и садовый салат-латук *L. sativa* v. *Lactuca hortensis*. В тот период салат-латук и особенно получаемый из него высушенный млечный сок, латукарий, считались одурманивающим средством и использовались в качестве успокоительного и обезболивающего, видимо по аналогии с млечным соком мака. Действие латукария явно было слабее, чем у опиума, но без побочных эффектов, но в некоторых источниках сообщалось, что будто бы латукарий оказывал такой же эффект, что и опиум. Чтобы подтвердить эти свойства латука и его млечного сока, были проведены исследования с целью найти вещество, отвечающее за целебные свойства сока. Однако такие исследования не дали ожидаемых результатов, и компонент, отвечающий за целебные свойства латука так и не был выявлен. Таким образом, медицинская практика была вынуждена ограничиться использованием высушенного млечного сока и полученных из него экстрактов. Возможность получения латукария из растений, выращиваемых в

Польше, заинтересовала польских фармацевтов и врачей, и они начали собственные исследования латука и получаемого из него млечного сока. Результаты исследований латука были опубликованы в польских журналах XIX века [Trojanowska et al., 2005].

На сегодняшний день салат-латук в основном известен своим кулинарным использованием и не имеет признанной медицинской ценности. В то же время фитохимические вещества фенолы, танины, стероиды, углеводные гликозиды, флавоноиды и алкалоиды, обнаруженные в салате, полезны для здоровья. Благодаря своему лечебному потенциалу салат-латук можно использовать в качестве пищевой добавки. *L. sativa* также имеет репутацию важного компонента здорового питания. В то же время салат может быть перспективным растительным лекарственным средством с разнообразными лечебными свойствами, которые стоит изучить подробнее и возможно будут разработаны новые лекарственные средства на основе этого растения [Oladimeji et al., 2023].

Есть сведения, что листья салата используют как обезболивающее и седативное средство при лечении сахарного диабета, тиреотоксикоза. Свежие листья салата посевного иногда рекомендуют употреблять ослабленным больным, кормящим женщинам для увеличения молока [Кароматов, Аслонова (Karomatov, Aslonova), 2018]. Клинические исследования салата показали, что салат стимулирует гемопоэз. При приеме внутрь он может помочь при хронических гастритах, язвенной болезни желудка и 12 перстной кишки. Есть доказательства анальгетических, противовоспалительных, антидепрессивных, антикоагулянтных свойств салата [Кароматов, Аслонова (Karomatov, Aslonova), 2018].

Shi et al. [2022] отмечают несколько полезных аспектов для здоровья от употребления салата-латука, включая противовоспалительный эффект, улучшение здоровья сердечно-сосудистой системы и потенциальные противораковые свойства [Park et al., 2021]. Наличие антиоксидантов в салате-латуке связывают с позитивным влиянием на иммунную систему и общее состояние здоровья.

Различные разновидности и сорта салата, представленные на рынке, отличаются по текстуре, вкусу и аромату, а также содержат различные фитохимические вещества, полезные для здоровья [Hedges et al., 2005]. Altunkaya с соавт. [2009] наблюдали синергетический антиоксидантный эффект салата-латука, который подвигает активность полифенолоксидазы за счет кверцетина и α -токоферола. В то же время наличие антоцианов в салате сорта Крипсхед повышает его антиоксидантные свойства за счёт ингибирования

ферментов и связывания микроэлементов, участвующих в образовании свободных радикалов [Gan et al., 2016]. Следовательно, сочетание нескольких биологически активных соединений с антиоксидантной активностью в салате способствует проявлению многочисленных фармакологических свойств, включая кардиопротекторное, противораковое и противодиабетическое.

Кардиопротекторное действие

Некоторые эпидемиологические исследования доказывают, что употребление овощей положительно влияет на лечение сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ), особенно если речь идёт о зелёных листовых овощах, таких как салат-латук. Например, [Nicolle et al., 2004] исследовали рацион крыс, в котором салата-латука было 20%, и он оказывал кардиопротекторное действие, улучшая метаболизм холестерина и антиоксидантную способность плазмы.

Салат-латук, как правило, оказывает ряд позитивных воздействий на факторы сердечно-сосудистых заболеваний в различных механизмах благодаря своей клетчатке, доступности антиоксидантов и, вероятно, другим фитохимическим веществам. Считается, что клетчатка и антиоксидантные соединения оказывают положительное влияние на метаболизм холестерина и профилактику ССЗ. Во-первых, снижение уровня холестерина в салате-латуке можно объяснить содержанием клетчатки. Было доказано, что пектин, растворимые волокна, влияющие на липидный обмен как в организме животных, так и человека, снижают всасывание холестерина в пищеварительном тракте [Nishimura et al., 2000]. Механизмы ингибирования всасывания холестерина в основном связаны с нарушением образования мицелл и задержкой переноса холестерина через неподвижный слой [Proteggente et al., 2002]. Гипохолестеринемический эффект также может быть обусловлен пищевыми волокнами, которые способствуют выведению из организма стероидов в виде желчных кислот. Это связано с удержанием желчных кислот в вязкой среде и ускорением желчеоттока. Кроме того, клетчатка оказывает косвенное влияние на механизм выработки холестерина. В толстом кишечнике в результате ферментации клетчатки образуются короткоцепочечные жирные кислоты, такие как пропионат, который считается наиболее эффективным средством для снижения уровня холестерина. Все эти механизмы в совокупности могут уменьшить накопление холестерина в плазме [Nicolle et al., 2004]. Во-вторых, салат-латук содержит множество антиоксидантных соединений, таких как витамины Е, С, каротиноиды и полифенолы, которые полезны для здоровья [Proteggente et al., 2002]. Защита сердца от перекисного окисления

липидов может оказывать профилактическое действие в отношении ССЗ, при этом сердце является одной из тканей-мишеней для активных форм кислорода (АФК). Nicolle с соавт. [2004] установили, что снижение перекисного окисления в сердце связано с увеличением соотношения витамина Е и триглицеридов в плазме. После употребления салата-латука его высокая антиоксидантная способность в плазме крови была связана со значительным повышением уровня витамина С и витамина Е. В постпрандиальный период витамин С менее эффективен в улучшении антиоксидантной способности, чем витамин Е. Однако различные фенольные соединения в салате-латуке также могут повышать антиоксидантную способность. Одной из основных причин атеросклероза является окисление липопротеинов низкой плотности, причем этот процесс эффективно подавляется полифенолами салата-латука [Aviram et al., 2000]. Еще один механизм защиты от сердечно-сосудистых заболеваний с помощью фенолов, содержащихся в салате включает антитромбоцитарное и противовоспалительное действие, повышение уровня липопротеинов высокой плотности и улучшение функции эндотелия [García-Lafuente et al., 2009].

Противораковый эффект

Салат-латук может способствовать профилактике рака, поскольку содержит некоторые фитохимические вещества, которые потенциально могут быть полезны для этого. К примеру, салат-латук, обогащенный йодом, заставляет раковые клетки вырабатывать активные формы кислорода, что приводит к противораковому эффекту за счёт активации запрограммированной клеточной смерти в этих клетках [Sularz et al., 2021].

Противодиабетический эффект

Одним из направлений борьбы с диабетом может быть ингибирование α -амилазы и α -глюкозидазы [Kabir et al., 2016], которые расщепляют крахмал до глюкозы, поступающей в кровоток. У латука были изучены природные биологически активные соединения, оказывающие противодиабетическое действие как раз через ингибирование этих ферментов. Листья салата можно считать кладом фитонутриентов с высоким содержанием каротиноидов, таких как лютеин, лактукаксантин и β -каротин [Llorach et al., 2008], в то время как лактукаксантин редко встречающийся в других растениях, может подавлять активность α -амилазы и α -глюкозидазы, тем самым снижая постпрандиальную гипергликемию за счёт контроля расщепления крахмала в процессе пищеварения. Таким образом, в ходе нескольких исследований были изучены природные биоактивные соединения латука,

обладающие противодиабетическим эффектом. С другой стороны, растения, богатые полифенолами, также обладают противодиабетическим действием. Было исследовано ингибирующее действие полифенолов на кишечные гликозидазы и переносчики глюкозы [Dembinska-Kiec et al., 2008]. Cheng с соавт. [2014] в ходе эксперимента было установлено, что у некоторых мышей с ожирением и гипергликемией, которых кормили пищей с добавлением красного салата в дозировке 100 или 300 мг/кг, наблюдалось улучшение состояния при диабете благодаря высокому содержанию полифенолов. Антоцианы, как полифенольные пигменты, придают красному салату антиоксидантные, противовоспалительные и противодиабетические свойства. Добавление в рацион антоцианов, извлечённых из салата, может способствовать снижению гипергликемии и повышению чувствительности к инсулину у мышей с диабетом 2-го типа. Кроме того, добавление в рацион антоциана цианидин-3-глюкозида в течение 8 недель у мышей с диабетом может уменьшить повреждение печени окислителями и предотвратить стеатоз печени. Аналогичный результат был получен в другом исследовании: добавление антоциана 3-глюкозида в рацион мышей с высоким содержанием жиров в течение 5 недель может снизить уровень глюкозы в крови, повысить чувствительность к инсулину, уменьшить стеатоз печени и снизить уровень воспалительных цитокинов в жировой ткани [Guo et al., 2012].

Другие позитивные эффекты на здоровье

Было доказано, что употребление в пищу продуктов, богатых антиоксидантами, такими как полифенолы и другие соединения, эффективно снижает вредоносные эффекты старения на весь организм. Во-первых, полифенолы, содержащиеся в салате-латуке, полезны для смягчения пагубных последствий старения для мозга и всей нервной системы. В частности, наиболее важная роль пищевых полифенолов в защите мозга во время старения заключается в том, что эти соединения могут проникать через гематоэнцефалический барьер и оказывать свой позитивный эффект в мозге. Во-вторых, салат-латук содержит витамин А, который оказывает антивозрастной эффект на кожу. Кроме того, витамин С, как ещё одно полезное соединение, помогает поддерживать кожу в молодом состоянии и ускоряет заживление ран. В целом, витамины А и С, содержащиеся в салате-латуке способствуют выработке и поддержанию коллагена, обеспечивающего поддержание структуры кожи.

Регулярное употребление салата-латука может помочь уменьшить потерю костной массы. Этот листовый зелёный овощ можно считать одним из

хороших натуральных источников витамина К. Некоторые исследования показали, что витамин К2 может помочь увеличить плотность костной ткани и даже в большей степени снизить риск остеопороза, чем кальций. Помимо укрепления костей и поддержания здоровой структуры скелета, витамин К также может играть важную роль в свёртывании крови, лечении синяков и кальцификации костей [Chaudhary et al., 2015]. Употребление салата может улучшать метаболизм в организме человека благодаря содержанию таких минералов, как железо, магний и калий. Более того, комплекс витаминов группы В, содержащийся в салате, также позитивно влияет на метаболизм.

Риски для здоровья

Антинутриенты являются основным фактором, вызывающим риски при употреблении салата-латука. Несмотря на то, что содержание этих соединений контролируется при выращивании салата-латука, однако полностью игнорировать их нельзя. Что касается вышеупомянутого нитрата, который считается вредным компонентом рациона, его чрезмерное потребление может привести к метгемоглобинемии у детей, канцерогенезу и, возможно, даже тератогенезу [Santamaria et al., 2006]. Употребление большого количества триптановых алкалоидов приводит к смерти. Более того, Besharat с соавт. [2009] перечислили некоторые побочные эффекты и токсичность, возникающие при передозировке салата-латука, в том числе мидриаз и светобоязнь, головокружение, потливость, слуховые галлюцинации, а также сердечно-сосудистые и респираторные нарушения, вызванные аритмией. Кроме того, при употреблении в пищу салат-латук может действовать как спазмолитическое и седативное средство.

Использование салата-латука для биомониторинга качества воздуха

Для биомониторинга качества воздуха в городах обычно используют лишайники и мхи. Однако в промышленных районах, где антропогенное воздействие может привести к нехватке или даже отсутствию наиболее чувствительных видов-индикаторов [Markert et al., 2011] приходится использовать уже высшие растения. Исследования с использованием рапса и листовой капусты показало взаимосвязь между точками воздействия, в которых выращивались растения, и концентрацией нескольких микроэлементов антропогенного или природного происхождения, которые были связаны с условиями окружающей среды [Izquierdo-Díaz и др., 2019]. Точно так же салат-латук можно использовать в качестве

потенциального биоиндикатора, поскольку: а) это листовая овощ, обычно употребляемая в пищу часть которого - это лист, и его обычно едят сырым (его нельзя очистить и редко готовят); б) это продукт питания, потребляемый во всём мире, с годовым мировым производством 27660187 тонн [FAO, 2019], а также является одной из типичных культур для городских садов и даже квартир из-за простоты выращивания; в) это выносливое однолетнее растение (некоторые виды могут расти даже в холодном климате) и поэтому, в отличие от плодовых культур, может использоваться в качестве биоиндикатора в разное время года; г) период роста салата-латука для сбора урожая составляет около 65-130 дней с момента посева или 30-70 дней после пересадки [Wikifarmer et al., 2021], что является подходящей для оценки продолжительностью воздействия; д) у него относительно большая площадь поверхности листьев, что повышает эффективность перехвата частиц [Kulshreshtha et al., 2009] и, следовательно, количества накапливаемых токсичных веществ. Предыдущие исследования показали, что салат-латук можно использовать в качестве биоиндикатора загрязнения воздуха вблизи дорог [Hassan et al., 2013] и выбросов завода по переработке свинца [Uzu et al., 2010].

Морфологические особенности листьев и смачиваемость являются важными факторами, определяющими эффективность улавливания и удержания переносимых по воздуху частиц [Blanusa et al., 2015]. На улавливание частиц в первую очередь влияют кутикула и эпидермальный слой листьев (устьица, волоски и воск), а также площадь поверхности, геометрия и шероховатость [Ram et al., 2015]. Трихомы, представляющие собой небольшие волосовидные структуры, покрывающие поверхность листьев салата, могут задерживать твердые частицы, выступая в качестве физических барьеров и препятствуя их проникновению во внутренние ткани листа. Устьица, представляющие собой небольшие отверстия на поверхности листа, также играют роль в задержании твердых частиц, поскольку частицы могут задерживаться в устьичных порах и впоследствии переноситься во внутренние ткани листа. Наличие полярных функциональных групп, таких как карбоксильные, гидроксильные и аминогруппы, может способствовать адсорбции и связыванию твердых частиц посредством химических связей с частицами. Несколько исследований показали эффективность многих травянистых видов растений в улавливании твердых частиц [Adhikari et al., 2022]. Соотношение площади поверхности к объёму листьев салата

позволяет предположить, что они являются эффективными фильтрами для частиц, находящихся в воздухе.

Однако одним из основных препятствий на пути развития городского сельского хозяйства является обеспокоенность возможным загрязнением территорий, на которых оно ведётся. В последние годы количество научных публикаций на эту тему увеличилось, что отражает растущий интерес и осведомлённость об этой проблеме, а также необходимость оценки уровня риска и принятия превентивных или корректирующих мер, чтобы сделать его безопасным для общества. В исследовании, посвящённом потенциальному риску для здоровья, связанному с городским садоводством [Warming et al., 2015], было обнаружено, что концентрация элементов в сельскохозяйственных культурах не отражает концентрацию в почве и не превышает допустимые нормы содержания кадмия и свинца в продуктах питания. Однако в салате часто наблюдалась самая высокая концентрация микроэлементов, что указывает на чувствительность этой культуры к загрязнению воздуха. Другое исследование, в котором анализировались овощи, выращенные в историческом регионе производства изделий из стекла, показало, что содержание тяжёлых металлов в овощах находилось в пределах допустимых значений для продуктов питания и что риск от употребления этих овощей был невелик или даже отсутствовал [Augustsson et al., 2015].

Однако в сильно загрязнённых районах риск, связанный с употреблением в пищу городских культур, значительно выше, и влияние других путей воздействия (например, питьевой воды, почвы при проглатывании или вдыхании пыли) также возрастает. В городских садах рядом с горнодобывающими и металлургическими предприятиями, листовые культуры, такие как салат-латук, могут накапливать чрезмерное количество тяжёлых металлов, но фитодоступность этих загрязняющих веществ может быть ограничена с помощью соответствующих методов внесения удобрений, которые способствуют их иммобилизации в почве.

Салат-латук – продуцент натурального каучука

Натуральный каучук – это уникальный и ценный природный биополимер, который используется для производства около 50000 видов резиновых изделий. Среди них шины и медицинские перчатки [Cornish et al., 2001; Kuluev et al., 2023]. Известно более 2500 видов растений, синтезирующих натуральный каучук с различной длиной этого биополимера. Исходя из

экономической целесообразности в настоящее время большая часть натурального каучука производится из гевеи бразильской (*Hevea brasiliensis*). Однако из-за растущего спроса на натуральный каучук и уязвимости производственных систем гевеи бразильской исследователи из разных стран и ряд шинных компаний уже более 20-ти лет проявляют всё больший интерес к альтернативным культурам, которые могут производить высокополимерный натуральный каучук [Кулуев и др. (Kuluev et al.), 2015; Гаршин и др. (Garshin et al.), 2016].

Латук один из немногих видов растений, который вырабатывает натуральный каучук с молекулярной массой более 1 миллиона г/моль [Bushman et al., 2006]. Такой полимерности вполне достаточно для замены гевейного каучука во многих областях промышленности. Латук в отличие от гевеи можно выращивать на огромных территориях с умеренным климатом, что позволит диверсифицировать и обезопасить рынок натурального каучука от риска в случае внезапной гибели гевейных плантаций из-за, к примеру, грибковых заболеваний. Еще один вид растений, который продуцирует высококачественный каучук и может произрастать в умеренном поясе – это близкий родственник латука – *Taraxacum kok-saghyz* (одуванчик кок-сагыз), однако это растение пока не одомашнено и потому характеризуется небольшой вегетативной массой [Кулуев и др. (Kuluev et al.), 2019]. Кроме того, преимуществом латука является то, что его можно выращивать для одновременного получения как зелени, так и натурального каучука. Содержание натурального каучука в *L. serriola* колеблется от 1,6% до 2,2%, при этом стебель содержит самую высокую концентрацию [Chakrabarty et al., 2015; Li et al., 2025]. На предмет содержания каучука было изучено два вида латука: *L. serriola* и *L. sativa* cv. Salinas. Каучук из обоих видов и их потомства имел молекулярную массу более 1000000 г/моль и значения полидисперсности 1,1 [Bushman et al., 2006].

Исходя из перспективности латука в качестве каучуконосной культуры были начаты исследования в области молекулярной биологии и физиологии биосинтеза полиизопрена у данного растения. Например, у *L. sativa* были идентифицированы 8 гомологов генов белков малых каучуковых частиц *LsSRPP*, причем до 90% транскриптов экспрессируются с генов *LsSRPP4* и *LsSRPP8*. В то же время подавление экспрессии этих двух генов методом РНК-интерференции не приводило к замедлению синтеза каучука. Таким образом, белки *LsSRPP4* и *LsSRPP8*, видимо, не являются критически важными для биосинтеза каучука [Chakrabarty et al., 2015].

На *L. serriola* было показано, что обработка этиленом, метилжасмонатом и салициловой кислотой значительно увеличила содержание каучука. Транскриптомный анализ показал, что обработка этиленом и метилжасмонатом повлияла на экспрессию генов, связанных с синтезом изопентенилпирофосфата (IPP), в то время как обработка этиленом и салициловой кислотой повлияла на экспрессию генов, участвующих в транспортировке и метаболизме сахарозы [Li et al., 2025]. Учитывая, что метаболизм полиизопрена и сахарозы нуждается в одних и тех же углеводных ресурсах, для повышения продукции каучука целесообразно использовать этилен и метилжасмонат. Еще раньше было показано, что обработка листьев *L. serriola* метилжасмонатом 200 и 400 мкМ способствует повышению уровня экспрессии генов биосинтеза каучука *HMGR1*, *HMGSI*, *CPT2* и *SRPP1* [Asheri et al., 2024]. Необходимо отметить, что обработанные растения продуцировали гораздо больше каучука, а гель-проникающая хроматография показала повышение полимерности до 1500000 г/моль, в случае с обработкой 400 мкМ фитогормона. Еще в одном исследовании было показано, что на активность фермента цис-прелилтрансферазы СРТ, который определяет длину молекулы каучука, влияют различные факторы, такие как концентрация субстрата, дополнительные белки и природа белковых комплексов, включая СРТ-связывающие белки. Поскольку латук – это однолетнее, самоопыляющееся и легко трансформируемое растение, очевидно, что его все чаще и чаще используют в молекулярно-генетических исследованиях биосинтеза натурального каучука.

Селекция, геномные исследования и генетическая трансформация латука

Современная селекция салата-латука в первую очередь направлена на улучшение различных морфологических признаков и устойчивости к болезням и вредителям [Mazier et al., 1999]. Наиболее часто как основной метод селекции латука посевного используют индивидуальный отбор и гибридизацию. Однако, в связи с особенностями строения и небольшой величиной цветка салата, приспособленного к самоопылению, а также биологии цветения, сама техника гибридизации салата достаточно сложная. Ковальчук (Kovalchuk) [2024] из ООО «НИИ селекции овощных культур» провел сравнение трех способов гибридизации: двух способов ручной гибридизации и одного метода с использованием мух в качестве насекомых опылителей. Максимальный процент гибридизации (92-100%) при меньших затратах

был достигнут в способе, при котором срезали с соцветия нераскрывшиеся бутоны с пыльцой внутри и далее смывали остатки пыльцы, после чего проводили ручное опыление.

Важной информацией для селекционеров является точное описание зародышевых плазм салата-латука. Создание такого списка описаний *L. sativa* было инициировано сообществом международных генбанков (International Genebank Community). Этот список состоит из 55 описаний, 15 из которых проиллюстрированы рисунками [Křístková et al., 2008]. Список с описаниями представляет собой инструмент для детальной характеристики и различения внутривидовых вариаций *L. sativa*, проверки старых сортов и выявления предполагаемых дубликатов и пробелов в коллекциях зародышевой плазмы. Эти описания, наряду с описаниями диких видов *Lactuca*, представляют собой эффективный аналитический инструмент для изучения сложной морфологической изменчивости представителей этого рода и взаимоотношений между видами [Lebeda et al., 2002]. Регенерация проростков в генбанках из зародышевой плазмы проводится в защищенных от насекомых условиях. Семена сушат до влажности 5-8% и хранят при температуре около -5°C [Rubatzky et al., 1997].

Хорошо налажены международные инициативы и сотрудничество в области генетики и селекции салата-латука. В 2005 году в Оломоуце (Чешская Республика) прошло совещание по генетике и разведению листовых овощей, а в 2008 году был подписан меморандум о взаимопонимании между различными организациями, работающими с генетическими ресурсами салата-латука [Idelbe et al., 2023].

Ключевые цели селекции салата включают повышение устойчивости к болезням и вредителям, повышение урожайности и однородности, а также улучшение таких характеристик, как качество, вкус и устойчивость к стрессовым факторам окружающей среды, отсутствие раннего стрелкования. Дикие сородичи салата, в частности *L. serriola*, служат ценным источником генетического разнообразия для этой цели [Pink, Keane, 1993]. Также салат-латук обладает рядом особенностей, которые делают его подходящим и для генетических исследований. К примеру, ведутся исследования генов устойчивости к вирусным инфекциям, а также работы, направленные на выявление генетического разнообразия. Генетические ресурсы латука используются для создания новых сортов и улучшения существующих, также они необходимы для сохранения диких видов и их использования в селекции или для доместикации *de*

novo. Генетические ресурсы латука также важны для понимания эволюции и происхождения салата-латука.

У *L. sativa* относительно короткий жизненный цикл, он полностью самоопыляется с высокой частотой, на одном растении можно провести большое количество скрещиваний, а отдельным растениям требуется мало места. К недостаткам можно отнести сложность получения гибридных семян без самоопыления и небольшое количество семян, получаемых при каждом опылении; но эти трудности можно в значительной степени преодолеть. Цели современных селекционных программ по выведению сортов салата делятся на три основные направления: (1) устойчивость к болезням и вредителям, (2) повышение урожайности и однородности, (3) улучшение агротехнических характеристик, таких как качество и устойчивость к раннему стрелкованию.

Из примерно 100 видов *Lactuca* только три (*L. serriola*, *L. saligna* и *L. virosa*) можно скрещивать с салатом-латуком с помощью традиционных методов гибридизации, и поэтому они составляют наиболее важную для селекции группу. Все они являются самоопыляющимися диплоидами с $2n=2x=18$ хромосомами. Селекция латуков по пяти разным морфотипам (кочанный (Крипсхед), Ромэн, листовой, кочанный и стеблевой) ведется отдельно [Mou et al., 2011].

К сегодняшнему дню латук постепенно стал модельным растением семейства Астровые и подходящей системой для конкретных исследований в области молекулярной генетики благодаря наличию высококачественного эталонного генома и стабильных систем трансформации [Darqui et al., 2021].

Zhang с соавт. [2017] отметили топологию листа, где некоторые образцы листового типа были распределены по кластерам других типов. Исследования показали значительное перемещение генов между сортами салата, преимущественно от листового к другим. Это указывает на возможное доминирование листового салата по морфологическим признакам, что связано с его уникальным генетическим составом. Второе исключение: стеблевые образцы оказались ближе к листовым, чем некоторые отдалённые листовые образцы. Это подтверждает гипотезу о происхождении стеблевого типа от листового. Zhang с соавт. [2017] выделили стеблевой тип в отдельную монофилетическую группу.

Кочанный сорт салата-латука показал самую низкую ожидаемую гетерозиготность и самый высокий индекс общих аллелей, что указывает на его однородность. Сильное селекционное давление для

замедления стрелкования ограничило генетическую изменчивость [Hyten et al., 2006]. Обнаружены консервативные участки генома, связанные с замедлением стрелкования. Положительный отбор в пользу позднего формирования кочанов снизил генетическое разнообразие у сорта Крипсхед. Это связано с ограниченным генофондом и эффектом «бутылочного горлышка». Современный американский салат-латук выведен на основе французского сорта Батавия. Большинство современных сортов, включая 60% образцов Крипсхед, выведены в США с использованием ограниченного числа родительских линий.

В литературе сообщается о морфологических, белковых и молекулярных маркерах латука. Понимание степени генетического разнообразия зародышевой плазмы сельскохозяйственных культур имеет первостепенное значение, поскольку оно служит основой для выбора родительских линий при выведении новых улучшенных сортов. Геномные SSR-маркеры у латука были описаны в работе Rauscher, Simko [2013]. 54 геномных SSR-маркера были помещены на молекулярную карту сцепления салата. Любая комбинация из 32 геномных SSR была способна различать генотипы всех 36 проанализированных образцов. Анализ полиморфизма микросателлитных маркеров также проведено в работе, в которой для анализа генетических различий между сортами *L. sativa*, выращиваемых в Турции было использовано четырнадцать SSR-праймеров [Funda, Alanyali, 2022]. В результате данного исследования 23 генотипа салата-латука были разделены на две основные группы, и генетическое различие между этими группами составило 12%.

Более универсальными и эффективными ДНК-маркерами являются однонуклеотидные замены (SNPs) [Сухарева, Кулуев (Sukhareva, Kuluev), 2018]. В исследовании [Park et al., 2021] был проведен полногеномный анализ генетической изменчивости 441 образца *Lactuca* spp. с использованием 186008 SNP-маркеров, разработанных методом полногеномного секвенирования. Анализ генетического разнообразия показал, что кочанный салат наиболее отдаленно связан с другими видами салата, в то время как разнообразие внутри кочанного салата значительно ниже, чем у других форм салата. Проводятся также работы по выявлению ассоциаций выявляемых SNPs с хозяйственно-ценными признаками. На примере 179 генотипов салата было выявлено два снипа, связанных с устойчивостью латука к бактериальной пятнистости листьев [Lu et al., 2014]. В следующей работе был

использован массив SNP 40K Axiom и 9K Infinium для изучения генетической изменчивости 21 сорта и проведения полногеномного анализа ассоциаций (GWAS) по содержанию витамина С в 21 сорте и популяций, различающихся по содержанию витамина С. В результате проведенной работы удалось выявить несколько снипов, ассоциированных с содержанием дегидроаскорбиновой кислоты (форма витамина С) [Medina-Lozano et al., 2024].

Салат является также объектом полногеномного секвенирования. К примеру, в 2018 году был секвенирован полный транскриптом сорта Tizian, по результатам которого было идентифицировано 31112 изоформ транскриптов [Verwaaijen et al., 2018], причем были выявлены довольно существенные различия с референсным геномом сорта Salinas. В следующей работе было секвенировано в общей сложности 445 образцов *Lactuca*, включая основные формы салата и дикие родственные виды [Wei et al., 2021]. По результатам данного крупного исследования были составлены подробная структура популяций, выяснены филогенетические отношения и показано, что центром доместикиции салата является, как пишут авторы, Кавказ, хотя, судя по подготовленной ими карте, это скорее всего Закавказье. Так как полногеномные данные по латуку очень быстро накапливаются, то не удивительно, что была создана большая база данных LettuceGDB (<https://www.lettucegdb.com/>) [Guo et al., 2023]. Эта база данных включает два референсных генома с подробными аннотациями; данные повторного секвенирования более 1000 сортов салата; коллекцию из более чем 1300 зародышевых плазм со всего мира и миллионы сопроводительных фенотипических записей, полученных с помощью технологий феномики и другую информацию. Наиболее полноценная сборка генома салата без пробелов была осуществлена с использованием данных длинного чтения путем секвенирования PacBio HiFi и Nanopore [Cao et al., 2024]. Более высоким уровнем сборки генома считается так называемый T2T геном [Matniyazov et al., 2025]. Для салата о сборке T2T генома не сообщается, но почти полный референсный геном салата-латука по хромосомно был собран путем высокоточного секвенирования PacBio, технологии Oxford Nanopore и Hi-C [Zhang et al., 2024].

Важное значение в современной геномике имеет так называемый пангеномный уровень, когда секвенируются и анализируются большое количество геномов разных образцов и сортов одного вида [Kuluev et al., 2025]. Часть полногеномных исследований латука уже идут в рамках концепций пангенома и даже

суперпангенома [Cao et al., 2025]. Один из первых суперпангеномов был подготовлен на основе четырёх видов *Lactuca*, включающий 474 образца еще в 2024 году [van Workum et al., 2024].

Следующее важное направление работ – это генетическая трансформация. У салата-латука, который хорошо поддается культивированию тканей, можно регенерировать и получать плодоносящие растения из различных эксплантов, даже путём регенерации протопластов. Кроме того, для улучшения характеристик сельскохозяйственных культур или получения интересных нас растений успешно применяется как ядерная, так и хлоропластная генетическая трансформация. Такая пластичность позволила также внедрить протоколы редактирования генов латука с помощью CRISPR/Cas [Darqui et al., 2021]. В одной из первых работ по агробактериальной трансформации латука сообщалось о получении сотен стабильных трансформантов, наследующих устойчивость к канамицину [Michelmor et al., 1987].

В другом исследовании, с помощью процедуры трансформации с использованием *Agrobacterium* были получены трансгенные растения салата (*L. sativa*) с генами, кодирующими синтез туберкулёзных антигенов. ПЦР-анализ ДНК генома подтвердил наличие как селективных, так и генов-мишеней во всех исследованных растениях [Matvieieva et al., 2009]. Интересно отметить, что были также получены транспластомные растения латука, причем с использованием полиэтиленгликоля. Трансформация была достигнута с помощью специального вектора, который нацеливает гены на межгенный участок *trnA/trnI* плазмидного генома салата. При трансформации использовали селективный ген устойчивости к спектиномицину и ген белка GFP. Были получены гомопластомные трансформанты, которые при скрещивании с диким типом, обладающим мужской стерильностью, показали, что устойчивость к спектиномицину не передаётся через пыльцу [Lelivelt et al., 2005]. На следующий год была опубликована работа японских исследователей, которые также создали транспластомные растения латука, но с использованием бомбардировки золотыми частицами [Kanamoto et al., 2006]. Было показано, что хлоропласты листьев салата могут экспрессировать кодируемый трансгеном GFP белок до 36% от общего растворимого белка. Все транспластомные растения T₀ были фертильными, а потомство T₁ демонстрировало стабильность трансгена в хлоропластном геноме.

Заключение

В данной статье были рассмотрены лишь некоторые аспекты биологии, генетики и хозяйственного применения *L. sativa*. Несмотря на то, что салат-латук это одно из древнейших окультуренных растений, он остается растением будущего, так как весь его потенциал пока еще не раскрыт. С другой стороны, в роде *Lactuca* L. насчитывается около 100 видов, которые также могут быть вовлечены в селекционные программы салата-латука или же использованы для доместикации. Однако большинство видов латука пока остаются весьма малоизученными и не применяются человеком. Малоизученной областью также остается аспект каучуконоскопления как у многочисленных сортов салата-латука, так и у других видов латука. Значение салата-латука как овощной листовой культуры тоже будет только расти ввиду разработок новых технологий их выращивания, в том числе в городских условиях с искусственным освещением. Исходя из вышесказанного можно резюмировать, что салат-латук – это важный компонент функционального питания, источник ценных фитонутриентов для поддержания здоровья и приготовления биологически активных добавок, а также перспективный источник высококачественного натурального каучука.

Интерес к данной теме вызван исследованиями, которые проводятся в рамках государственного задания 125012900943-0.

Рукопись получена редакцией 12 января 2026 г.

После доработки 27 февраля 2026 г.

Принята к публикации 2 марта 2026 г.

Литература

1. Воробьев М.В., Дыйканова М.Е., Терехова В.И. и др. Влияние срока выращивания на продуктивность салата-латука в условиях открытого грунта московской области. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2023. (1). 34-38.
2. Гаршин М.В., Картуха А.И., Кулуев Б.Р. Коксагыз: особенности культивирования, перспективы возделывания и внедрения в современное производство. *Biomics*. 2016. 8(4). 323–333.
3. Горкин А.П. Биология: Современная иллюстрированная энциклопедия. Раздел Салат / Гл. ред. А.П. Горкин. М.: Росмэн. 2006. 560 с.
4. Далькэ И.В., Захожий И.Г., Малышев Р.В. и др. Урожайность салатной линии при использовании светодиодных светильников в зимних теплицах на севере. *Овощи России*. 2017. (3). 38–41.

5. Дыйканова М.Е., Ожерелков В.В. Влияние органических препаратов на рост и развитие салата листового сорта ехаст. *Наука и Образование*. 2023. 6(2).
6. Каптел А.П., Пыркова Е.А., Наумова Н.Л. О пищевой ценности и требованиях к качеству салатных овощных культур. *Инновации и продовольственная безопасность*. 2019. (1). 7–13. doi: 10.31677/2311-0651-2019-23-1-7-13
7. Кароматов И.Д., Аслонова М.Р. Салат, латук перспективное лекарственное растение. *Биология и интегративная медицина*. 2018. (4). 120–129.
8. Ковальчук М.В. Сравнение эффективности различных способов гибридизации салата-латука (*Lactuca sativa* L.). *Овощи России*. 2024. (5). 5–11.
9. Колпаков Н.А., Решетникова И.М. Сравнительная оценка сортообразцов салата-латука при разных сроках выращивания на гидропонике. *Гавриши*. 2012. (6). 10–12.
10. Кулуев Б.Р., Гарафутдинов Р.Р., Максимов И.В. и др. Натуральный каучук, его источники и составные части. *Biomics*. 2015. 7(4). С. 224–283.
11. Кулуев Б.Р., Мулдашев А.А., Минченков Н.Д. и др. Поиск потенциальных каучуконосов во флоре Республики Башкортостан. *Растительные ресурсы*. 2019. 55(3). 317–333. doi: 10.1134/S0033994619030105
12. Малхасян А.Б. Качество и урожайность сортов листового салата в условиях псковской области. *Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. (2). 13–18.
13. Назарова В.В., Надточий Л.А., Демченко В.А. и др. Оптимизация процесса выращивания салата (*Lactuca sativa* L.) гидропонным методом. *Научно-технический вестник Поволжья*. 2019. (1). 122–125.
14. Сухарева А.С., Кулуев Б.Р. ДНК-маркеры для генетического анализа сортов культурных растений. *Biomics*. 2018. 10(1). 69–84. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018-15
15. Adhikari S, Struwig M, Siebert SJ. Identifying common trees and herbaceous plants to mitigate particulate matter pollution in a semi-arid mining region of South Africa. *Climate*. 2022. 11(1). 9. doi: 10.3390/cli11010009
16. Aletor V. Allelochemicals in plant foods and feedingstuffs: 1. Nutritional, biochemical and physiopathological aspects in animal production. *Veterinary and Human Toxicology*. 1993. 35. 57–67.
17. Alromian FM. Effect of type of compost and application rate on growth and quality of lettuce plant. *Journal of Plant Nutrition*. 2020. 43(18). 2797–2809. doi: 10.1080/01904167.2020.1793185
18. Altunkaya A, Becker EM, Gökmen V et al. Antioxidant activity of lettuce extract (*Lactuca sativa*) and synergism with added phenolic antioxidants. *Food Chemistry*. 2009. 115. 163–168.
19. An G, Qi Y, Zhang W et al. *LsNRL4* enhances photosynthesis and decreases leaf angles in lettuce. *Plant Biotechnol J*. 2022. 20. 1956–1967. doi: 10.1111/pbi.13878
20. Asheri M, Farokhzad A, Naghavi MR et al. Methyl jasmonate improves rubber production and quality in *Lactuca serriola*. *Scientific Reports*. 2024. 14. 26837. doi: 10.1038/s41598-024-78065-3
21. Augustsson ALM, Uddh-Söderberg TE, Hogmalm KJ et al. Metal uptake by homegrown vegetables – the relative importance in human health risk assessments at contaminated sites. *Environmental Research*. 2015. 138. 181–190. doi: 10.1016/j.envres.2015.01.020
22. Aviram M, Dornfeld L, Rosenblat M et al. Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: Studies in humans and in atherosclerotic apolipoprotein E-deficient mice. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2000. 71. 1062–1076. doi: 10.1093/ajcn/71.5.1062
23. Bahorun T, Luximon-Ramma A, Crozier A et al. Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of Mauritian vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2004. 84. 1553–1561. doi: 10.1002/jsfa.1820
24. Baslam M, Morales F, Garmendia I et al. Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed as salads. *Scientia Horticulturae*. 2013. 151. 103–111. doi: 10.1016/j.scienta.2012.12.023
25. Besharat S, Besharat M, Jabbari A. Wild lettuce (*Lactuca virosa*) toxicity. *BMJ Case Rep*. 2009. 2009. bcr06.2008.0134. doi: 10.1136/bcr.06.2008.0134
26. Blanus T, Fantozzi F, Monaci F et al. Leaf trapping and retention of particles by holm oak and other common tree species in Mediterranean urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2015. 14(4). 1095–1101. doi: 10.1016/j.ufug.2015.10.004
27. Boukema IW, Hazekamp Th, Hintum ThJL et al. The CGN Collection Reviews: The CGN Lettuce Collection. Wageningen, Centre for Genetic Resources. 1990. P. 2–5.
28. Bushman BS, Scholte AA, Cornish K et al. Identification and comparison of natural rubber from two *Lactuca* species. *Phytochemistry*. 2006. 67(23). 2590–2596. doi: 10.1016/j.phytochem.2006.09.012
29. Byrdwell WC, Kubzdela N, Goldschmidt R. Changes in compositions of galactolipids, triacylglycerols, and tocopherols of lettuce varieties (*Lactuca sativa* L.) with type, age, and light source. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2021. 100. 103631. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103631

30. Campanelli G, Canali S. Crop production and environmental effects in conventional and organic vegetable farming systems: the case of a long-term experiment in Mediterranean conditions (Central Italy). *Journal of Sustainable Agriculture*. 2012. 36. 599–619. doi: 10.1080/10440046.2011.646351
31. Cao S, Sawettalake N, Shen L. Gapless genome assembly and epigenetic profiles reveal gene regulation of whole-genome triplication in lettuce. *Gigascience*. 2024. 13. giae043. doi: 10.1093/gigascience/giae043
32. Cao S, Sawettalake N, Shen L. *Lactuca* super-pangenome provides insights into lettuce genome evolution and domestication. *Nat Commun*. 2025. 16(1). 7257. doi: 10.1038/s41467-025-62641-w
33. Carnat A, Fraisse D, Lamaison JL et al. Characterisation and variation of antioxidant micronutrients in lettuce (*Lactuca sativa* folium). *Journal Science Food Agriculture*. 2004. 84. 2061–2069. doi: 10.1002/jsfa.1916
34. Carotti L, Graamans L, Puksic F et al. Plant factories are heating up: Hunting for the best combination of light intensity, air temperature and root-zone temperature in lettuce production. *Frontiers in Plant Science*. 2021. 11. 592171. doi: 10.3389/fpls.2020.592171
35. Carter S, Shackley S, Sohi S et al. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*. 2013. 3(2). 404–418. doi: 10.3390/agronomy3020404
36. Chakrabarty R, Qu Y, Ro DK. Silencing the lettuce homologs of small rubber particle protein does not influence natural rubber biosynthesis in lettuce (*Lactuca sativa*). *Phytochemistry*. 2015. 113. 121–129. doi: 10.1016/j.phytochem.2014.12.003
37. Chaudhary S. Vitamin K – The ignorant nutrient. *Int. J. Clin. Biomed. Res*. 2015. 2. 24–25.
38. Cheng DM, Pogrebnyak N, Kuhn P et al. Polyphenol-rich rutgers scarlet lettuce improves glucose metabolism and liver lipid accumulation in diet-induced obese C57BL/6 mice. *Nutrition*. 2014. 30. 52–58. doi: 10.1016/j.nut.2014.02.022
39. Chun J, Lee J, Ye L et al. Tocopherol and tocotrienol contents of raw and processed fruits and vegetables in the United States diet. *J. Food Compos. Anal*. 2006. 19. 196–204. doi:10.1016/j.jfca.2005.08.001
40. Cornish K. Biochemistry of natural rubber, a vital raw material, emphasizing biosynthetic rate, molecular weight and compartmentalization, in evolutionarily divergent plant species. *Natural Product Reports*. 2001. 18(2). 182–189. doi: 10.1039/a902191d
41. Dai J, Mumper RJ. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*. 2010. 15. 7313–7352. doi: 10.3390/molecules15107313
42. Darqui FS, Radonic LM, Beracochea VC et al. Peculiarities of the transformation of Asteraceae family species: the cases of sunflower and lettuce. *Frontiers Plant Science*. 2021. 12. 767459. doi: 10.3389/fpls.2021.767459
43. De Vries IM. Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 1997. 44(2). 165–174.
44. Dembinska-Kiec A, Mykkänen O, Kiec-Wilk B et al. Antioxidant phytochemicals against type 2 diabetes. *Br. J. Nutr*. 2008. 99. ES109–ES117. doi: 10.1017/S000711450896579X
45. Dewhirst RA, Fry SC. The oxidation of dehydroascorbic acid and 2,3-diketogulonate by distinct reactive oxygen species. *Biochem. J*. 2018. 475. 3451–3470. doi: 10.1042/BCJ20180688
46. Doležalová I, Křístková E, Lebeda A et al. Description of morphological characters of wild *Lactuca* L. spp. genetic resources (English-Czech version). *Hort. Sci*. 2002. 29(2). 56–83. doi: 10.17221/4461-HORTSCI
47. Eigenbrod F, Gonzalez P, Dash J et al. Vulnerability of ecosystems to climate change moderated by habitat intactness. *Global Change Biology*. 2015. V. 21(1). P. 275–286. doi: 10.1111/gcb.12669
48. FAO (Food and Agriculture Organization). FAOSTAT. Crops and livestock products. 2019. [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> (accessed 2.21.22).
49. FAOSTAT. Statistics Division, Crops, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015.
50. Feráková V. The Genus *Lactuca* L. in Europe. *Komenský University Press, Bratislava (Czechoslovakia)*. 1977.
51. Fernando R, Pinto M, Pathmeswaran A. Goitrogenic food and prevalence of goitre in Sri Lanka. *Int. J. Intern. Med*. 2012. 1. 17–20. doi: 10.5923/j.ijim.20120103.02
52. Food IM, Board N. Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. *National Academy Press: Washington, DC. USA*. 2005.
53. Foteinis S, Chatzisyneon E. Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece. *Journal Cleaner Production*. 2016. 112. 2462–2471. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.075
54. Funda Y, Alanyalı F. Molecular characterization of some Lettuce samples (*Lactuca sativa*) grown in Turkey using simple sequence repeat (SSR). *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*. 2022. 75.(3). 458–466. doi: 10.7546/CRABS.2022.03.17

55. Funk VA, Bayer RJ, Keeley S et al. Everywhere but Antarctica: using a supertree to understand the diversity and distribution of the Compositae. *Biologiske Skrifter*. 2005. 55. 343–374.
56. Gan Y, Azlan A. Antioxidant properties of selected varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) commercially available in Malaysia. *Int. Food Res. J*. 2016. 23. 2357–2362.
57. García-Lafuente A, Guillamón E, Villares A et al. Flavonoids as anti-inflammatory agents: Implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflamm. Res*. 2009. 58. 537–552. doi: 10.1007/s00011-009-0037-3
58. Gazula A, Kleinhenz MD, Scheerens JC et al. Anthocyanin levels in nine lettuce (*Lactuca sativa*) cultivars: Influence of planting date and relations among analytic, instrumented, and visual assessments of color. *HortScience*. 2007. 42(2). 232–238. doi: 10.21273/HORTSCI.42.2.232
59. George RAT. Vegetable seed production. Wallingford: CAB International. 1999. 336 p. doi: 10.1017/S0021859601218759
60. Greenwood MJ, Hunt GL, McDowell JM. Migration and employment change: Empirical evidence on the spatial and temporal dimensions of the linkage. *J. Reg. Sci*. 1986. 26. 223–234.
61. Grulich V. *Lactuca* L. In: SLAVÍK B., ŠTĚPÁNKOVÁ J. (eds), Květena české republiky 7. Praha, Academia. 2004. 487–497.
62. Guo H, Xia M, Zou T et al. Cyanidin 3-glucoside attenuates obesity-associated insulin resistance and hepatic steatosis in high-fat diet-fed and db/db mice via the transcription factor FoxO1. *J. Nutr. Biochem*. 2012. 23. 349–360. doi: 10.1016/j.jnutbio.2010.12.013
63. Guo Z, Li B, Du J et al. LettuceGDB: The community database for lettuce genetics and omics. *Plant Commun*. 2023. 4(1). 100425. doi: 10.1016/j.xplc.2022.100425.
64. Harlan JR, de Wet MJ. Towards a rational classification of cultivated plants. *Taxon*. 1986. 20. 509–551.
65. Hassan IA, Basahi JM. Assessing roadside conditions and vehicular emissions using roadside lettuce plants. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2013. 22(2). 387–393.
66. HCC (Hellenic Competition Commission). Report on the sector inquiry into fresh fruits and vegetables. 2013.
67. Hedges L, Lister C. Nutritional attributes of salad vegetables. *Crop and Food Research Confidential Report*. 2005. No. 1473. 1–29.
68. Heimler D, Isolani L, Vignolini P et al. Polyphenol content and antioxidative activity in some species of freshly consumed salads. *J. Agric. Food Chem*. 2007. 55. 1724–1729. doi: 10.1021/jf0628983
69. Hodges DM; Forney CF. Postharvest ascorbate metabolism in two cultivars of spinach differing in their senescence rates. *J. Am. Soc. Hort. Sci*. 2003. 128. 930–935. doi: 10.21273/JASHS.128.6.0930
70. Hyten DL, Song Q, Zhu Y et al. Impacts of genetic bottlenecks on soybean genome diversity. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 2006. 103. 16666–16671. doi: 10.1073/pnas.0604379103
71. Idelbe A, Obead H, Baladiah R. Evaluation of the response of some lettuce cultivars to growth, production, and quality indicators using hydroponic systems. *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society*. 2023. 11(5). 1–17. doi: 10.17170/kobra-202307218421
72. Izquierdo Díaz M, Holm PE, Barrio-Parra F et al. Urban allotment gardens for the biomonitoring of atmospheric trace element pollution. *Journal of environmental quality*. 2019. 48(2). 518–525. doi: 10.2134/jeq2018.06.0232
73. Kabir MSH, Hossain MM, Kabir MI et al. Phytochemical screening, antioxidant, thrombolytic, alpha-amylase inhibition and cytotoxic activities of ethanol extract of *Steudnera colocasifolia* K. Koch leaves. *J. Young Pharm*. 2016. 8. 391–397. doi: 10.5530/jyp.2016.4.15
74. Kanamoto H, Yamashita A, Asao H et al. Efficient and stable transformation of *Lactuca sativa* L. cv. Cisco (lettuce) plastids. *Transgenic Research*. 2006. 15(2). 205–217. doi: 10.1007/s11248-005-3997-2.
75. Khachik F. Distribution and metabolism of dietary carotenoids in humans as a criterion for development of nutritional supplements. *Pure Appl. Chem*. 2006. 78. 1551–1557. doi: 10.1351/pac200678081551
76. Křístková E, Doležalová I, Lebeda A et al. Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. *Horticultural Science*. 2008. 35(3). 113–129.
77. Kulshreshtha K, Rai A, Mohanty CS et al. Particulate pollution mitigating ability of some plant species. *International Journal of Environmental Research*. 2009. 3(1). 137–142. doi: 10.22059/ijer.2009.42
78. Kuluev B, Uteulin K, Bari G et al. Molecular genetic research and genetic engineering of *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin. *Plants*. 2023. 12. 1621. doi: 10.3390/plants12081621
79. Kuluev BR, Chemeris DA, Gerashchenkov GA et al. Pangenomics of plants. *Biomics*. 2025. 17(1). 42–64. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2025-4
80. Kumar N, Goel N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnol. Rep*. 2019. 24. e00370. doi: 10.1016/j.btre.2019.e00370

81. Lebeda A, Doležalová I, Feráková V et al. Geographical distribution of wild *Lactuca* species (Asteraceae, Lactuceae). *The Botanical Review*. 2004. 70. 328–356. doi: 10.1663/0006-8101(2004)070[0328:GDOWLS]2.0.CO;2
82. Lebeda A, Doležalová I, Křístková E et al. Morphological and developmental characteristics of *Lactuca serriola* germplasm originating from Europe. In *summaries and program of 17th international lettuce and leafy vegetable conference*. Montreal-Longueuil. Agriculture and Agri-Food Canada. 2004a. P. 28–29 (Abstract).
83. Lebeda A, Křístková E, Kitner M et al. Research gaps and challenges in the conservation and use of North American wild lettuce germplasm. *Crop Science*. 2019. 59(6). 2337–2356. doi: 10.2135/CROPSCI2019.05.0350
84. Lebeda A, Pink DAC, Astley D. Aspects of the interactions between wild *Lactuca* spp. and related genera and lettuce downy mildew (*Bremia lactucae*). In book: *Advances in Downy Mildew Research*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher. 2002. 85–118. doi: 10.1007/0-306-47914-1_3
85. Lebeda A, Ryder EJ, Grube R et al. Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement series. In: Singh R, editor. *Lettuce (Asteraceae; Lactuca spp)* Boca Raton: CRC Press. 2007. 3. 377–472.
86. Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. 2006. 11(2). 403–427. doi: 10.1007/s11027-005-9006-5
87. Lelivelt CL, McCabe MS, Newell CA et al. Stable plastid transformation in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant Molecular Biology*. 2005. 58(6). 763–774. doi: 10.1007/s11103-005-7704-8
88. Li Z, Zhang Y, Liu T et al. Analysis of regulatory networks provides new insights into the mechanism of rubber synthesis in *Lactuca serriola*. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2025. 305(1). 141077. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2025.141077.
89. Llorach R, Martínez-Sánchez A, Tomás-Barberán FA et al. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food Chem*. 2008. 108. 1028–1038. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.11.03
90. López A, Fenoll J, Hellín P et al. Cultivation approach for comparing the nutritional quality of two pepper cultivars grown under different agricultural regimes. *LWT – Food Science Technology*. 2014. 58. 299–305. doi: 10.1016/j.lwt.2014.02.048
91. Lu H, Hu J, Kwon SJ. Association analysis of bacterial leaf spot resistance and SNP markers derived from expressed sequence tags (ESTs) in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Mol. Breeding*. 2014. 34. 997–1006. doi: 10.1007/s11032-014-0092-5
92. Maiani G, Periago Castón MJ, Catasta G et al. Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Mol. Nutr. Food Res*. 2009. 53. S194–S218. doi: 10.1002/mnfr.200800053
93. Malkhasyan AB. Quality and yield of lettuce varieties in the Pskov region. *Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2017. No. 2. 13–18.
94. Mampholo B.M., Maboko M.M., Soundy P., Sivakumar D. Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system. *J. Food Qual*. 2016. V. 39. P. 805–815. doi: 10.1111/jfq.12234
95. Markert B, Wuenschmann S, Fraenzle S et al. Bioindication of atmospheric trace metals—with special references to megacities. *Environmental Pollution*. 2011. 159(8-9). 1991–1995. doi: 10.1016/j.envpol.2011.02.009
96. Matniyazov RT, Kuluev AR, Baymiev AnKh et al. T2T genomes of higher plants. *Biomcs*. 2025. 17(1). 65-76. doi: 10.31301/22216197.bmcs.2025-5
97. Matvieieva NA, Vasylenko MY, Shakhovskiy AM et al. Agrobacterium-mediated transformation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with genes coding bacterial antigens from *Mycobacterium tuberculosis*. *Cytology and Genetics*. 2009. 43(2). 94–98. doi: 10.3103/S0095452709020042
98. Mazier M, Maisonneuve B, Bellec Y et al. Interest for protoplasts in lettuce breeding. *Eucarpia Leafy Vegetables '99. Proceedings of the Eucarpia Meeting on Leafy Vegetables Genetics and Breeding*. Olomouc, Palacký University. 1999. 239–244.
99. Medina-Lozano I, Bertolin JR, Plieske J et al. Studies of genetic diversity and genome - wide association for vitamin C content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) using high-throughput SNP arrays. *The Plant Genome*. 2024. 17(4). e20518. doi: 10.1002/tpg2.20518
100. Michelmore R, Marsh E, Seely S et al. Transformation of lettuce (*Lactuca sativa*) mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Cell Reports*. 1987. 6. 439–442. doi: 10.1007/BF00272777
101. Mikel MA. Genealogy of contemporary North American Lettuce. *HortScience*. 2007. 42(3). 489–493.
102. Mou B. Genetic variation of beta-carotene and lutein contents in lettuce. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*. 2005. 130. 870–876. doi: 10.21273/JASHS.130.6.870
103. Mou B. Mutations in lettuce improvement. *Internat. J. Plant Genomics*. 2011. 2011(1). 723518. doi: 10.1155/2011/723518
104. Nazarova VV, Nadtochiy LA, Demchenko VA et al. Optimization of process of cultivation of lettuce (*Lactuca*

- sativa* L.) hydroponic method. *Scientific Technical Volga Region Bulletin*. 2019. No. 1. 122–125.
105. Nicolle C, Cardinault N, Gueux E et al. Health effect of vegetable-based diet: Lettuce consumption improves cholesterol metabolism and antioxidant status in the rat. *Clin. Nutr.* 2004. 23. 605–614. doi: 10.1016/j.clnu.2003.10.009
106. Nishimura N, Taniguchi Y, Kiriyama S. Plasma cholesterol-lowering effect on rats of dietary fiber extracted from immature plants. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2000. 64. 2543–2551. doi: 10.1271/bbb.64.2543
107. Oladimeji AV, Kumar A.B. Therapeutic profile of lettuce: Leafy vegetable for moderate consumption (A review). *Internat. J. Advan. Biochem. Res.* 2023. SP-7(2). 254–258. doi: 10.33545/26174693.2023.v7.i2Sd.218
108. Ozgen S, Sekerci S. Effect of leaf position on the distribution of phytochemicals and antioxidant capacity among green and red lettuce cultivars. *Span. J. Agric. Res.* 2011. 9(3). 801–809. doi: 10.5424/sjar/20110903-472-10
109. Park S, Kumar P, Shi A et al. Population genetics and genome-wide association studies provide insights into the influence of selective breeding on genetic variation in lettuce. *Plant Genome*. 2021. 14. e20086. doi: 10.1002/tpg2.20086
110. Pink DAC, Keane EM. Lettuce: *Lactuca sativa* L. *Genetic Improvement of Vegetable Crops*. Pergamon Press. Ltd. 1993. 543–571.
111. Proteggente AR, Pannala AS, Paganga G et al. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radic. Res.* 2002. 36. 217–233. doi: 10.1080/10715760290006484
112. Ram SS, Majumder S, Chaudhuri P et al. A review on air pollution monitoring and management using plants with special reference to foliar dust adsorption and physiological stress responses. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2015. 45(23). 2489–2522. doi: 10.1080/10643389.2015.1046775
113. Rauscher G, Simko I. Development of genomic SSR markers for fingerprinting lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars and mapping genes. *BMC Plant Biology*. 2013. 13(1). 11. doi: 10.1186/1471-2229-13-11
114. Romero-Gómez M, Audsley E, Suárez-Rey EM. Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *J. Cleaner Production*. 2014. 73. 193–203. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.053
115. Romero-Gómez M, Suárez-Rey EM, Antón A et al. Environmental impact of screenhouse and open-field cultivation using a life cycle analysis: the case study of green bean production. *J. Cleaner Production*. 2013. 28. 63–69. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.07.006
116. Rothwell A, Ridoutt B, Page G et al. Environmental performance of local food: trade-offs and implications for climate resilience in a developed city. *J. Cleaner Production*. 2015. 114. 420–430. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.04.096
117. Rubatzky VE, Yamaguchi M. *World Vegetables*. 1997. New York: Chapman & Hall. 843 p.
118. Saini R, Manoj P, Shetty N et al. Dietary iron supplements and *Moringa oleifera* leaves influence the liver hepcidin messenger RNA expression and biochemical indices of iron status in rats. *Nutr. Res.* 2014. 34. 630–638. doi: 10.1016/j.nutres.2014.07.003
119. Saini RK, Shang XM, Ko EY et al. Stability of carotenoids and tocopherols in ready-to-eat baby-leaf lettuce and salad rocket during low-temperature storage. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2016. 67. 489–495. doi: 10.3109/09637486.2016.1172059
120. Santamaria P. Nitrate in vegetables: Toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 2006. 86. 10–17. doi: 10.1002/jsfa.2351
121. Santos J, Oliva-Teles M, Delerue-Matos C et al. Multi-elemental analysis of ready-to-eat “baby leaf” vegetables using microwave digestion and high-resolution continuum source atomic absorption spectrometry. *Food Chem.* 2014. 151. 311–316. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.11.083
122. Savvas D. Hydroponics: a modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *Agriculture*. 2003. 1. 80–86. doi: 10.1234/4.2003.320
123. Shi M, Gu J, Wu H et al. Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce – A comprehensive review. *Antioxidants*. 2022. 11(6). 1158. doi: 10.3390/antiox11061158
124. Shiina T, Hosokawa D, Roy P et al. Life cycle inventory analysis of leafy vegetables grown in two types of plant factories. *Acta Horticulturae*. 2011. 919. 115–122. doi: 10.17660/ActaHortic.2011.919.14
125. Sinha K, Khare V. Review on: Antinutritional factors in vegetable crops. *Pharma Innov. J.* 2017. 6. 353–358.
126. Soetan K, Olaiya C, Oyewole O. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants – A review. *Afr. J. Food Sci.* 2010. 4. 200–222.
127. Sukhareva AS, Kuluev BR. DNA markers for genetic analysis of cultivated plant varieties. *Biomics*. 2018. 10(1). 69–84. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018-15
128. Sularz O, Koronowicz A, Smoleń S et al. Anti- and pro-oxidant potential of lettuce (*Lactuca sativa* L.) biofortified with iodine by KIO₃, 3,5-iodo- and 3,5-diiodosalicylic acid in human gastrointestinal cancer cell

- lines. *RSC Adv.* 2021. 11. 27547–27560. doi: 10.1039/D1RA04679A
129. Survase SA, Bajaj IB, Singhal RS. Biotechnological production of vitamins. *Food Technol. Biotechnol.* 2006. 44. 381–396.
130. Szeto YT, Tomlinson B, Benzie IF. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: Implications for dietary planning and food preservation. *Br. J. Nutr.* 2002. 87. 55–59. doi: 10.1079/BJN2001483
131. Szymańska R, Kruk J. Tocopherol content and isomers' composition in selected plant species. *Plant Physiol. Biochem.* 2008. 46. 29–33. doi: 10.1016/j.plaphy.2007.10.009
132. Takahashi M. ζ potential of microbubbles in aqueous solutions: electrical properties of the gas – water interface. *The Journal of Physical Chemistry B.* 2005. 109(46). 21858–21864. doi: 10.1021/jp0445270
133. Thanopoulos C. Organic cultivation techniques of leafy vegetables: 1. Lettuce (in Greek), Lettuce organic cultivation techniques, Organic.Edunet ed. Agricultural University of Athens. AUA. 2008.
134. Trojanowska A. Lettuce, *lactuca* sp., as a medicinal plant in polish publications of the 19th century. *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki.* 2005. 50(3-4). 123-134.
135. Turkmen N, Poyrazoglu ES, Sari F et al. Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2006. 41. 281–288. doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.01061.x
136. Uzu G, Sobanska S, Sarret G et al. Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. *Environmental Science Technology.* 2010. 44(3). 1036–1042. doi: 10.1021/es902190u
137. van Workum DM, Mehrem SL, Snoek BL et al. *Lactuca* super-pangenome reduces bias towards reference genes in lettuce research. *BMC Plant Biol.* 2024. 24(1). 1019. doi: 10.1186/s12870-024-05712-2
138. Verwaaijen B, Wibberg D, Nelkner J et al. Assembly of the *Lactuca sativa*, L. cv. Tizian draft genome sequence reveals differences within major resistance complex 1 as compared to the cv. Salinas reference genome. *J. Biotechnol.* 2018. 267. 12–18. doi: 10.1016/j.jbiotec.2017.12.021
139. Viacava GE, Roura SI, López-Márquez DM et al. Polyphenolic profile of butterhead lettuce cultivar by ultrahigh performance liquid chromatography coupled online to UV-visible spectrophotometry and quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Food. Chem.* 2018. 260. 239-273. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.03.151
140. Vorobyov MV, Dyikanova ME, Terekhova VI et al. The influence of the growing period on the productivity of lettuce harvest in the open ground conditions of the Moscow region. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University.* 2023. No. 1(72). 34–38.
141. Wang C, Riedl KM, Schwartz SJ. Fate of folates during vegetable juice processing – deglutamylation and interconversion. *Food Res. Int.* 2013. 53. 440–448. doi: 10.1016/j.foodres.2013.05.011
142. Warming M, Hansen MG, Holm PE et al. Does intake of trace elements through urban gardening in Copenhagen pose a risk to human health? *Environ. Pollution.* 2015. 202. 17–23. doi:10.1016/j.envpol.2015.03.011
143. Wei T, van Treuren R, Liu X et al. Whole-genome resequencing of 445 *Lactuca* accessions reveals the domestication history of cultivated lettuce. *Nat Genet.* 2021. 53(5). 752–760. doi: 10.1038/s41588-021-00831-0
144. Whitaker TW. Salads for everyone: A look at the lettuce plant. *Economic Botany.* 1969. 23(3). 261–264.
145. Wikifarmer Library. 2021. How to grow lettuce – lettuce complete growing guide from seeding to harvesting [WWW Document]. Wikifarmer. URL <https://wikifarmer.com/how-to-grow-lettuce-lettuce-complete-growing-guide-from-seeding-to-harvesting/> (accessed 3.27.23).
146. Xu F, Wang Q, Haji AA. Analysis of essential oil extracted from *Lactuca sativa* seeds growing in Xinjiang by GC-MS. *Zhong Yao Cai.* 2011. 34(12). 1887–1891.
147. Yadava R.N., Jharbade J. New antibacterial triterpenoid saponin from *Lactuca scariola*. *Fitoterapia.* 2008. V. 79(4). P. 245–249. doi: 10.1016/j.fitote.2007.11.028
148. Zhang B, Xue Y, Liu X et al. A near-complete chromosome-level genome assembly of looseleaf lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*). *Sci Data.* 2024. 11(1). 961. doi: 10.1038/s41597-024-03830-y
149. Zhang L, Su W, Tao R et al. RNA sequencing provides insights into the evolution of lettuce and the regulation of flavonoid biosynthesis. *Nature communications.* 2017. 8(1). 2264. doi: 10.1038/s41467-017-02445-9
150. Zhao X, Carey EE, Young JE et al. Influences of organic fertilization, high tunnel environment, and postharvest storage on phenolic compounds in lettuce. *HortScience.* 2007. 42. 71–76.
151. Zohary D. The wild genetic resources of cultivated lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Euphytica.* 1991. 53. 31–35.

References

1. Adhikari S, Struwig M, Siebert SJ. Identifying common trees and herbaceous plants to mitigate particulate matter pollution in a semi-arid mining region of South Africa. *Climate.* 2022. 11(1). 9. doi: 10.3390/cli11010009

2. Aletor V. Allelochemicals in plant foods and feedingstuffs: 1. Nutritional, biochemical and physiopathological aspects in animal production. *Veterinary Human Toxicology*. 1993. 35. 57–67.
3. Alromian FM. Effect of type of compost and application rate on growth and quality of lettuce plant. *J. Plant Nutrition*. 2020. 43(18). 2797–2809. doi: 10.1080/01904167.2020.1793185
4. Altunkaya A, Becker EM, Gökmen V et al. Antioxidant activity of lettuce extract (*Lactuca sativa*) and synergism with added phenolic antioxidants. *Food Chemistry*. 2009. 115. 163–168.
5. An G, Qi Y, Zhang W et al. *LsNRL4* enhances photosynthesis and decreases leaf angles in lettuce. *Plant Biotechnol J*. 2022. 20. 1956–1967. doi: 10.1111/pbi.13878
6. Asheri M, Farokhzad A, Naghavi MR et al. Methyl jasmonate improves rubber production and quality in *Lactuca serriola*. *Scientific Reports*. 2024. 14. 26837. doi: 10.1038/s41598-024-78065-3
7. Augustsson ALM, Uddh-Söderberg TE, Hogmalm KJ et al. Metal uptake by homegrown vegetables – the relative importance in human health risk assessments at contaminated sites. *Environmental Research*. 2015. 138. 181–190. doi: 10.1016/j.envres.2015.01.020
8. Aviram M, Dornfeld L, Rosenblat M et al. Pomegranate juice consumption reduces oxidative stress, atherogenic modifications to LDL, and platelet aggregation: Studies in humans and in atherosclerotic apolipoprotein E-deficient mice. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2000. 71. 1062–1076. doi: 10.1093/ajcn/71.5.1062
9. Bahorun T, Luximon-Ramma A, Crozier A et al. Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of Mauritian vegetables. *J. Sci. Food Agriculture*. 2004. 84. 1553–1561. doi: 10.1002/jsfa.1820
10. Baslam M, Morales F, Garmendia I et al. Nutritional quality of outer and inner leaves of green and red pigmented lettuces (*Lactuca sativa* L.) consumed as salads. *Scientia Horticulturae*. 2013. 151. 103–111. doi: 10.1016/j.scienta.2012.12.023
11. Besharat S, Besharat M, Jabbari A. Wild lettuce (*Lactuca virosa*) toxicity. *BMJ Case Rep*. 2009. 2009. bcr06.2008.0134. doi: 10.1136/bcr.06.2008.0134
12. Blanusa T, Fantozzi F, Monaci F et al. Leaf trapping and retention of particles by holm oak and other common tree species in Mediterranean urban environments. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2015. 14(4). 1095–1101. doi: 10.1016/j.ufug.2015.10.004
13. Boukema IW, Hazekamp Th, Hintum ThJL et al. The CGN Collection Reviews: The CGN Lettuce Collection. Wageningen, Centre for Genetic Resources. 1990. P. 2–5.
14. Bushman BS, Scholte AA, Cornish K et al. Identification and comparison of natural rubber from two *Lactuca* species. *Phytochemistry*. 2006. 67(23). 2590–2596. doi: 10.1016/j.phytochem.2006.09.012
15. Byrdwell WC, Kubzdela N, Goldschmidt R. Changes in compositions of galactolipids, triacylglycerols, and tocopherols of lettuce varieties (*Lactuca sativa* L.) with type, age, and light source. *J. Food Composition Analysis*. 2021. 100. 103631. doi: 10.1016/j.jfca.2020.103631
16. Campanelli G, Canali S. Crop production and environmental effects in conventional and organic vegetable farming systems: the case of a long-term experiment in Mediterranean conditions (Central Italy). *J. Sustainable Agriculture*. 2012. 36. 599–619. doi: 10.1080/10440046.2011.646351
17. Cao S, Sawettalake N, Shen L. Gapless genome assembly and epigenetic profiles reveal gene regulation of whole-genome triplication in lettuce. *Gigascience*. 2024. 13. giae043. doi: 10.1093/gigascience/giae043
18. Cao S, Sawettalake N, Shen L. *Lactuca* super-pangenome provides insights into lettuce genome evolution and domestication. *Nat Commun*. 2025. 16(1). 7257. doi: 10.1038/s41467-025-62641-w
19. Carnat A, Fraisse D, Lamaison JL et al. Characterisation and variation of antioxidant micronutrients in lettuce (*Lactuca sativa* folium). *J. Science Food Agriculture*. 2004. 84. 2061–2069. doi: 10.1002/jsfa.1916
20. Carotti L, Graamans L, Puksic F et al. Plant factories are heating up: Hunting for the best combination of light intensity, air temperature and root-zone temperature in lettuce production. *Frontiers Plant Science*. 2021. 11. 592171. doi: 10.3389/fpls.2020.592171
21. Carter S, Shackley S, Sohi S et al. The impact of biochar application on soil properties and plant growth of pot grown lettuce (*Lactuca sativa*) and cabbage (*Brassica chinensis*). *Agronomy*. 2013. 3(2). 404–418. doi: 10.3390/agronomy3020404
22. Chakrabarty R, Qu Y, Ro DK. Silencing the lettuce homologs of small rubber particle protein does not influence natural rubber biosynthesis in lettuce (*Lactuca sativa*). *Phytochemistry*. 2015. 113. 121–129. doi: 10.1016/j.phytochem.2014.12.003
23. Chaudhary S. Vitamin K – The ignorant nutrient. *Int. J. Clin. Biomed. Res*. 2015. 2. 24–25.
24. Cheng DM, Pogrebnyak N, Kuhn P et al. Polyphenol-rich rutgers scarlet lettuce improves glucose metabolism and liver lipid accumulation in diet-induced obese C57BL/6 mice. *Nutrition*. 2014. 30. 52–58. doi: 10.1016/j.nut.2014.02.022
25. Chun J, Lee J, Ye L et al. Tocopherol and tocotrienol contents of raw and processed fruits and

- vegetables in the United States diet. *J. Food Compos. Anal.* 2006. 19. 196–204. doi:10.1016/j.jfca.2005.08.001
26. Cornish K. Biochemistry of natural rubber, a vital raw material, emphasizing biosynthetic rate, molecular weight and compartmentalization, in evolutionarily divergent plant species. *Natural Product Reports*. 2001. 18(2). 182–189. doi: 10.1039/a902191d
27. Dai J, Mumper RJ. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules*. 2010. 15. 7313–7352. doi: 10.3390/molecules15107313
28. Dalke IV, Zakhoshy IG, Malyshev RV et al. The yield of the salad line when using LED lights in winter greenhouses in the north. *Vegetable Crops of Russia*. 2017. (3). 38-41. (In Russian)
29. Darqui FS, Radonic LM, Beracochea VC et al. Peculiarities of the transformation of Asteraceae family species: the cases of sunflower and lettuce. *Frontiers Plant Science*. 2021. 12. 767459. doi: 10.3389/fpls.2021.767459
30. De Vries IM. Origin and domestication of *Lactuca sativa* L. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 1997. 44(2). 165–174.
31. Dembinska-Kiec A, Mykkänen O, Kiec-Wilk B et al. Antioxidant phytochemicals against type 2 diabetes. *Br. J. Nutr.* 2008. 99. ES109–ES117. doi: 10.1017/S000711450896579X
32. Dewhirst RA, Fry SC. The oxidation of dehydroascorbic acid and 2,3-diketogulonate by distinct reactive oxygen species. *Biochem. J.* 2018. 475. 3451–3470. doi: 10.1042/BCJ20180688
33. Doležalová I, Křístková E, Lebeda A et al. Description of morphological characters of wild *Lactuca* L. spp. genetic resources (English-Czech version). *Hort. Sci.* 2002. 29(2). 56–83. doi: 10.17221/4461-HORTSCI
34. Dyikanova ME, Ozherelkov VV. The effect of organic preparations on the growth and development of lettuce of the exact leaf variety. *Science and Education*. 2023. 6(2). (In Russian)
35. Eigenbrod F, Gonzalez P, Dash J et al. Vulnerability of ecosystems to climate change moderated by habitat intactness // *Global Change Biology*. 2015. V. 21(1). P. 275–286. doi: 10.1111/gcb.12669
36. FAO (Food and Agriculture Organization). FAOSTAT. Crops and livestock products. 2019. [WWW Document]. URL <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> (accessed 2.21.22).
37. FAOSTAT. Statistics Division, Crops, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015.
38. Feráková V. The Genus *Lactuca* L. in Europe. *Komenský University Press*, Bratislava (Czechoslovakia). 1977.
39. Fernando R, Pinto M, Pathmeswaran A. Goitrogenic food and prevalence of goitre in Sri Lanka. *Int. J. Intern. Med.* 2012. 1. 17–20. doi: 10.5923/j.ijim.20120103.02
40. Food IM, Board N. Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. *National Academy Press*: Washington, DC. USA. 2005.
41. Foteinis S, Chatzisytheon E. Life cycle assessment of organic versus conventional agriculture. A case study of lettuce cultivation in Greece. *J. Cleaner Production*. 2016. 112. 2462–2471. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.075
42. Funda Y, Alanyalı F. Molecular characterization of some Lettuce samples (*Lactuca sativa*) grown in Turkey using simple sequence repeat (SSR). *Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences*. 2022. 75.(3). 458–466. doi: 10.7546/CRABS.2022.03.17
43. Funk VA, Bayer RJ, Keeley S et al. Everywhere but Antarctica: using a supertree to understand the diversity and distribution of the Compositae. *Biologiske Skrifter*. 2005. 55. 343–374.
44. Gan Y, Azlan A. Antioxidant properties of selected varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) commercially available in Malaysia. *Int. Food Res. J.* 2016. 23. 2357–2362.
45. García-Lafuente A, Guillamón E, Villares A et al. Flavonoids as anti-inflammatory agents: Implications in cancer and cardiovascular disease. *Inflamm. Res.* 2009. 58. 537–552. doi: 10.1007/s00011-009-0037-3
46. Garshin MV, Kartuha AI, Kuluev BR. *Taraxacum kok-saghyz*: cultivation features and perspectives of introduction to modern production. *Biomics*. 2016. 8(4). 323-333. (In Russian)
47. Gazula A, Kleinhenz MD, Scheerens JC et al. Anthocyanin levels in nine lettuce (*Lactuca sativa*) cultivars: Influence of planting date and relations among analytic, instrumented, and visual assessments of color. *HortScience*. 2007. 42(2). 232–238. doi: 10.21273/HORTSCI.42.2.232
48. George RAT. Vegetable seed production. Wallingford: CAB International. 1999. 336 p. doi: 10.1017/S0021859601218759
49. Gorkin AP. Biology: A modern illustrated encyclopedia. Salad section / Ch. Ed. by Gorkin AP. Moscow: Rosman. 2006. 560 p. (In Russian)
50. Greenwood MJ, Hunt GL, McDowell JM. Migration and employment change: Empirical evidence on the spatial and temporal dimensions of the linkage. *J. Reg. Sci.* 1986. 26. 223–234.
51. Grulich V. *Lactuca* L. In: SLAVÍK B., ŠTĚPÁNKOVÁ J. (eds), Květena české republiky 7. Praha, Academia. 2004. 487–497.

52. Guo H, Xia M, Zou T et al. Cyanidin 3-glucoside attenuates obesity-associated insulin resistance and hepatic steatosis in high-fat diet-fed and db/db mice via the transcription factor FoxO1. *J. Nutr. Biochem.* 2012. 23. 349–360. doi: 10.1016/j.jnutbio.2010.12.013
53. Guo Z, Li B, Du J et al. LettuceGDB: The community database for lettuce genetics and omics. *Plant Commun.* 2023. 4(1). 100425. doi: 10.1016/j.xplc.2022.100425.
54. Harlan JR, de Wet JMJ. Towards a rational classification of cultivated plants. *Taxon.* 1986. 20. 509–551.
55. Hassan IA, Basahi JM. Assessing roadside conditions and vehicular emissions using roadside lettuce plants. *Polish J. Environm. Studies.* 2013. 22(2). 387–393.
56. HCC (Hellenic Competition Commission). Report on the sector inquiry into fresh fruits and vegetables. 2013.
57. Hedges L, Lister C. Nutritional attributes of salad vegetables. *Crop Food Res. Confidential Report.* 2005. No. 1473. 1–29.
58. Heimler D, Isolani L, Vignolini P et al. Polyphenol content and antioxidative activity in some species of freshly consumed salads. *J. Agric. Food Chem.* 2007. 55. 1724–1729. doi: 10.1021/jf0628983
59. Hodges DM; Forney CF. Postharvest ascorbate metabolism in two cultivars of spinach differing in their senescence rates. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 2003. 128. 930–935. doi: 10.21273/JASHS.128.6.0930
60. Hyten DL, Song Q, Zhu Y et al. Impacts of genetic bottlenecks on soybean genome diversity. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* 2006. 103. 16666–16671. doi: 10.1073/pnas.0604379103
61. Idelbe A, Obead H, Baladiah R. Evaluation of the response of some lettuce cultivars to growth, production, and quality indicators using hydroponic systems. *Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society.* 2023. 11(5). 1–17. doi: 10.17170/kobra-202307218421
62. Izquierdo Diaz M, Holm PE, Barrio-Parra F et al. Urban allotment gardens for the biomonitoring of atmospheric trace element pollution. *J. Environm. Quality.* 2019. 48(2). 518–525. doi: 10.2134/jeq2018.06.0232
63. Kabir MSH, Hossain MM, Kabir MI et al. Phytochemical screening, antioxidant, thrombolytic, alpha-amylase inhibition and cytotoxic activities of ethanol extract of *Steudnera colocasiiifolia* K. Koch leaves. *J. Young Pharm.* 2016. 8. 391–397. doi: 10.5530/jyp.2016.4.15
64. Kanamoto H, Yamashita A, Asao H et al. Efficient and stable transformation of *Lactuca sativa* L. cv. Cisco (lettuce) plastids. *Transgenic Research.* 2006. 15(2). 205–217. doi: 10.1007/s11248-005-3997-2.
65. Kaptel AP, Pyrkova EA, Naumova NL. On the nutritional value and quality requirements of salad vegetable crops. *Innovation and Food Security.* 2019. (1)(23). 7–13. doi: 10.31677/2311-0651-2019-23-1-7-13 (In Russian)
66. Karomatov ID, Aslonova MR. Lettuce is a promising medicinal plant. *Biology and Integrative Medicine.* 2018. (4)(21). 120–129. (In Russian)
67. Khachik F. Distribution and metabolism of dietary carotenoids in humans as a criterion for development of nutritional supplements. *Pure Appl. Chem.* 2006. 78. 1551–1557. doi: 10.1351/pac200678081551
68. Kolpakov NA, Reshetnikova IM. Comparative evaluation of lettuce varieties at different growing periods on hydroponics. *Gavrish.* 2012. (6). 10–12. (In Russian).
69. Kovalchuk MV. Comparison of the effectiveness of various methods of hybridization of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Vegetable Crops of Russia..* 2024. (5). 5–11. (In Russian)
70. Křístková E, Doležalová I, Lebeda A et al. Description of morphological characters of lettuce (*Lactuca sativa* L.) genetic resources. *Horticultural Science.* 2008. 35(3). 113–129.
71. Kulshreshtha K, Rai A, Mohanty CS et al. Particulate pollution mitigating ability of some plant species. *Intern. J. Environm. Res.* 2009. 3(1). 137–142. doi: 10.22059/ijer.2009.42
72. Kuluev B, Uteulin K, Bari G et al. Molecular genetic research and genetic engineering of *Taraxacum kok-saghyz* L.E. Rodin. *Plants.* 2023. 12. 1621. doi: 10.3390/plants12081621
73. Kuluev BR, Garafutdinov RR, Maksimov IV et al. Natural rubber, its sources and components. *Biomics.* 2015. 7(4). 224–283. (In Russian)
74. Kuluev BR, Kartukha AI, Knyazev AV et al. Experience of growing *Taraxacum hybernum* (Asteraceae). *Rastitelnye Resursy.* 2017. 53(4). 543–554. (In Russian) doi: 10.1134/S0033994619030105
75. Kuluev BR, Chemeris DA, Gerashchenkov GA et al. Pangenomics of plants. *Biomics.* 2025. 17(1). 42–64. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2025-4
76. Kumar N, Goel N. Phenolic acids: Natural versatile molecules with promising therapeutic applications. *Biotechnol. Rep.* 2019. 24. e00370. doi: 10.1016/j.btre.2019.e00370
77. Lebeda A, Doležalová I, Feráková V et al. Geographical distribution of wild *Lactuca* species (Asteraceae, Lactuceae). *The Botanical Review.* 2004. 70. 328–356. doi: 10.1663/0006-8101(2004)070[0328:GDOWLS]2.0.CO;2
78. Lebeda A, Doležalová I, Křístková E et al. Morphological and developmental characteristics of *Lactuca serriola* germplasm originating from Europe. *In summaries and program of 17th international lettuce and*

- leafy vegetable conference. Montreal-Longueuil. Agriculture and Agri-Food Canada. 2004a. P. 28–29 (Abstract).
79. Lebeda A, Křístková E, Kitner M et al. Research gaps and challenges in the conservation and use of North American wild lettuce germplasm. *Crop Science*. 2019. 59(6). 2337–2356. doi: 10.2135/CROPSCI2019.05.0350
80. Lebeda A, Pink DAC, Astley D. Aspects of the interactions between wild *Lactuca* spp. and related genera and lettuce downy mildew (*Bremia lactucae*). In book: *Advances in Downy Mildew Research*. Dordrecht, Kluwer Academic Publisher. 2002. 85–118. doi: 10.1007/0-306-47914-1_3
81. Lebeda A, Ryder EJ, Grube R et al. Genetic resources, chromosome engineering, and crop improvement series. In: Singh R, editor. *Lettuce (Asteraceae; Lactuca spp)* Boca Raton: CRC Press. 2007. 3. 377–472.
82. Lehmann J, Gaunt J, Rondon M. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. *Mitigation and adaptation strategies for global change*. 2006. 11(2). 403–427. doi: 10.1007/s11027-005-9006-5
83. Lelivelt CL, McCabe MS, Newell CA et al. Stable plastid transformation in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant Molecular Biology*. 2005. 58(6). 763–774. doi: 10.1007/s11103-005-7704-8
84. Li Z, Zhang Y, Liu T et al. Analysis of regulatory networks provides new insights into the mechanism of rubber synthesis in *Lactuca serriola*. *Intern. J. Biol. Macromolecules*. 2025. 305(1). 141077. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2025.141077.
85. Llorach R, Martínez-Sánchez A, Tomás-Barberán FA et al. Characterisation of polyphenols and antioxidant properties of five lettuce varieties and escarole. *Food Chem*. 2008. 108. 1028–1038. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.11.03
86. López A, Fenoll J, Hellín P et al. Cultivation approach for comparing the nutritional quality of two pepper cultivars grown under different agricultural regimes. *LWT – Food Science and Technology*. 2014. 58. 299–305. doi: 10.1016/j.lwt.2014.02.048
87. Lu H, Hu J, Kwon SJ. Association analysis of bacterial leaf spot resistance and SNP markers derived from expressed sequence tags (ESTs) in lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Mol. Breeding*. 2014. 34. 997–1006. doi: 10.1007/s11032-014-0092-5
88. Maiani G, Periago Castón MJ, Catasta G et al. Carotenoids: Actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Mol. Nutr. Food Res*. 2009. 53. S194–S218. doi: 10.1002/mnfr.200800053
89. Malkhasyan AB. Quality and yield of lettuce varieties in the Pskov region. *Izvestiya of Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2017. No. 2. 13–18.
90. Malkhasyan AB. Quality and yield of lettuce varieties in the Pskov region. *Proceedings of the Velikiye Luki State Agricultural Academy*. 2017. (2). 13–18. (In Russian)
91. Mampholo B.M., Maboko M.M., Soundy P., Sivakumar D. Phytochemicals and overall quality of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.) varieties grown in closed hydroponic system. *J. Food Qual*. 2016. V. 39. P. 805–815. doi: 10.1111/jfq.12234
92. Markert B, Wuenschmann S, Fraenzle S et al. Bioindication of atmospheric trace metals—with special references to megacities. *Environmental Pollution*. 2011. 159(8-9). 1991–1995. doi: 10.1016/j.envpol.2011.02.009
93. Matniyazov RT, Kuluev AR, Baymiev AnKh et al. T2T genomes of higher plants. *Biomcs*. 2025. 17(1). 65-76. doi: 10.31301/22216197.bmcs.2025-5
94. Matvieieva NA, Vasilenko MY, Shakhovskiy AM et al. Agrobacterium-mediated transformation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) with genes coding bacterial antigens from *Mycobacterium tuberculosis*. *Cytology and Genetics*. 2009. 43(2). 94–98. doi: 10.3103/S0095452709020042
95. Mazier M, Maisonneuve B, Bellec Y et al. Interest for protoplasts in lettuce breeding. *Eucarpia Leafy Vegetables '99. Proceedings of the Eucarpia Meeting on Leafy Vegetables Genetics and Breeding*. Olomouc, Palacký University. 1999. 239–244.
96. Medina-Lozano I, Bertolin JR, Plieske J et al. Studies of genetic diversity and genome - wide association for vitamin C content in lettuce (*Lactuca sativa* L.) using high-throughput SNP arrays. *The Plant Genome*. 2024. 17(4). e20518. doi: 10.1002/tpg2.20518
97. Michelmores R, Marsh E, Seely S et al. Transformation of lettuce (*Lactuca sativa*) mediated by *Agrobacterium tumefaciens*. *Plant Cell Reports*. 1987. 6. 439–442. doi: 10.1007/BF00272777
98. Mikel MA. Genealogy of contemporary North American Lettuce. *HortScience*. 2007. 42(3). 489–493.
99. Mou B. Genetic variation of beta-carotene and lutein contents in lettuce. *J. Am. Soc. Hortic. Sci*. 2005. 130. 870–876. doi: 10.21273/JASHS.130.6.870
100. Mou B. Mutations in lettuce improvement. *International journal of plant genomics*. 2011. 2011(1). 723518. doi: 10.1155/2011/723518
101. Nazarova VV, Nadtochiy LA, Demchenko VA et al. Optimization of the process of growing lettuce (*Lactuca sativa* L.) by the hydroponic method. *Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 2019. (1). 122-125. (In Russian)

102. Nazarova VV, Nadtochiy LA, Demchenko VA et al. Optimization of process of cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) hydroponic method. *Scientific and Technical Volga Region Bulletin*. 2019. No. 1. 122–125.
103. Nicolle C, Cardinault N, Gueux E et al. Health effect of vegetable-based diet: Lettuce consumption improves cholesterol metabolism and antioxidant status in the rat. *Clin. Nutr.* 2004. 23. 605–614. doi: 10.1016/j.clnu.2003.10.009
104. Nishimura N, Taniguchi Y, Kiriyama S. Plasma cholesterol-lowering effect on rats of dietary fiber extracted from immature plants. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2000. 64. 2543–2551. doi: 10.1271/bbb.64.2543
105. Oladimeji AV, Kumar A.B. Therapeutic profile of lettuce: Leafy vegetable for moderate consumption (A review). *International Journal of Advanced Biochemistry Research*. 2023. SP-7(2). 254–258. doi: 10.33545/26174693.2023.v7.i2Sd.218
106. Ozgen S, Sekerci S. Effect of leaf position on the distribution of phytochemicals and antioxidant capacity among green and red lettuce cultivars. *Span. J. Agric. Res.* 2011. 9(3). 801–809. doi: 10.5424/sjar/20110903-472-10
107. Park S, Kumar P, Shi A et al. Population genetics and genome-wide association studies provide insights into the influence of selective breeding on genetic variation in lettuce. *Plant Genome*. 2021. 14. e20086. doi: 10.1002/tpg2.20086
108. Pink DAC, Keane EM. Lettuce: *Lactuca sativa* L. *Genetic improvement of vegetable crops*. Pergamon Press. Ltd. 1993. 543–571.
109. Proteggente AR, Pannala AS, Paganga G et al. The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition. *Free Radic. Res.* 2002. 36. 217–233. doi: 10.1080/10715760290006484
110. Ram SS, Majumder S, Chaudhuri P et al. A review on air pollution monitoring and management using plants with special reference to foliar dust adsorption and physiological stress responses. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2015. 45(23). 2489–2522. doi: 10.1080/10643389.2015.1046775
111. Rauscher G, Simko I. Development of genomic SSR markers for fingerprinting lettuce (*Lactuca sativa* L.) cultivars and mapping genes. *BMC Plant Biology*. 2013. 13(1). 11. doi: 10.1186/1471-2229-13-11
112. Romero-Gómez M, Audsley E, Suárez-Rey EM. Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *Journal of Cleaner Production*. 2014. 73. 193–203. doi: 10.1016/j.jclepro.2013.10.053
113. Romero-Gómez M, Suárez-Rey EM, Antón A et al. Environmental impact of screenhouse and open-field cultivation using a life cycle analysis: the case study of green bean production. *Journal of Cleaner Production*. 2013. 28. 63–69. doi: 10.1016/j.jclepro.2011.07.006
114. Rothwell A, Ridoutt B, Page G et al. Environmental performance of local food: trade-offs and implications for climate resilience in a developed city. *Journal of Cleaner Production*. 2015. 114. 420–430. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.04.096
115. Rubatzky VE, Yamaguchi M. *World Vegetables*. 1997. New York: Chapman & Hall. 843 p.
116. Saini R, Manoj P, Shetty N et al. Dietary iron supplements and Moringa oleifera leaves influence the liver hepcidin messenger RNA expression and biochemical indices of iron status in rats. *Nutr. Res.* 2014. 34. 630–638. doi: 10.1016/j.nutres.2014.07.003
117. Saini RK, Shang XM, Ko EY et al. Stability of carotenoids and tocopherols in ready-to-eat baby-leaf lettuce and salad rocket during low-temperature storage. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 2016. 67. 489–495. doi: 10.3109/09637486.2016.1172059
118. Santamaria P. Nitrate in vegetables: Toxicity, content, intake and EC regulation. *J. Sci. Food Agric.* 2006. 86. 10–17. doi: 10.1002/jsfa.2351
119. Santos J, Oliva-Teles M, Delerue-Matos C et al. Multi-elemental analysis of ready-to-eat “baby leaf” vegetables using microwave digestion and high-resolution continuum source atomic absorption spectrometry. *Food Chem.* 2014. 151. 311–316. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.11.083
120. Savvas D. Hydroponics: a modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *Agriculture*. 2003. 1. 80–86. doi: 10.1234/4.2003.320
121. Shi M, Gu J, Wu H et al. Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce – A comprehensive review. *Antioxidants*. 2022. 11(6). 1158. doi: 10.3390/antiox11061158
122. Shiina T, Hosokawa D, Roy P et al. Life cycle inventory analysis of leafy vegetables grown in two types of plant factories. *Acta Horticulturae*. 2011. 919. 115–122. doi: 10.17660/ActaHortic.2011.919.14
123. Sinha K, Khare V. Review on: Antinutritional factors in vegetable crops. *Pharma Innov. J.* 2017. 6. 353–358.
124. Soetan K, Olaiya C, Oyewole O. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants – A review. *Afr. J. Food Sci.* 2010. 4. 200–222.
125. Sukhareva AS, Kuluev BR. DNA markers for genetic analysis of cultivated plant varieties. *Biomics*. 2018. 10(1). 69–84. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018-15

126. Sularz O, Koronowicz A, Smoleń S et al. Anti- and pro-oxidant potential of lettuce (*Lactuca sativa* L.) biofortified with iodine by KIO₃, 3,5-iodo- and 3,5-diiodosalicylic acid in human gastrointestinal cancer cell lines. *RSC Adv.* 2021. 11. 27547–27560. doi: 10.1039/D1RA04679A
127. Survase SA, Bajaj IB, Singhal RS. Biotechnological production of vitamins. *Food Technol. Biotechnol.* 2006. 44. 381–396.
128. Sukhareva AS, Kuluev BR. DNA markers for genetic analysis of crops. *Biomics.* 2018. 10(1). 69–84. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2018.1-15 (In Russian)
129. Szeto YT, Tomlinson B, Benzie IF. Total antioxidant and ascorbic acid content of fresh fruits and vegetables: Implications for dietary planning and food preservation. *Br. J. Nutr.* 2002. 87. 55–59. doi: 10.1079/BJN2001483
130. Szymańska R, Kruk J. Tocopherol content and isomers' composition in selected plant species. *Plant Physiol. Biochem.* 2008. 46. 29–33. doi: 10.1016/j.plaphy.2007.10.009
131. Takahashi M. ζ potential of microbubbles in aqueous solutions: electrical properties of the gas – water interface. *The Journal of Physical Chemistry B.* 2005. 109(46). 21858–21864. doi: 10.1021/jp0445270
132. Thanopoulos C. Organic cultivation techniques of leafy vegetables: 1. Lettuce (in Greek), Lettuce organic cultivation techniques, Organic.Edunet ed. Agricultural University of Athens. AUA. 2008.
133. Trojanowska A. Lettuce, *lactuca* sp., as a medicinal plant in polish publications of the 19th century. *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki.* 2005. 50(3–4). 123–134.
134. Turkmen N, Poyrazoglu ES, Sari F et al. Effects of cooking methods on chlorophylls, pheophytins and colour of selected green vegetables. *Int. J. Food Sci. Technol.* 2006. 41. 281–288. doi: 10.1111/j.1365-2621.2005.01061.x
135. Uzu G, Sobanska S, Sarret G et al. Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. *Environmental science & technology.* 2010. 44(3). 1036–1042. doi: 10.1021/es902190u
136. van Workum DM, Mehrem SL, Snoek BL et al. *Lactuca* super-pangenome reduces bias towards reference genes in lettuce research. *BMC Plant Biol.* 2024. 24(1). 1019. doi: 10.1186/s12870-024-05712-2
137. Verwaaijen B, Wibberg D, Nelkner J et al. Assembly of the *Lactuca sativa*, L. cv. Tizian draft genome sequence reveals differences within major resistance complex 1 as compared to the cv. Salinas reference genome. *J. Biotechnol.* 2018. 267. 12–18. doi: 10.1016/j.jbiotec.2017.12.021
138. Viacava GE, Roura SI, López-Márquez DM et al. Polyphenolic profile of butterhead lettuce cultivar by ultrahigh performance liquid chromatography coupled online to UV-visible spectrophotometry and quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Food. Chem.* 2018. 260. 239–273. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.03.151
139. Vorobyev MV, Dyykanova ME, Terekhova VI et al. The effect of the growing time on the productivity of lettuce in the open ground conditions of the Moscow region. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University.* 2023. (1)(72). 34–38. (In Russian)
140. Vorobyov MV, Dyikanova ME, Terekhova VI et al. The influence of the growing period on the productivity of lettuce harvest in the open ground conditions of the Moscow region. *The Bulletin of Michurinsk State Agrarian University.* 2023. No. 1(72). 34–38.
141. Wang C, Riedl KM, Schwartz SJ. Fate of folates during vegetable juice processing – deglutamylation and interconversion. *Food Res. Int.* 2013. 53. 440–448. doi: 10.1016/j.foodres.2013.05.011
142. Warming M, Hansen MG, Holm PE et al. Does intake of trace elements through urban gardening in Copenhagen pose a risk to human health? *Environmental Pollution.* 2015. 202. 17–23. doi:10.1016/j.envpol.2015.03.011
143. Wei T, van Treuren R, Liu X et al. Whole-genome resequencing of 445 *Lactuca* accessions reveals the domestication history of cultivated lettuce. *Nat Genet.* 2021. 53(5). 752–760. doi: 10.1038/s41588-021-00831-0
144. Whitaker TW. Salads for everyone: A look at the lettuce plant. *Economic Botany.* 1969. 23(3). 261–264.
145. Wikifarmer Library. 2021. How to grow lettuce – lettuce complete growing guide from seeding to harvesting [WWW Document]. Wikifarmer. URL <https://wikifarmer.com/how-to-grow-lettuce-lettuce-complete-growing-guide-from-seeding-to-harvesting/> (accessed 3.27.23).
146. Xu F, Wang Q, Haji AA. Analysis of essential oil extracted from *Lactuca sativa* seeds growing in Xinjiang by GC-MS. *Zhong Yao Cai.* 2011. 34(12). 1887–1891.
147. Yadava RN, Jharbade J. New antibacterial triterpenoid saponin from *Lactuca scariola*. *Fitoterapia.* 2008. V. 79(4). P. 245–249. doi: 10.1016/j.fitote.2007.11.028
148. Zhang B, Xue Y, Liu X et al. A near-complete chromosome-level genome assembly of looseleaf lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*). *Sci Data.* 2024. 11(1). 961. doi: 10.1038/s41597-024-03830-y
149. Zhang L, Su W, Tao R et al. RNA sequencing provides insights into the evolution of lettuce and the regulation of flavonoid biosynthesis. *Nature*

- communications*. 2017. 8(1). 2264. doi: 10.1038/s41467-017-02445-9
150. Zhao X, Carey EE, Young JE et al. Influences of organic fertilization, high tunnel environment, and postharvest storage on phenolic compounds in lettuce. *HortScience*. 2007. 42. 71–76.
151. Zohary D. The wild genetic resources of cultivated lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Euphytica*. 1991. 53. 31–35.