

УДК 633.494:[581.132+581.522.4] (470.22)

**Икконен Е.Н., Фомина Ю.Ю., Сыроева М.И.,
Шерудило Е.Г., Шibaева Т.Г., Марковская Е.Ф.**

(Петрозаводск)

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ *HELIANTHUS TUBEROSUS* L. НА ТЕРРИТОРИИ КАРЕЛИИ

Аннотация. Исследования газообмена топинамбура с. Скороспелка показали высокую интенсивность функционирования фотосинтетического аппарата (ФА) в широком диапазоне температур. Смещение зоны оптимальных для фотосинтеза температур в зависимости от интенсивности света свидетельствует о пластичности ФА растений. Высокая эффективность использования света ФА растений в условиях низкой освещенности определяет высокую биологическую продуктивность топинамбура в условиях длинного дня и успешность его продвижения в высокие широты. При температурах ниже 1°C растения гибнут, зона холодового закалывания включает температуры от 2 до 18°C. В условиях длинного дня у растения задерживается образование клубней и генеративных органов, вследствие чего выращивание топинамбура как клубненоносной культуры не перспективно в условиях Карелии, однако, возможно получение высоких урожаев зеленой массы. Анализ гербарных данных позволяет предположить, что топинамбур можно выращивать в Карелии до 65°с.ш.

Ключевые слова: *Helianthus tuberosus* L., топинамбур, интродукция, фотосинтез, холодоустойчивость.

**E. Ikkonen, Yu. Fomina, M. Sysoyeva, E. Sherudilo, T. Shibayeva, E.
Markovskaya**

(Petrozavodsk)

ECOPHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF *HELIANTHUS* *TUBEROSUS* L. AND ASSESSMENT OF ITS CULTIVATION PROSPECTIVITY IN KARELIA

Abstract. Gas exchange study of Jerusalem artichoke *Helianthus tuberosus* L. var. Skorospelka revealed high intensity of photosynthetic apparatus functioning over a wide temperature range. Temperature response of photosynthesis and its interaction with light intensity testifies to the plasticity of *Helianthus tuberosus* photosynthetic apparatus. The stability of photosynthetic activity of plants in a wide range of light intensity and temperature ensures successful growing of *Helianthus tuberosus* far outside its native range. Plants die at temperatures below 1°C. Temperatures from 2 to

18°C increase cold hardening of *Helianthus tuberosus*. In conditions of a long day *Helianthus tuberosus* detains tuber and flower formation which makes its cultivation as a tuberiferous culture in Karelia useless. However, due to high adaptive capacity and photosynthetic plasticity of the species it is possible to obtain high yields of biomass under long days in Karelia. Potentially *Helianthus tuberosus* can be cultivated in Karelia up to 65°N.

Key words: *Helianthus tuberosus* L., Jerusalem artichoke, introduction, photosynthesis, cold resistance.

Клубнеобразующие растения издавна используются человеком как источник пищевых продуктов, корма для животных и биологически активных веществ. Они отличаются высокой продуктивностью, пластичны и способны произрастать в различных географических зонах и климатических условиях [11]. Топинамбур *Helianthus tuberosus* L. относится к высокопродуктивным растениям и является универсальной культурой, используемой в кормовых, технических, экологических, медико-биологических, пищевых целях [21; 22; 25; 27; 28]. Топинамбур применяется как декоративное растение, а также известны его способности к фитомелиорации и повышению плодородия почв [17]. В настоящее время топинамбур рассматривается как перспективная биоэнергетическая культура для получения дешёвого моторного топлива и биогаза [14; 18].

В мировом земледелии площадь посевов топинамбура составляет около 2,5 миллионов гектар. В России данный вид возделывается в Краснодарском крае, однако площадь под посадками незначительна и он продолжает оставаться «нетрадиционной» культурой [14].

Целью настоящей работы было изучение эколого-физиологической характеристики топинамбура с. Скороспелка для оценки перспективности его выращивания в условиях Карелии¹.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектом исследования служили растения топинамбура с. Скороспелка. Топинамбур родом из Северной Америки, однако, его природный ареал не установлен, так как растение было издавна окультурено и использовалось в пищу коренным населением [4; 24]. Вегетационный период растений с. Скороспелка от всходов до уборки на зелёную массу составляет 100–120

¹ Исследования выполнены с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием ИБ КарНЦ РАН при поддержке Минобразования и науки РФ, согл. № 8050. Авторы благодарят д. с.-х. н. директора ГНУ Карельской ГСХОС Россельхозакадемии Котову З.П. за предоставленный растительный материал.

дней. Сорт слабо реагирует на сокращение светового дня и является скоро-спелым, дающим урожай клубней уже к концу сентября, что позволяет возделывать его в средней полосе России. Средняя урожайность по клубням и зеленой массе составляет соответственно 25–30 и 30–35 т/га [16].

Растения выращивали из клубней, которые после хранения в холодильнике при температуре 5–7°C высаживали в сосуды с песком и 3 недели проращивали при температуре 23°C, интенсивности света 120 мкмоль/(м²·с) и фотопериоде 8 ч под светоустановкой. Далее эксперименты проводили в камерах искусственного климата при ежедневном поливе питательным раствором Кнопа с микроэлементами.

Холодоустойчивость растений топинамбура изучали в диапазоне температур от 0 до 23°C. Для этого растения, выращенные до возраста 6–8 листьев, переносили в камеры искусственного климата с температурами 0, 2, 5, 15, 18, 20 и 23°C на 5 суток. Холодоустойчивость листьев растений определяли по температуре (ЛТ₅₀, °C) гибели 50% палисадных клеток паренхимы высечек из листьев (площадью 0.3–0.4 см²) после 5-минутного тестирующего промораживания в микрохолодильниках ТЖР-02-20 («Интерм», Россия) в интервале температур от -4° до -7°C с шагом 0.4°C [2].

Интенсивность видимого фотосинтеза, устьичную проводимость (УП) и внутриклеточное содержание CO₂ измеряли на четвёртом и пятом листе растений, имеющих 6–8 листьев при помощи портативной системы для исследования CO₂- и H₂O-обмена растений, соединённой с листовой камерой с контролируемыми условиями освещённости, температуры и влажности воздуха (НСМ-1000, Walz, Германия). Измерения проводили при температурах листа 10, 20, 25, 33, 40°C, влажности воздуха 60–70%, содержании CO₂ в воздухе 400 ppm. При каждой температуре измерения определяли световые зависимости фотосинтеза, экспонируя лист при фотосинтетически активной радиации (ФАР) равной 400, 1800, 1000, 600, 300, 200, 150, 100, 50, 20 и 0 мкмоль/(м²·с). Темновое дыхание листьев измеряли через 10-15 мин после отключения света.

Квантовый выход фотосинтеза находили по величине коэффициента, определяющего начальный (0, 20, 50 мкмоль/(м²·с) ФАР) наклон линейного участка световой кривой [1]. Величину светового компенсационного пункта (СКП) определяли как интенсивность света, при которой скорость фотосинтеза равна нулю.

Повторность при определении холодоустойчивости листьев – 6-кратна, при измерении параметров фотосинтеза – 5-кратна, каждый опыт проводили 2 раза.

В работе проведён анализ гербарных сборов топинамбура, хранящихся в гербариях ПетрГУ, Института биологии КарНЦ РАН и Института леса КарНЦ РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведённые исследования показали, что уровень холодоустойчивости растений топинамбура, а также характер варьирования этого показателя существенно зависел от температуры окружающей среды (рис. 1).

Действие температур из диапазона от 2 до 18°C повышало холодоустойчивость листьев топинамбура. Температуры ниже 1°C уже в первые сутки снижали устойчивость и повреждали ткани растений, а с увеличением экспозиции до 3 суток вызывали их гибель.

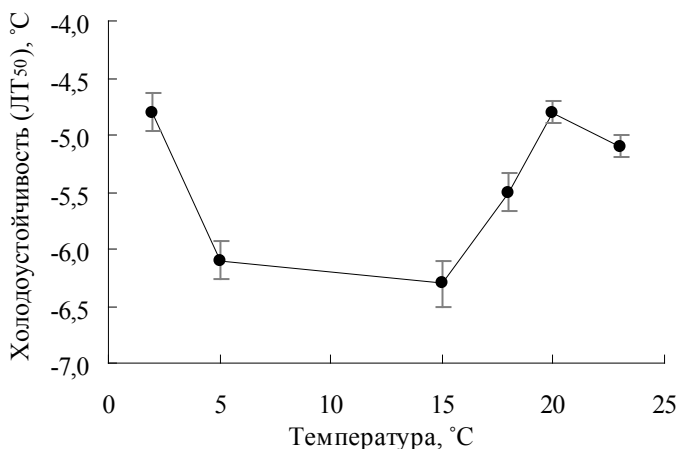
На основании этих результатов и в соответствии с гипотезой зонального влияния температуры на устойчивость растений [3] исследуемый диапазон температур был разделён на три зоны: фоновая зона, зона холодого закаливания и зона холодого повреждения (табл. 1).

Таблица 1

Границы температурных зон для растений *H. tuberosus*, с. Скороспелка

Температурная зона, °C		
холодого повреждения	холодого закаливания	фоновая
<1	2–18	>20

Рис. 1. Влияние температуры на холодоустойчивость растений *H. tuberosus*, с. Скороспелка. Экспозиция растений при заданной температуре – 5 суток



Если судить по ширине зоны холодого закаливания, равной у растений топинамбура 16° и сопоставимой с холодоустойчивыми культурами – пшеницей (16°) и ячменем (17°) [15], эта культура обладает достаточным адаптивным потенциалом реакции к действию низких температур. Однако адаптивные возможности топинамбура в области низких температур более ограничены, чем у холодостойких культур: растения повреждаются при температурах около 0°C и ниже. Полученные данные по градации температурной шкалы для данной культуры соответствуют имеющимся в литературе указаниям на то, что максимальный урожай топинамбура наблюдается при температурах в диапазоне от 18 до 27°C [26]. Именно этот диапазон температур, как наиболее благоприятный для активной вегетации растений топинамбура, отнесен к фоновой зоне (табл. 1).

Анализ имеющихся материалов гербариев Карелии и литературы [6] показал, что этот вид широко представлен в Карелии, за исключением двух северных флористических районов: Имандровского (Regio kuusamo) и Топозерского (Karelia keretina), что также подтверждает наличие температурных ограничений в его распространении.

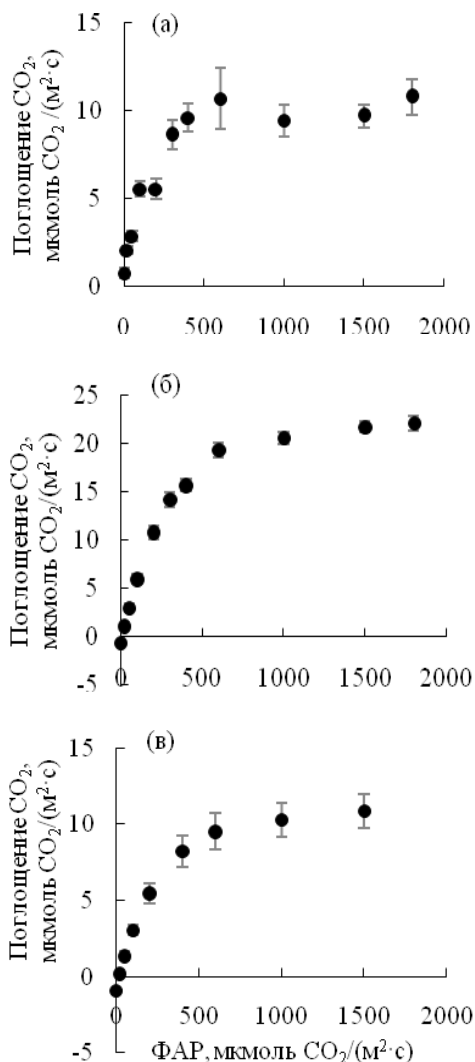
Для изучения адаптивного потенциала фотосинтетического аппарата (ФА) топинамбура эксперименты были проведены при шести температурах и различных уровнях интенсивности света. В соответствии с температурной картой вида были выбраны температуры: оптимальная – 25°C , низкая закаливающая – 10 – 15°C . В качестве высокой закаливающей была принята температура 40°C .

Световая зависимость нетто-фотосинтеза. Световая кривая фотосинтеза листьев топинамбура имеет крутой наклон начального участка, что свидетельствует о высокой эффективности использования ФА растений радиации слабой интенсивности. Это обеспечивает положительный CO_2 -газообмен листьев топинамбура в сутках в течение длительного времени и может способствовать успешному произрастанию этого адвентивного вида в высоких широтах с длинным световым днем далеко за пределами природного ареала.

Максимальные значения видимого фотосинтеза достигали значений 22 $\text{мкмольCO}_2/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ при температуре 25°C и уровне ФАР равном 600 $\text{мкмоль}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ (рис. 2). Дальнейшее повышение интенсивности света вплоть до 1800 $\text{мкмоль}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ ФАР не ингибировало процесс фотосинтеза. Эти данные свидетельствуют об устойчивости вида к свету высокой интенсивности и стабильности работы ФА топинамбура в широком диапазоне световых условий.

При высокой закаливающей температуре (40°C) угол наклона световой кривой фотосинтеза несколько снижался, значение светового насыщения не изменялось и соответствовало 600 $\text{мкмоль}/(\text{м}^2\cdot\text{с})$, а уровень газообмена резко снижался и составлял около 9 $\text{мкмольCO}_2/(\text{м}^2\cdot\text{с})$ (рис. 2).

Рис. 2. Световые зависимости видимого фотосинтеза растений *H. tuberosus* при температуре листа 10°C (а), 25°C (б), 40°C (с)



Результаты показали, что высокий уровень светолюбия вида отмечается как в области оптимальной, так и высокой закалывающей температуры, при которой интенсивность фотосинтеза снижается по сравнению с оптимумом почти на 50%, что может свидетельствовать о лимитировании

в большей степени темновых реакций фотосинтеза. При низкой закалывающей температуре точка светового насыщения сдвигалась в сторону более низкой интенсивности света ($250 \text{ мкмоль}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$), а максимальная скорость фотосинтеза снижалась относительно оптимума на 75% (рис. 2а). Сдвиг точки светового насыщения и снижение максимальной скорости фотосинтеза свидетельствуют о лимитировании составляющих как световой, так и темновой фазы фотосинтеза в условиях низкой температуры.

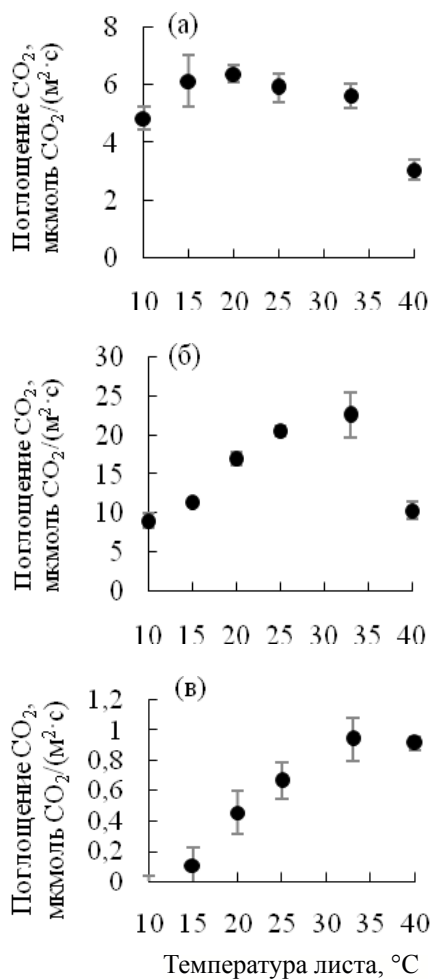
Температурная кривая CO_2 -обмена. Температурный отклик фотосинтеза различался в зависимости от уровня света (рис. 3). С повышением интенсивности ФАР температурный оптимум фотосинтеза сдвигался в сторону повышенных температур (рис. 3б), что свидетельствует о лабильности ФА листьев топинамбура.

Температурная кривая темнового дыхания листьев показала закономерное уменьшение величины Q_{10} с увеличением температуры (рис. 3в). Снижение значения Q_{10} дыхания и видимого фотосинтеза листьев в области $35\text{--}40^\circ\text{C}$ дают основания предполагать, что данный температурный диапазон является близким к критическому для жизнедеятельности топинамбура.

Температурная зависимость устьичной проводимости топинамбура. Проводимость устьиц занимает важное место в регуляции водного баланса и газообмена растений. Известно, что при низких температурах воздуха и почвы устьица закрываются, а у теплолюбивых растений нарушается регуляция устьичной проводимости (УП) [19]. Температурная зависимость УП растений топинамбура соответствовала «классическим» закономерностям динамики устьичных движений у теплолюбивых видов (рис. 4).

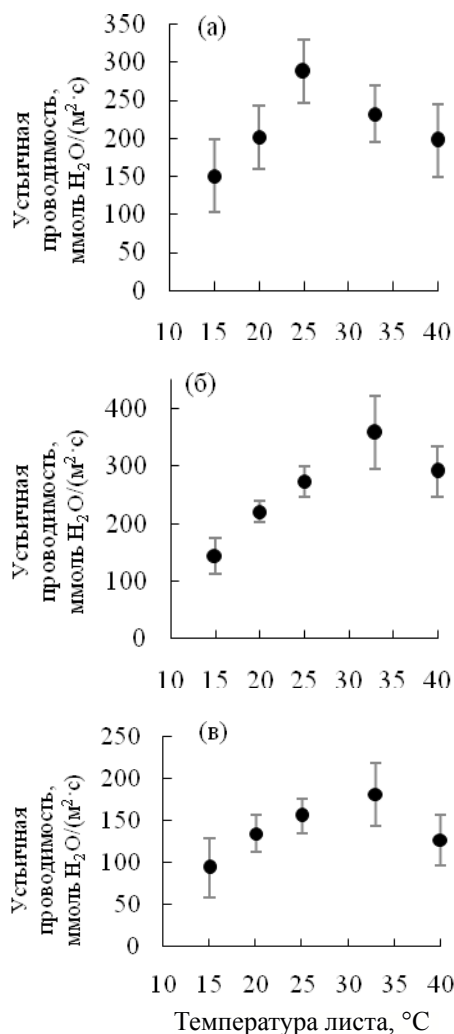
Видимый квантовый выход световых реакций фотосинтеза. Квантовый выход фотосинтеза отражает эффективность работы ФА в области малой и средней интенсивности света [1] и определяет скорость первичной продукции растений [20]. Квантовый выход фотосинтеза для C_3 - и C_4 -растений изменяется в пределах $0,04\text{--}0,06 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/\text{мкмоль квант}$ [8]. Квантовый выход фотосинтеза листьев топинамбура повышался от 0.05 при 10°C до $0.07 \text{ мкмоль } \text{CO}_2/\text{мкмоль квант}$ в диапазоне температур от 15 до 35°C (рис. 5а). Значения квантового выхода фотосинтеза топинамбура превышают средние для растений C_3 - и C_4 -типов, что говорит о высокой продуктивности и конкурентоспособности данного вида. Снижение значений квантового выхода фотосинтеза при 10 и 40°C может быть связано с потерей энергии на фотодыхание и/или с **варьированием соотношения карбоксилазной/оксигеназной реакции Рубиско** в зависимости от температуры. Параметры световых реакций фотосинтеза топинамбура поддерживаются на сравнительно высоком уровне в широком диапазоне температур, что свидетельствует о высокой активности ФА у исследуемого вида.

Рис. 3. Температурная зависимость видимого фотосинтеза *H. tuberosus* при 100 мкмоль/(м²·с) (а), 1000 мкмоль/(м²·с) (б), 0 мкмоль/(м²·с) (в) ФАР



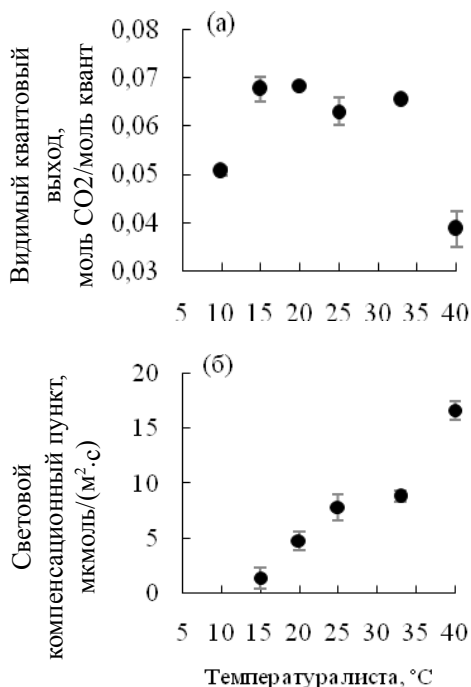
Световой компенсационный пункт. Значения СКП у листьев топинамбура в диапазоне температур 25–35°C составили в среднем 8,5 мкмоль/(м²·с) ФАР (рис. 5б), что занимает промежуточное значение между световыми и теневыми листьям [8] и свидетельствует о достаточной теневыносливости топинамбура. Также данный факт подтверждают низкие значения точки насыщения фотосинтеза светом (600 мкмоль/(м²·с) ФАР).

Рис. 4. Температурная зависимость устьичной проводимости растений *H. tuberosus* при 100 мкмоль/(м²·с) (а), 1000 мкмоль/(м²·с) (б), 0 мкмоль/(м²·с) (в) ФАР



Таким образом, проведённые исследования изменения холодоустойчивости и CO₂-газообмена позволили оценить адаптивные возможности растений топинамбура, обеспечивающие ему способность произрастать за пределами естественного ареала. Выявлено, что ФА топинамбура функционирует с высокой интенсивностью в широком диапазоне температур. Зона

Рис. 5. Температурная зависимость видимого квантового выхода фотосинтеза (а) и светового компенсационного пункта (б) растений *H. tuberosus*.



оптимальных для фотосинтеза температур может смещаться в зависимости от условий освещенности, что свидетельствует о пластичности ФА растений. По параметрам световых кривых фотосинтеза топинамбура можно отнести к группе светолюбивых растений с хорошо выраженными признаками теневыносливости. Высокая эффективность использования света ФА растений в условиях низкой освещенности определяет высокую фотосинтетическую (или биологическую) продуктивность топинамбура в условиях длинного дня и успешность его продвижения в высокие широты.

Однако имеются ограничения в диапазоне низких положительных температур: при довольно широкой зоне холодового закалывания (от 2 до 18°C) повреждение и гибель растений наступает при температуре ниже 1°C. В литературе отмечается снижение урожая и содержания инулина в клубнях топинамбура при температурах ниже 18°C [23]. Это означает, что выращивание топинамбура как клубненосной культуры не перспективно в условиях Карелии.

Вследствие южного происхождения топинамбур является короткодневным растением, и в условиях длинного дня у растения задерживается образование клубней и генеративных органов [7; 9; 10–13]. Однако исследования, проведённые на видах *H. macrophyllus* и *H. rigidus* на широте 61°40', где исключается генеративная репродукция, показали, что растения размножаются корневищами-столонами без клубнеобразования [11]. По-видимому, топинамбур способен произрастать в условиях длинного дня на территории Карелии благодаря вегетативному размножению. В настоящее время границы естественных ареалов клубнеобразующих видов, разновидностей и форм рода *Helianthus* достигают в Северной Америке штата Миннесота (до 50° с.ш.); а также они произрастают в провинции Саскачеван (Канада), за пределами широты 50° [4; 13].

Таким образом, топинамбур можно выращивать в Карелии до 65° с.ш. Высокий адаптивный потенциал и пластичность ФА растений топинамбура могут обеспечить получение хороших урожаев зелёной массы топинамбура в этих условиях. Однако технология выращивания должна учитывать его повреждаемость очень низкими положительными и отрицательными температурами.

По данным литературы, топинамбур успешно произрастает на всех типах почв, за исключением солонцов и солончаков [18]. Особый интерес представляет способность этого вида произрастать на антропогенно нарушенных экотопах, что было показано во всех исследованных флористических районах Карелии. По результатам анализа гербарного материала, основные естественные места обитания топинамбура на территории Карелии связаны с антропогенными нарушениями (мусорная куча, канава, пустыри, карьер, стройплощадка и т. д.). Из литературы известно, что топинамбур обладает определённой избирательной способностью на вынос ряда микроэлементов из субстрата и может возделываться на компостах из отходов некоторых производств (золоотвалы, шлакоотстойники), на почвах, загрязнённых радионуклеотидами, замазученных после нефтепереработок, при рекультивации земель, а также при создании экологических защитных полос вокруг промышленных районов [5].

Топинамбур может найти применение в охотничьих и звероводческих хозяйствах Карелии, так как является высокопитательным кормом для диких (зайцы, лоси, олени и кабаны) и разводимых в неволе (нутрии, кролики) животных. Выращивание топинамбура для дичи в виде кормозащитных полос вдоль дорог, просек, опушек является эффективным биотехническим мероприятием. Также отсутствие клубнеобразования не мешает использованию топинамбура в декоративных целях как зелёного ограждения и в качестве кулисной культуры для защиты посевов и посадок от ветра.

Полученные данные показывают перспективность топинамбура как сельскохозяйственной, но не клубненой культуры для северного земледелия и свидетельствуют о необходимости продолжения его исследований, в которых большое внимание должно быть уделено подбору сортового материала, успешного для выращивания в условиях Северо-Запада России.

Литература:

1. Гармаш Е.В., Головки Т.К. CO₂-газообмен и рост *Rhaponticum carthamoides* в условиях подзоны средней тайги европейского северо-востока. 1. Зависимость фотосинтеза и дыхания от внешних факторов // Физиология растений. – 1997. – Т. 44. – № 6. – С. 854–863.
2. Дроздов С.Н., Курец В.К., Будыкина Н.П., Балагурова Н.И. Определение устойчивости растений к заморозкам // Методы оценки устойчивости растений к неблагоприятным условиям среды. – Л., 1976. – С. 222–228.
3. Дроздов С.Н., Курец В.К., Титов А.Ф. Терморезистентность активно вегетирующих растений. – Л.: Наука, 1984. – 168 с.
4. Жуковский П.М. Топинамбур // Культурные растения и их сородичи. – Л.: Колос, 1971. – С. 293–295.
5. Кочнев Н.К., Плохотников А.В., Сутурин А.Н. Топинамбур – биоэнергетическая культура XXI века. – Киев: Полиграфкнига, 1990. – 16 с.
6. Кравченко А.В. Конспект флоры Карелии. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – 403 с.
7. Латишина Т.В. Результаты изучения сортообразования топинамбура // Тр. Коми НЦ УрО АН СССР. – 1989. – № 101. – С. 76–91.
8. Лархер В. Экология растений. – М., 1978. – 385 с.
9. Маркаров А.М. Особенности вегетативной и генеративной репродукции топинамбура // Тр. Коми НЦ УрО АН СССР. – 1991. – № 123. – С. 42–47.
10. Маркаров А.М. Особенности генеративной и вегетативной репродукции видов секции *Petota Dumort. P. Solarium L.* и сортов *Helianthus tuberosus L.* в различных фотопериодических условиях // Проблемы репродуктивной биологии семенных растений. – СПб., 1993. – С. 145–155.
11. Маркаров А.М., Головки Т.К., Табаленкова Г.Н. Морфофизиология клубнеобразующих растений. – СПб.: Наука, 2001. – 208 с.
12. Пасько Н.М. Биологические особенности топинамбура // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. – 1973. – Т. 50. – Вып. 2. – С. 102–122.
13. Пасько Н.М. Топинамбур – морфология, классификация и биология, исходный материал для селекции: автореф. дисс. ... д. с.-х. наук. – Л., 1989. – 36 с.
14. Рейнгардт Э., Кочнев Н., Пономарев А. Топинамбур: выращивание – уборка – получение биоэтанола // Сельский механизатор. – 2008. – № 12. – С. 38–39.
15. Титов А.Ф. Устойчивость активно вегетирующих растений к низким и высоким температурам: закономерности варьирования и механизмы: автореф. дисс. ... д. биол. наук. – М., 1989. – 42 с.

16. Усанова З.И., Байбакова Ю.В. Формирование высокопродуктивных агроценозов топинамбура: особенности минерального питания, удобрение. – Тверь: «АгроросферА», 2009. – 154 с.

17. Шаин С.С. Топинамбур: новый путь к здоровью и красоте. – М.: ЗАО «Фитон+», 2000. – 128 с.

18. Ярошевич М.И., Вечер Н.Н. Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) – перспективная культура многоцелевого использования // Труды БГУ. – 2010. – Т. 4. – № 2. – С. 1–12.

19. Allen D.J., Ort D.R. Impact of chilling temperatures on photosynthesis in warm-climate plants // Trends in Plant Science. – 2001. – № 6. – P. 36–42.

20. Ehleringer J. Implications of quantum yield differences on the distributions of C₃ and C₄ grasses // Oecologia. – 1978. – V. 31. – P. 255–267.

21. Kaur N., Gupta A.K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition // J. Biosci. – 2002. – V. 27. – P. 703–714.

22. Kosaric N., Cosentino G.P., Wiczorek A., Duvnjak Z. The Jerusalem artichoke as an agricultural crop // Biomass. – 1984. – V. 5. – №1. – P. 1–36.

23. Puangbut D., Jogloy S., Vorasoot N., Srijaranai S., Kesmala T., Holbrook C.C., Pattanothai A. Influence of planting date and temperature on inulin content in Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) // Australian J. of Crop Science. – 2012. – V. 6. – № 7. – P. 1159–1165.

24. Schilling E.E. *Helianthus* // Flora of North America Editorial Committee. Flora of North America North of Mexico. – Vol. 21. – Oxford University Press, New York, USA. 2006. – P. 141–169.

25. Seiler G. Forage and Tuber Yields and Digestibility of Selected Wild and Cultivated Genotypes of Jerusalem Artichoke // Agron. J. – 1993. – V. 85. – № 1. – P. 29–33.

26. Stanley J.K., Nottingham S.F. Biology and Chemistry of Jerusalem Artichoke: *Helianthus tuberosus* L. – CRC Press, 2007. – 496 p.

27. Szambelan K., Nowak J., Czarnecki Z. Use of *Zymomonas mobilis* and *Saccharomyces cerevisiae* mixed with *Kluyveromyces fragilis* for improved ethanol production from Jerusalem artichoke tubers // Biotechnol Lett. – 2004. – V. 26. – P. 845–848.

28. Takeuchi J., Nagashima T. Preparation of dried chips from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers and analysis of their functional properties // Food Chem. – 2011. – V. 126. – P. 922–926.