



Топинамбур в Беларуси



УДК 635.24(476)

Топинамбур в Беларуси / В. В. Титок [и др.] ; Национальная академия наук Беларуси, Центральный ботанический сад. – Минск : Беларуская навука, 2018. – 263, [1] с. : ил. – ISBN 978-985-08-2380-9.

В монографии впервые обобщены результаты многолетних комплексных исследований ботанических и физиолого-биохимических аспектов развития растений сортов и гибридов топинамбура, позволившие выявить таксоны, наиболее перспективные по комплексу хозяйственно ценных признаков для культивирования в условиях Беларуси. Определены оптимальные сроки заготовки зелёной массы и способы хранения клубней в зимний период года. Рассмотрены вопросы селекции и семеноводства культуры.

Проанализированы состояние и перспективы развития топинамбуроводства в Беларуси.

Рассчитана на ученых и практиков области ботаники, интродукции, растениеводства, физиологии и биохимии растений.

Табл. 107. Ил. 26. Библиогр.: 214 назв.

А в т о р ы:

В. В. Титок, Ж. А. Рупасова, Н. С. Купцов, Е. Г. Попов,
Д. А. Дубарь, П. А. Пашкевич, А. А. Веевник

Р е ц е н з е н т ы:

доктор биологических наук, профессор А. П. Волюнец,
доктор биологических наук, академик Л. В. Хотылёва

ISBN 978-985-08-2380-9

© ГНУ «Центральный ботанический сад
НАН Беларуси», 2018

© Оформление. РУП Издательский дом
«Беларуская навука», 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Принятые сокращения и условные обозначения	5
Введение.....	7
Глава 1. Биологические особенности растений топинамбура	10
1.1. Систематическое положение топинамбура	10
1.2. Центр происхождения культуры топинамбура и ареал его распространения.....	10
1.3. Ботаническая характеристика топинамбура.....	13
1.4. Состояние исследований с культурой топинамбура на современном этапе	19
Глава 2. Условия и методики проведения исследований.....	25
2.1. Состав коллекций топинамбура.....	25
2.2. Характеристика почв	26
2.3. Методики исследования	26
2.4. Погодные условия	28
Глава 3. Биологические особенности топинамбура в условиях Беларуси	32
3.1. Морфофизиологические особенности и параметры продуктивности топинамбура	34
3.2. Потребности в тепле разных групп спелости топинамбура и его толерантность к экстремальным факторам среды	57
3.3. Шкала десятичного кода стадий роста и развития растений топинамбура <i>Helianthus tuberosus</i> L. (код BBCH)	60
Глава 4. Биохимический состав сырьевых частей топинамбура (<i>Helianthus tuberosus</i> L.) в зависимости от генотипа и абиотических факторов в условиях Беларуси	71
4.1. Сезонная динамика биохимического состава листостебельной (зелёной) массы коллекционных образцов топинамбура.....	71
4.2. Генотипические особенности биохимического состава клубней топинамбура	88
4.3. Влияние абиотических факторов на биохимический состав клубней.....	111
4.4. Особенности трансформации биохимического состава клубней топинамбура в зависимости от способа и продолжительности хранения в зимний период	134
Глава 5. Селекция топинамбура.....	165
5.1. Изменение структуры растения топинамбура в ходе сортосмены.....	169
5.2. Технологические требования, предъявляемые современным земледелием к сортам топинамбура различного целевого назначения	170
5.3. Модели интенсивных сортов топинамбура	175
5.4. Источники ключевых признаков и свойств для моделей интенсивных сортов	180
5.5. Генетико-селекционный путь синтеза признака «оптимальный пробковый слой клубня».....	184
5.6. Генетико-селекционный путь синтеза сортов с незатухающим гетерозисом	185
	3

5.7. Карта технического уровня сортов и гибридов топинамбура.....	186
5.8. Результаты селекции топинамбура в ГНУ «ЦБС НАН Беларуси».....	187
Глава 6. Семеноводство топинамбура	192
6.1. Общая характеристика процесса семеноводства топинамбура	193
6.2. Этапы технологического процесса производства семенного топинамбура по классической схеме	196
6.3. Этапы технологического процесса производства семенного топинамбура по современной схеме.....	202
6.4. Технические требования к качеству семенного топинамбура.....	208
6.5. Апробация питомников оригинального топинамбура.....	211
6.6. Отбор проб от партий семян (клубней) топинамбура <i>Helianthus tuberosus</i> L. и проведение анализа семян (клубней) топинамбура	217
6.7. Правила упаковки, маркировки, транспортирования и хранения семенного топинамбура.....	220
6.8. Проверка качества поставленных семенных клубней и порядок рассмотрения претензий	222
6.9. Требования безопасности.....	223
Заключение	224
Литература и источники	234
Приложения	245

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТЕНИЙ ТОПИНАМБУРА

1.1. Систематическое положение топинамбура

Топинамбур («подсолнечник клубненосный», «земляная груша», «солнечный корень», «иерусалимский артишок» и др.) [*Helianthus tuberosus* L.] – клубненосное крупнотравное многолетнее растение семейства *Сложноцветные* (*Compositae*), рода *Helianthus* Североамериканского центра происхождения культурных растений. После перезимовки топинамбур возобновляется из почек, расположенных на клубнях, столонах и подземной части стебля, что позволяет ему произрастать на одном месте на протяжении многих лет [57, 58, 125, 126, 191]. В составе рода насчитывается более 100 видов, из которых в сельскохозяйственном производстве используются только два: *H. tuberosus* (топинамбур) и *H. annuus* (подсолнечник).

Топинамбур, по литературным сведениям [191], является полиплоидом, а именно гексаплоидом ($2n = 102$), гаплоидное число хромосом $n = 51$, основное число хромосом $X = 17$. Следует отметить, что в указанном центре происхождения культурных растений встречаются и другие гексаплоиды рода *Helianthus* ($2n = 102$): *H. rigidus* (Cass.) Desf., *H. macrophyllus* Willd.), а также тетраплоиды ($2n = 68$): *H. divaricatus* L., *H. eggertii* Small, *H. hirsutus* Raf. и диплоиды ($2n = 34$): подсолнечник *H. annuus* L. и *H. debilis* Nutt.

1.2. Центр происхождения культуры топинамбура и ареал его распространения

Родина топинамбура – Североамериканский центр происхождения культурных растений [17, 45, 46, 57, 58, 191], в котором, как указано выше, доминируют полиплоидные виды рода *Helianthus*. Это обусловлено тем, что полиплоидам отводится исключительная роль в фитоэволюции. Так, более половины видов высших растений являются полиплоидами. У культурных растений удельный вес полиплоидных видов достигает 80 %. Оптимальным уровнем плоидности, по мнению многих исследователей, является тетраплоидия, реже – гексаплоидия [138, 191, 196]. Среди изученных полиплоидных видов самыми распространёнными являются кратные основному числу хромосом (X): 12, 7, 8. Вместе с тем превышение оптимального уровня плоидности, усиливая надёжность и эффективность функционирования отдельных звеньев гено типа, может вести к депрессии организма и популяции в целом в связи с воз-

растением неупорядоченности (энтропии) системы генотипа и утратой его гибкости, связанной с нарушением взаимосвязей между отдельными подсистемами. При этом процесс возникновения и закрепления удачного сочетания генов и аллелей замедляется. Оптимальный же уровень пloidности расширяет генетическую основу растительного организма, обуславливая его повышенную адаптивную пластичность. Последняя позволяет полиплоидам возникать, сохраняться, побеждать в борьбе за существование и распространяться не только в ареале вида, но и на границах ареала, а также в условиях новых экологических ниш, в том числе и самых неблагоприятных для произрастания.

В настоящее время в Северной Америке дикие виды топинамбура занимают обширные площади близ Великих озёр. Они встречаются вдоль дорог, по залежам и на пустырях. В 1-м тысячелетии до н.э. топинамбур вошёл в земледелие американских индейцев, однако человеком это растение использовалось и ранее. Следует заметить, что границы центра видового разнообразия топинамбура и даже сам центр происхождения его культуры ещё точно не установлены. Европейцы впервые увидели топинамбур лишь в 1586 г. при основании своей колонии в Виргинии. Интродуцировано же данное растение в Европу французскими моряками экспедиции Лескарбо в 1605 г. Культура получила название «топинамбур» (от названия племени индейцев – «тупинамба») [56–58].

Топинамбур, в силу экологической пластичности, удачно натурализовался в Европе, а в дальнейшем, благодаря своим замечательным вкусовым и лечебным свойствам при сравнительно высокой урожайности, быстро распространился в Австралии, а также в странах Азии, Африки и Южной Америки. Однако в XVIII в. одновременное с ним распространение картофеля, как более технологичной культуры, интродуцированной из Южноамериканского (Перувиано-Эквадору-Боливийского) центра происхождения культурных растений, резко сократило производство и потребление топинамбура. Этому также способствовали его меньшая, чем у картофеля, лёжкость клубней из-за слабо развитого пробкового слоя и невыровненность их поверхности [56–58]. Со временем заброшенные культурные посадки топинамбура стали источником одичавших растений. В настоящее время одичавший топинамбур в различных регионах мира (от тропиков до 65° с.ш. северных районов земледелия) является одним из наиболее распространённых сорняков, что объясняется его высокой засухоустойчивостью и холодостойкостью. Необходимо отметить, что в ряде стран (Италия, Швейцария и др.) топинамбур включён в надзорный лист (Watch-Liste) инвазивных видов растений. EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization) предлагает уделить этому виду особое внимание как потенциальному карантинному объекту [56, 57].

О высокой экологической пластичности растений топинамбура свидетельствует тот факт, что в осенний период года они способны переносить заморозки до $-7...-8^{\circ}\text{C}$. Клубни могут неоднократно замерзать, оттаивать и при этом не терять жизнеспособности. Невыкопанные клубни сохраняют жизнеспособность

при снежном покрове 0,2...1,0 м даже при промерзании почвы и понижении температуры воздуха до –35 °С и ниже [56, 57].

Следует особо подчеркнуть, что естественный полиплоидный уровень топинамбура и его способность к вегетативному размножению создают большие предпосылки для селекции сортов с высоким уровнем гетерозиса, в том числе с незатухающим гетерозисом. Кроме того, виды разной пloidности рода *Helianthus* используются исследователями при межвидовой гибридизации для создания хозяйственно ценных гибридов [125, 191, 213]. Например, получены высокопродуктивные гибриды топинамбура с подсолнечником – топинсолнечник (сорта *Новость Випа*, *Восторг* и др.) [125]. Два российских сорта подсолнечника (*Прогресс* и *Новинка*) выведены академиком Г. В. Пустовойтом на основе гибридов скрещивания *H. annuus* и *H. tuberosus* [191].

Мировой генофонд насчитывает свыше 500 образцов, сортов и гибридов топинамбура [57, 125, 126, 191], в том числе не менее 12 диких форм. Коллекции данного вида имеются во многих странах и насчитывают от десятков до нескольких сотен образцов. Обычно это коллекции живых растений, в которых разные таксоны территориально обособлены, во избежание смешения сортового материала. Как правило, расстояние между ними составляет не менее 1,5 м, причем сорта с однотипной окраской клубней разделены каким-либо сортом, имеющим отличную от них окраску. Данный прием позволяет, с одной стороны, контролировать чистоту сортового материала, а с другой – располагать достаточным количеством клубней нескольких перспективных сортов. Существуют также другие типы коллекций – семенные и коллекции в виде культуры тканей. В отличие от живых коллекций они требуют меньше трудозатрат по подготовке и уходу за ними, но имеют и определенные недостатки [180, 208]. Так, для поддержания семенной коллекции, во избежание переопыления сортов, требуется располагать необходимым количеством семян, тогда как в соцветии топинамбура формируется лишь несколько выполненных семян.

Значительные коллекции сортов и образцов топинамбура, объединяющие от 24 до 175 таксонов, имеются также в Канаде (Plant Gene Resources of Canada – 175), Сербии (Institute of Field and Vegetable Crops – 155), Франции (Institut National de la Recherche Agronomique – 140), Германии (Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research – 115), США (North Central Regional Plant Introduction Station – 112), Венгрии (Institute for Agrobotany – 54) и Испании (Escuela Tecnica Superior – 24) [191].

Однако самой крупной живой коллекцией топинамбура, насчитывающей свыше 300 сортов, гибридов и образцов топинамбура [57, 95, 125], является коллекция Майкопской опытной станции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова, расположенной в поселке Подгорный Республики Адыгея. В данном научном центре проводятся комплексные исследования этой уникальной коллекции, позволившие выделить и описать 15 сортоформ топинамбура [125], объединяющих наиболее типичных представителей групп сходных сортов, образцов и гибридов (табл. 1.1.1).

Таблица 1.1.1. Сортотипы коллекционных сортов топинамбура и их принадлежность

Сортотип	Исходная разновидность	Год описания
<i>Дикий tun</i>		
<i>Горно-алтайский</i>	var. <i>purourallus</i> Cock.	1919
<i>Австралийский</i>	var. <i>ntbressensis</i> Cock.	1919
<i>American</i>	var. <i>punpurellus</i> Cock.	1919
<i>Примитивный tun</i>		
<i>Венгерский</i>	var. <i>oblongifolius</i> Comil.	1885
<i>Тамбовский красный</i>	var. <i>rubber</i> Comil.	1885
<i>Fuseau-60</i>	var. <i>fuseau</i> Meunis	1922
<i>Иранский</i>	var. <i>ordinaire</i> Shoeniak	1927
<i>Культурный tun</i>		
<i>Patat Vilmorin</i>	var. <i>patate</i> Meunis	1922
<i>Violet de Rennes (Виолет де Ренес)</i>	var. <i>piriforme</i> Meunis	1919
<i>Вадим</i>	var. <i>purpureus</i> Cock.	1919
<i>Белый урожайный</i>	var. <i>blanc amelioré</i> Meunis	1922
<i>Blanc Prescose (Блан Прекос)</i>	var. <i>blanc hatif</i> Bail	1949
<i>Майкопский</i>	var. <i>tait</i> Isvet	1960
<i>Харьковский 33650 (крупноклубневый)</i>	var. <i>mammhof</i> Schoht (French white)	1929

Таким образом, внутривидовое разнообразие мировой коллекции топинамбура включает как дикие формы и примитивные образцы, так и современные сорта, гибриды, которые с успехом могут использоваться в практической селекции для выведения новых интенсивных сортов. Кроме того, коллекционный материал, содержащий дикие формы, примитивные образцы и селекционные сорта, представляет собой удачную модель для изучения изменений в растительном организме в ходе доместикации, интродукции и селекции.

1.3. Ботаническая характеристика топинамбура

Корневая система топинамбура. У растений топинамбура, выросших из семени, вначале развивается стержневой корень, а затем формируется мочковатая корневая система. При выращивании растений из клубней сразу же формируется корневая система мочковатого типа. Глубина проникновения корней в почву достигает 1,5...2,5 м, причем их рабочая поверхность в 6...8 раз больше, чем у картофеля, что обуславливает высокую засухоустойчивость топинамбура [57, 125, 153].

Ветвление растений топинамбура. Развитие побега топинамбура происходит за счёт верхушечного роста осевого побега и роста междоузлий. Верхушечный рост продолжается до конца вегетации, а рост каждого междоузлия длится 15...45 дней [57, 125, 153]. По мере роста осевого побега в пазухах нижних листьев развиваются боковые побеги, которые закладываются на главном стебле последовательно снизу вверх, то есть в восходящем (акропетальном)

порядке. Каждый последующий, расположенный выше по стеблю побег, всегда несколько короче предыдущего. Количество данных побегов определяется продолжительностью верхушечного роста главного стебля. Таким образом, первоначальный тип ветвления у растений топинамбура имеет чётко выраженный моноподиальный характер, проявляющийся также и на боковых ветвях.

Рост главного стебля прекращается ко времени образования на нём верхушечного соцветия. Вслед за этим в пазухах верхних листьев начинают закладываться новые побеги. Первый из них образуется в пазухе самого верхнего (ближайшего к соцветию) листа, за ним следующий боковой побег – в пазухе 2-го сверху листа, затем 3-го и так далее в нисходящем (базипетальном) порядке. Этот тип ветвления, вызванный остановкой роста главного стебля, носит отчетливо выраженный симподиальный характер. Верхний побег остаётся обычно самым коротким. Следующие за ним сверху вниз побеги, закончив свой рост, оказываются последовательно длиннее. Побеги симподиального ветвления, благодаря быстро завершающемуся росту, не успевают развить ветвление в своём основании и имеют склонность к образованию только нового симподиального ветвления разных порядков.

Как видим, у растений топинамбура имеет место сочетание моноподиального и симподиального типов ветвления, последовательно сменяющих друг друга.

Развитие симподиального ветвления приостанавливает формирование новых моноподиальных побегов в нижней части главного стебля. Поэтому оба типа ветвления – моноподиальное (идущее по главному стеблю снизу вверх) и симподиальное (направленное сверху вниз), часто не успевают полностью «охватить» главный стебель. В результате этого остаётся участок главного стебля, лишенный боковых побегов, что особенно характерно для позднеспелых сортов.

Как правило, боковые побеги моноподиального ветвления отстают в своём развитии от главного стебля и в плодоношение вступают позже него. Побеги симподиального ветвления (особенно самые верхние), напротив, быстро заканчивают свой рост и к плодоношению подходят почти одновременно с главным стеблем. Нетрудно убедиться, что моноподиальное ветвление, в отличие от симподиального, затягивает созревание плодов (семян) топинамбура.

Необходимо отметить, что у разных видов растений симподиальное ветвление играет важную роль в селекции сортов на семенную продуктивность. В качестве примера можно привести близкородственный топинамбуру (*H. tuberosus* L.) вид – подсолнечник (*H. annuus* L.). Эти виды возделываются в разных целях: первый – ради клубней или зелёной массы, второй – для получения семян, тогда как у топинамбура семенная продукция не играет особой роли в сельскохозяйственном производстве. Заметим, что у них совершенно различен характер ветвления. Так, растения подсолнечника были подвергнуты тщательному селекционному отбору как семенная культура, в связи с чем его сорта вовсе не образуют боковых побегов, развивая только одно крупное соцветие (корзин-

ку) на верхушке стебля. Но если у подсолнечника всё же образуются боковые побеги главного стебля, то это ветвление имеет ярко выраженный симподиальный характер. Топинамбур, как показано выше, обладает хорошо развитым и моноподиальным, и симподиальным ветвлением, что указывает на возможность создания на основе межвидовой гибридизации (топинамбур × подсолнечник) как сортов топинамбура двойного назначения (клубневого и семенного), так и подсолнечника многолетнего. Данное направление селекции совпадает с тенденциями в современной мировой селекции, ориентированной, в связи с глобальным изменением климата, на выведение как яровых, так и озимых сельскохозяйственных культур, а также их многолетних сортов.

Стебель топинамбура. Стебель топинамбура прямой, устойчивый к полеганию, жёстко опушённый, хорошо облиственный. В зависимости от генотипа растений и условий произрастания он имеет высоту от 0,5 до 5,0 м. Кустистость растений сортов топинамбура неодинакова и количество стеблей колеблется от одного до девяти при численности ветвей на главном стебле от 14 до 30. Толщина побега, в зависимости от сорта, составляет 0,5...3,5 см и уменьшается от основания к верхушке. Окраска его преимущественно зелёная, но у некоторых сортов она может иметь фиолетовый оттенок из-за присутствия антоцианов.

Лист топинамбура. Лист у растений топинамбура зелёной и тёмно-зелёной окраски [57, 125, 153], простой и состоит из цельной пластинки и черешка. Листовые пластинки с тремя основными жилками, от яйцевидной до широкояйцевидной формы с заострённой вершиной; с основанием от ширококлиновидного до узкоклиновидного; имеют края – от пильчатого до цельного. Верхняя часть пластинки – от коротко опушённой или шероховатой до коротковолочной с сидячими железками, нижняя – грубо шершавая. В фазу всходов листья топинамбура формируют розетку. В нижней части побега они расположены супротивно и образуют мутовки по два, реже по три листа, тогда как листворасположение в его верхней части – очередное.

Подземные побеги топинамбура (столоны). У растений топинамбура из почек подземной части стебля образуются многочисленные подземные побеги – столоны, на концах которых формируются клубни. Столоны начинают образовываться ещё на стадии ВВСН 20. Начало роста столонов, как правило, совпадает с началом сокращения светового дня и продолжается до начала цветения [57, 125, 153]. Верхние междоузлия столона (4...6) утолщаются и превращаются в клубни. Образование клубней инициируется сокращением светового дня (после 22 июня). У отдельных сортов столоны с трудом отделяются от осевого побега, что затрудняет уборку клубней. Столоны, иногда выходящие на поверхность почвы, зеленеют и превращаются в надземные побеги. От длины столонов зависит характер клубневого гнезда: при коротких столонах гнездо компактное, при длинных – рыхлое и раскидистое. У сортов длина столонов варьируется в пределах 5...40 см, дикие же формы топинамбура имеют разнообразное расположение клубней в почве. У сортов с компактным гнездом на-

блюдается позднее столонообразование и самое раннее образование клубней, а у примитивных сортов и диких форм с очень раскидистым гнездом имеет место раннее образование столонов и позднее образование клубней [125].

Клубни топинамбура. Клубни на столонах топинамбура начинают образовываться на стадии ВВСН 40, что совпадает с началом завязывания бутонов. На одном растении топинамбура может быть от 20...30 шт. клубней и более, а у диких форм – до 70 шт. Зрелые клубни массой от 10 до 100 г и более, чаще грушевидные, но могут быть веретеновидной, яйцевидной или шаровидной формы с гладкой или бугристой поверхностью, обусловленной наличием «деток» (наростов), что снижает их технологичность. Окраска клубней у разных сортов – от белой и кремовой до красной и фиолетовой. Глазки (почки) топинамбура в большинстве случаев выпуклые, но встречаются также образцы с погруженными в клубень почками, например, сорт *Интерес*. Признак «погруженность» почек в клубень очень ценен и используется в селекции, так как клубни этих сортов не способны к образованию деток.

Пробковый слой у клубней топинамбура развит очень слабо и имеет толщину 47...92 мкм, наибольшую у диких форм, примитивных сортов и топинамбуров, а наименьшую – у культурных сортов [35, 57, 125]. Для сравнения укажем, что у клубней картофеля пробковый слой может достигать до 500 мкм (в том числе при наличии 7...9 клеточных слоёв толщиной 123...311 мкм в перидерме) [40, 211]. Из-за слабо развитого пробкового слоя клубни топинамбура плохо хранятся, быстро подвядают и портятся, подвергаясь воздействию патогенных микроорганизмов.

Соцветие топинамбура. Соцветие – корзинка диаметром 1,4...10,0 см [57, 125], размещенная на верхушках основных и боковых побегов. Их число на одном растении варьируется от 1 до 50 шт. и более. Ранние и среднеспелые сорта формируют на одном растении большее, чем позднеспелые, количество соцветий, обёртка которых полушаровидная. Листочки обёртки тёмно-зелёные, ланцетные с отогнутой верхушкой, шероховатые, железисто-точечные. Краевые цветки жёлтые; язычковые, бесполое; трубчатые цветки обоеполые с жёлтым венчиком; тычинки от тёмно-коричневых до чёрных. Опыление цветков перекрёстное с помощью ветра и насекомых. На растении первыми распускаются соцветия на вершинах центрального стебля или побегов 1-го порядка, затем они зацветают и на боковых побегах более высших порядков (2-го, 3-го). В такой же последовательности происходит окончание цветения и созревание корзинок.

Плод – мелкая семянка, сходная с таковой подсолнечника, длиной 5...7 мм, голая или в верхней половине опушённая. Масса 1000 семян составляет 7...9 г. Семенное размножение топинамбура возможно только в районах с жарким климатом, тогда как в других регионах его используют только в селекционных целях.

Отношение к теплу. По литературным данным [57, 125], топинамбур характеризуется устойчивостью к высоким и низким температурам. Минималь-

ная температура прорастания клубней колеблется от +4 °С до +9 °С, но оптимальной является от +18 °С до +25 °С. Весной всходы растений переносят заморозки до –5 °С. Оптимальным для их дальнейшего роста и развития является температурный диапазон от +20 °С до +28 °С. При достаточной влажности почвы и воздуха топинамбур способен переносить без потери тургора высокие температуры (до +40 °С). Осенью растения переносят заморозки до –7...–8 °С. На воздухе клубни топинамбура выдерживают кратковременное снижение температуры до –12 °С, а под снегом в почве до –35 °С и ниже.

Отношение к длине светового дня. Как известно, в зависимости от реакции на длину дня, растения делятся на длиннопдневные, короткодневные и нейтральные. Фотопериодическая чувствительность включается у растений с момента начала дифференциации главной оси зачаточного соцветия (3-я макростадия ВВСН) и длится до начала образования цветков (5-я макростадия ВВСН) [57, 125]. Нашими наблюдениями установлено, что топинамбур относится к короткодневным растениям, а потому быстрее растёт, развивается и образует клубни в условиях короткого (менее 12 часов) светового дня [57, 125]. С продвижением в условия длинного дня у растений топинамбура происходит задержка формирования генеративных органов и клубней при одновременном усилении накопления вегетативной массы и активизации образования столонов. Установлено, что чем длиннее вегетационный период у сорта, тем сильнее его реакция на увеличение длины дня. Растения позднеспелых сортов топинамбура могут образовывать семена только при сокращении длины светового дня до 12 часов и менее. Скороспелые сорта практически не реагируют на длину дня и образуют полноценные соцветия и зрелые семена.

Отношение к освещённости. Из литературных данных известно [57], что уровень освещённости значительно влияет на морфологические и физиологические показатели роста и развития растений топинамбура, что показано на примере сорта *Ленинградский*, у которого максимальная высота стебля отмечена при 50 %-ном уровне освещённости, минимальная – при 100 %-ном. Подобные результаты получены также для средней длины междоузлий и ветвей, количества, общей площади листьев и содержания в них хлорофилла. Наряду с этим было показано, что общая масса надземной части растений и урожайность клубней сортов топинамбура с продолжительностью вегетационного периода 80...90 сут., 100...110 сут. и 109...115 сут. при 50 %-ном уровне освещённости почти не отличались от таковых при ее 100 %-ном уровне. Это косвенно свидетельствует о реальной возможности создания раннеспелых сортов топинамбура, толерантных к густому стоянию (уплотнённых ценозов) и способных обеспечить более высокую урожайность зелёной массы и клубней при густоте стояния 100...130 тыс. растений на 1 га, в отличие от современных, возделываемых при густоте стояния растений 40...50 тыс/га [57]. На наш взгляд, топинамбур должен повторить селекционный путь, пройденный кукурузой за последние 50 лет, у которой густота агроценозов экстенсивных сортов и гибридов в 1950-е гг. составляла лишь 15...20 тыс/га, тогда как с 2010 г.

её интенсивные сорта и гибриды возделываются в ценозах с плотностью 100...120 тыс/га.

Отношение к влаге. Растения топинамбура, обладая мощной и глубоко проникающей в почву корневой системой, хорошо переносят временные засухи. Наиболее устойчивы они к недостатку влаги в фазах всходов и начала образования столонов. Критические же периоды потребности растений в почвенной влаге совпадают с началом бутонизации и началом периода утолщения столонов (клубнеобразование). В условиях засухи значительно снижается продуктивность зелёной массы, а урожай клубней, напротив, несколько возрастает, достигая максимальной величины при влажности почвы 70...80 % от полной полевой влагоёмкости (ППВ). Вместе с тем растения топинамбура не переносят избыточного увлажнения, затопления и высокого уровня стояния грунтовых вод, пагубно влияющих на урожайность клубней, не нанося при этом ущерба зелёной фитомассе. При длительном избытке влаги клубни загнивают и хуже перезимовывают [57, 125, 153].

Требования к свойствам почвы и уровню минерального питания. Топинамбур – относительно неприхотливая к условиям произрастания культура, малотребовательная к почвенному плодородию, в связи с чем может возделываться в разных агроклиматических зонах [57, 125, 153]. Однако топинамбур, как и любое другое растение, отзывчив на усиление минерального питания, что проявляется в увеличении урожайности зелёной массы и клубней. Предпочтительнее его возделывать на дерново-подзолистых, хорошо аэрируемых окультуренных почвах. По механическому составу лучшими являются супеси, подстилаемые моренными отложениями, а также лёгкие и средние суглинки, чистые от камней.

Оптимальные агрохимические показатели почвы для возделывания топинамбура: pH 6,0...6,5, обеспеченность гумусом – не менее 2 %, содержание подвижного фосфора и обменного калия – не менее 150...200 мг/1 кг почвы. Не следует культивировать топинамбур на тяжелосуглинистых и глинистых сильно уплотненных и избыточно увлажнённых каменистых почвах, на которых его клубни деформируются, приобретая уродливую форму. Кислую реакцию почвенного раствора ($\text{pH} < 6,0$) топинамбур переносит плохо, в связи с чем необходимо проведение известкования.

Расчётные нормы минеральных удобрений определяют с учётом планируемой урожайности, уровня почвенного плодородия и предполагаемого объема выноса питательных элементов на продуцирование 1 т зелёной массы: азота – около 3 кг, фосфора – 1,2...1,4, калия – до 4,5 кг, тогда как на формирование 1 т клубней – азота – около 2,5 кг, фосфора – 2,0...2,5 и калия – до 7 кг [57, 58]. Хлорсодержащие калийные удобрения в дозах 100...150 кг д.в. вносят осенью под основную обработку почвы. Под культивацию вносят полные дозы удобрений: азотных 80...90 кг д.в., фосфорных 60...80 кг д.в.

Отношение к густоте стояния растений в агроценозе. Соблюдение оптимальной густоты стояния растений способствует наиболее полному разви-

тию ассимилирующей поверхности, размеры которой взаимосвязаны с активностью фотосинтетических процессов и продуктивностью агроценоза. В условиях неодинакового загущения посадок топинамбура его рост и развитие, как и любой другой культуры, лимитируются в основном уровнем освещённости, оптимум которого при возделывании его современных сортов обеспечивается при густоте посадки 30...50 тыс. растений на 1 га. В более редких посадках во всех регионах урожайность культуры снижается, тогда как при загущении до 100 тыс. растений на 1 га продуктивность зелёной массы возрастает, а клубней – снижается [57, 58]. Наиболее целесообразны при этом широкорядные посадки с междурядьем 70 см и глубиной заделки клубней в пределах 8...10 см.

1.4. Состояние исследований с культурой топинамбура на современном этапе

Топинамбур возделывался на территории Северной Америки ещё до прибытия европейцев. Первое упоминание об этом растении встречается у Самюэля де Шамплена в описании экспедиции в Северную Америку, опубликованное в Париже в 1613 г. С начала XVII в. топинамбур стали выращивать в Голландии, Италии и Англии, а позднее и в других странах Европы – Германии, Дании, Польши, Швеции и Португалии [57, 58]. На территории России и Беларуси топинамбур возделывается с XVIII века, но с 50–60-х гг. прошлого века, в силу ряда причин, его посадки стали заметно сокращаться. Введение топинамбура в культуру сдерживалось недостаточной изученностью его биологии и отсутствием механизированной технологии промышленного возделывания, а также научных разработок по вопросам использования, хранения и переработки сырья. Лишь благодаря стараниям отдельных энтузиастов он сохранился на садовых, дачных и приусадебных участках, а также в диком виде вдоль полей и дорог.

Топинамбур отличается чрезвычайно высокой биологической продуктивностью сырьевых частей, в качестве которых используют зелёную массу и клубни. В США, Канаде, Бразилии, Франции, России и других странах на плодородных землях, при внесении необходимых доз органических и минеральных удобрений, урожай зеленой массы достигает 120...150 т/га, клубней – 100...120 т/га, причем такие урожаи считаются обычными [125, 126]. Среди кормовых культур, возделываемых в промышленных масштабах, топинамбур занимает одно из лидирующих мест [191].

Комплексные биохимические исследования клубней и надземной фитомассы топинамбура, проведенные в последние десятилетия во многих странах мира, показали высокую ценность и эффективность их многоцелевого использования, благодаря уникальному биохимическому составу и высокому содержанию биологически активных веществ [57, 58, 78]. В них обнаружены разнообразные витамины (В₁, В₂, В₆, С, РР) и каротиноиды, содержание которых может достигать 60...70 мг/кг сырой массы, а также минеральные элементы.

По содержанию железа топинамбур значительно превосходит морковь, картофель, репу и свеклу. Его сырьевые части весьма богаты калием, кальцием, кремнием, магнием, натрием, фтором, хромом и другими элементами. Они содержат также значительное количество белка (до 15 % сухой массы), характеризующегося высокой питательной ценностью, благодаря сбалансированному содержанию почти всех незаменимых аминокислот, в том числе аргинина, валина, лизина, лейцина и гистидина [179, 187]. Надземные и подземные органы топинамбура богаты растворимыми углеводами, в том числе редуцирующими сахарами (фруктозой, глюкозой) и сахарозой, целлюлозой и гемицеллюлозой, лигнином и пектиновыми веществами [181], органическими кислотами и жирами. По количеству углеводов топинамбур превосходит сахарную свеклу и сахарный тростник. Из 100 кг его клубней получают до 10 кг фруктозы.

Уникальность биохимического состава топинамбура состоит в чрезвычайно высоком содержании в его надземной биомассе и особенно в клубнях инулина, концентрация которого в них достигает 50...60 % от сухого вещества [182, 185, 186]. Это природный линейный биополимер, построенный за счёт различной степени полимеризации молекул D-фруктозы в фураназной форме – в среднем 27...35 (до 72) и один остаток глюкозы в начале полимера [28, 153, 191], соединённых гликозидными связями. Согласно современной модели, инулин синтезируется в клубнях топинамбура в два этапа. На первом этапе под действием фермента сахароза-сахароза-фруктозилтрансферазы (1-SST) из двух молекул сахарозы образуется глюкоза и 1-кестоза (трисахарид, состоящий из одного остатка глюкозы и двух остатков фруктозы). На втором этапе фермент фруктан-фруктан-фруктозилтрансфераза (1-FFT) переносит остаток фруктозы от 1-кестозы (или более крупных фруктанов) к сахарозе или другим фруктанам. В результате многократного повторения второго этапа образуется инулин со степенью полимеризации $n + 1$ [188, 191, 199]. Отсюда следует, что необходимым условием для активного биосинтеза инулина в клетках клубней топинамбура является повышенная концентрация сахарозы и высокая активность 1-SST и 1-FFT.

В сравнении с низкомолекулярным инулином, продаваемым на российском и европейском рынках (китайский из агавы и цикория – по 5 евро за 1 кг), инулин, получаемый из клубней топинамбура, лучше способствует снижению уровня холестерина в крови больных сахарным диабетом, что делает его незаменимым в этом плане лечебно-профилактическим средством. По оценкам разных авторов, содержание инулина в клубнях топинамбура может меняться в зависимости от почвенно-климатических условий района культивирования, технологии возделывания и сортовой принадлежности растений в довольно широком диапазоне значений – в пределах 38...70 % от сухого веса [21, 24, 41, 42, 153, 163].

Среди высших растений топинамбур считается одним из основных источников инулина [186, 203]. Фруктоза, полученная в результате гидролиза последнего, используется в диетическом питании, а также в медицинских и промышленных целях [195, 204]. В фитотерапии инулин рассматривается как

естественный питательный компонент, который оказывает благотворное влияние на организм человека путём снижения содержания сахара и холестерина в крови и применяется для лечения пациентов с сахарным диабетом и сердечно-сосудистыми заболеваниями [103, 184]. Получаемый из топинамбура и незаменимый для больных сахарным диабетом инулин был официально признан совершенно безопасным для человека источником углеводов, в первую очередь фруктозы, усвоение которой при его потреблении не требует выработки организмом инсулина.

Инулин всё чаще применяется в производстве пищевых продуктов, поскольку он может быть использован для замены сахара, жира и муки. Он оказывает благотворное влияние на усвоение таких жизненно важных элементов, как кальций и магний, поступление которых из пищи осуществляется путем активного транспорта в верхней части тонкого кишечника. Как правило, около 30 % поступающего с пищей кальция организмом не усваиваются, поскольку его основная часть в толстом кишечнике находится в виде нерастворимых комплексов. Под воздействием короткоцепочечных жирных кислот, образующихся в процессе ферментации инулина бактериями, растворимость кальция существенно возрастает, что способствует усилению его усвоения путем пассивной диффузии [191].

Из-за благотворного комплексного влияния на здоровье и питание человека сырьевые части топинамбура широко используются для изготовления пищевых продуктов и медицинских препаратов. Уже на протяжении многих десятков лет они находят применение в хлебобулочной, мясной, молочной и консервной промышленности, в производстве алкогольных и безалкогольных напитков, а также разнообразных биологически активных добавок. При этом клубни топинамбура, благодаря высокому содержанию пектинов, используются в изготовлении мармелада, желе, варенья и джемов для диетического и детского питания.

Наряду с этим топинамбур является перспективной кормовой культурой [57, 58, 205], а в последние десятилетия, из-за высокого содержания углеводов, он рассматривается и в качестве сырьевого источника для производства биогаза, этанола [80, 189, 190].

Из известных в мире сортов топинамбура в настоящее время Госреестры стран СНГ включают:

- в Республике Беларусь четыре сорта – *Находка* (1963), *Сиреники 1* (2012), *Десертный* (2012), *Анастас* (2018);

- в Российской Федерации шесть сортов – *Скороспелка* (1965), *Интерес* (1986), *Пасько* (2010), *Солнечный* (2010), *Омский белый* (2014), топинсолнечник *Башигау* (2014);

- в Украине три сорта – *Диетический* (1990), *Фиолет Киевский* (2000), топинсолнечник *Старт* (2000).

Следует отметить, что все указанные сорта ещё недостаточно технологичны как для производства товарной продукции, так и для её переработки [157, 158].

Поскольку топинамбур неприхотлив к почвенным условиям, его можно выращивать на землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота, в том числе на рекультивируемых площадях, а также на малоплодородных песках и супесях. Посадки топинамбура предотвращают ветровую эрозию, перенос сухой золы и ила. Рядом авторов экспериментально установлено, что после трех-пятилетнего его культивирования на таких землях они полностью восстанавливают исходный уровень плодородия. В случае же сильной засоренности почвы осотом, пыреем и другими многолетними и однолетними сорняками, культура топинамбура полностью изживает их с поля. Преимуществом данного растения является и то, что оно в меньшей степени, чем другие сельскохозяйственные культуры, накапливает в сырьевых частях нитраты, тяжелые металлы, радионуклиды, что позволяет отнести его к особо ценным для Беларуси видам растений.

Прогрессирующее расширение в мире ассортимента разнообразной продукции, выпускаемой на основе сырья топинамбура, и переориентация рынков сбыта способствуют значительному росту его популярности в разных странах [202]. Так, в США с 1981 по 1990 г. произошло увеличение площадей, занятых топинамбуром, с 400 тыс. до 700 тыс. га. В Австрии под данную культуру отведено свыше 130 тыс. га, во Франции – свыше 250 тыс. га. В мировом земледелии данная культура занимает сейчас более 2,5 млн га. Повышенный интерес к топинамбуру во многих странах мира вызван не только высокой продуктивностью его сырьевых частей и возможностью многоцелевого использования, но и тем, что к настоящему времени уже разработаны технологии производства из его надземной массы и клубней фитопрепаратов, биологических активных добавок, продуктов функционального питания, биокорректоров, инулина, фруктозы, фитосборов, биоэтанола и другой продукции, пользующейся повышенным спросом на внутреннем и внешнем рынках [77, 78, 166].

К примеру, для Беларуси многие виды такой продукции являются импортозамещающими и экспортно ориентированными, что имеет принципиальное значение для развития экономики государства. На данный момент в республике уже существует значительное количество разработок, патентов и ТУ по культуре топинамбура. Сбор травы (водно-спиртовый экстракт) топинамбура совместно с другими лекарственными растениями используется как бальнеологическое лечебно-оздоровительное средство [Патент Республики Беларусь № 17961]. БАД «Кальфосил», включающий продукты из клубней топинамбура для улучшения обмена веществ и повышения усвоения кальция рекомендуют широко использовать в питании населения, особенно в северных и экологически неблагоприятных регионах [Патент Республики Беларусь № 17826]. Употребление «Диетического пюреобразного продукта из топинамбура» снижает уровень холестерина в крови, улучшает иммунологические показатели организма, способствует усвоению организмом кальция, что ослабляет риск развития остеопороза [Патент Республики Беларусь № 17853]. В 2010–2012 гг. НИИ физико-химических проблем БГУ совместно с ГНУ «ЦБС НАН Беларуси»

и РНУП «Институт системных исследований» разработали биотопливо с использованием топинамбура, Технические условия «Топливо твердое на основе биомассы растительных культур и соломы» [ТУ ВУ 100050710.162-2012].

В настоящее время в Беларуси активно ведутся работы по освоению технологии возделывания и производства оригинальных семян (клубней) топинамбура. Так, в опорном фермерском хозяйстве (ФХ) «Бортники-агро» Молодечненского района Минской области поддерживается коллекция из 37 сортов и образцов, а также ведётся семеноводство трех перспективных сортов (*Анастас*, *Доминика*, *Бортниковский*).

Популярен топинамбур в частном секторе (дачные и садовые участки, крестьянские усадьбы), где он традиционно возделывается, а его клубни используются для приготовления салатов, в том числе с целью профилактики и коррекции содержания сахара в крови при сахарном диабете; зелёная масса топинамбура используется в народной медицине, в том числе для профилактики заболеваний суставов (артрозов, бурситов, артритов и др.), а также в качестве фитосборов для принятия ванн с целью снятия усталости, повышения иммунитета и общего оздоровления организма в зимне-весенний период.

Возможность использования сырьевых частей топинамбура в пищевых и медицинских целях, а также в кормопроизводстве предопределила повышенный интерес многих отечественных и зарубежных исследователей к детальному изучению биохимического состава надземных и подземных частей этого растения, возделываемого во многих странах мира, как на плантационной основе, так и в индивидуальных хозяйствах.

В Республике Беларусь исследования с этой чрезвычайно ценной культурой существенно активизировались в связи с выполнением в 2013–2016 гг. Программы Союзного государства «Инновационное развитие производства картофеля и топинамбура». При этом сотрудниками ГНУ «ЦБС НАН Беларуси» в рамках задания «Формирование и изучение коллекции лучших сортов топинамбура белорусской, российской и зарубежной селекции и отбор наиболее технологичных и перспективных для районирования в условиях республики и странах СНГ» был выполнен значительный цикл работ по сортоизучению топинамбура. В результате была создана коллекция наиболее продуктивных и устойчивых в местных условиях сортов топинамбура и были выделены таксоны с улучшенными качествами, перспективные для механизированной уборки и промышленной переработки. Была разработана технология возделывания и производства оригинальных семян (клубней) топинамбура. Наряду с этим был разработан способ определения содержания минеральных компонентов в подземных органах, сочетающий в себе метод термогравиметрического и электронно-зондового энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного анализов, а также создана методика выделения и анализа инулина в клубнях топинамбура, которые могут быть использованы для микроанализа последних в различных исследованиях. Результаты исследований, включающие морфо-биологическую и биохимическую характеристику топинамбура, явились науч-

ной основой высокоточной комплексной оценки сортов различной селекции и послужили критериями отбора наиболее перспективных из них для привлечения и возделывания на территории республики.

Вместе с тем, несмотря на достаточно полное представление о содержании в надземной биомассе и клубнях топинамбура действующих веществ разной химической природы, ряд весьма важных, как с научной, так и с практической точек зрения, вопросов до сих пор остается слабо изученным. Так, в научной литературе слабо представлена информация о генотипических особенностях накопления действующих веществ в надземных и подземных органах топинамбура с учетом региональных почвенно-климатических условий. Практически отсутствуют сведения о влиянии гидротермического режима сезона и сроков заготовки сырья на биохимический состав структурных компонентов фитомассы данного растения. Существенным пробелом в исследованиях с топинамбуром является и отсутствие данных о влиянии способов и продолжительности хранения клубней в зимний период года на содержание в них наиболее ценных органических соединений, с учетом генотипа растений. Несмотря на перспективность использования зелёной массы топинамбура в кормопроизводстве, нами не встречено информации о сезонной динамике содержания в ней действующих веществ.

Всё это и побудило нас к проведению исследований в данных направлениях, что позволило в итоге выявить таксоны топинамбура с наиболее высоким содержанием в них инулина и других ценных действующих веществ. Наряду с этим были научно обоснованы оптимальные сроки заготовки сырья надземной биомассы и клубней, а также способы хранения клубней в зависимости от сортовой принадлежности растений топинамбура.

УСЛОВИЯ И МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Состав коллекций топинамбура

Рабочие коллекции топинамбура (табл. 2.1.1, рис. 2.1.1) в 2014–2016 гг. закладывались в ГНУ «ЦБС НАН Беларуси» (город Минск) и в опорном ФХ «Бортники-агро» (Молодечненский район, Минская область).

Таблица 2.1.1. Состав коллекций сортов и образцов топинамбура

№ п/п	Название	№ п/п	Название	№ п/п	Название
ГНУ «ЦБС НАН Беларуси»					
1	Десертный	8	Бланк Прекос	15	Интерес 21
2	Дварф	9	Трансвааль	16	Виолет де Ренес
3	Гибрид 1	10	Топинсолнечник (ЦБС)	17	Сиреники 2
4	Гибрид 2	11	Надежда	18	Канадский
5	Сиреники 1	12	Находка	19	Гигант
6	Топинсолнечник «Новость ВИРа»	13	Интерес	20	Киевский белый
7	Скороспелка	14	Диетический	21	Мясцовы

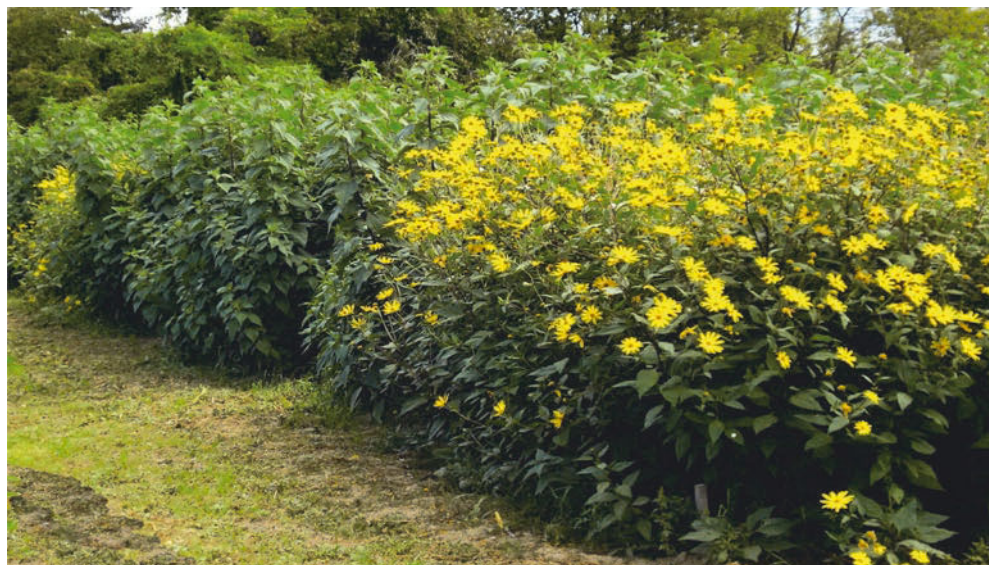


Рис. 2.1.1. Коллекция топинамбура ГНУ «ЦБС НАН Беларуси»

№ п/п	Название	№ п/п	Название	№ п/п	Название
<i>Опорное ФХ «Бортники-агро»</i>					
1	<i>Десертный</i>	14	<i>Отборная форма № 16</i>	27	<i>Тайландский</i>
2	<i>Скороспелка</i>	15	<i>Вильгортский</i>	28	<i>Дальневосточный</i>
3	<i>Интерес</i>	16	<i>Находка</i>	29	<i>Доминика</i>
4	<i>Диетический</i>	17	<i>Интерес 21</i>	30	<i>Гигант</i>
5	<i>Топинсолнечник «Новость ВИРа»</i>	18	<i>4М-1-11-56</i>	31	<i>Егерский</i>
6	<i>Виолет де Ренес</i>	19	<i>5ПИ</i>	32	<i>Гном</i>
7	<i>Сиреники 2</i>	20	<i>Гибрид 12/31</i>	33	<i>Кореневский</i>
8	<i>Канадский</i>	21	<i>Элиджэй</i>	34	<i>Бортниковский</i>
9	<i>Сиреники 1</i>	22	<i>Дагнкитрал</i>	35	<i>Анастас</i>
10	<i>Омский белый</i>	23	<i>Киевский белый</i>	36	<i>Гибрид Г-С-1</i>
11	<i>Гибрид Б/1</i>	24	<i>Киевский красный</i>	37	<i>Гибрид Г-1 С-1</i>
12	<i>Гибрид Б/2</i>	25	<i>Подольский 94</i>		
13	<i>Отборная форма № 60</i>	26	<i>Французенка</i>		

2.2. Характеристика почв

Выбор и подготовка полей для посадок коллекционного материала топинамбура, уход за растениями в ходе вегетации и уборка проводились в полном соответствии с требованиями технологии возделывания культуры [19, 27, 30, 38, 79, 123, 134, 157, 158, 173].

Закладка опытов по изучению сортов топинамбура проводилась в четырёхкратной повторности. Длина рядка составляла 3 м, расстояние в между рядками – 70 см, расстояние между клубнями в рядке – 30 см. Густота посадки – 52 клубня на 10 м² (из расчёта 52 тыс/га). Посадка клубней топинамбура проводилась вручную весной в оптимальные для культуры сроки (с 17 по 29 апреля в зависимости от условий года).

Почвы опытных участков дерново-подзолистые и характеризуются средним уровнем плодородия; по механическому составу почва участка ГНУ «ЦБС НАН Беларуси» относится к супесчаной, а опорного ФХ «Бортники-агро» – к легкосуглинистой.

Агрохимические показатели почв следующие:

- в ГНУ «ЦБС НАН Беларуси»: рН 5,6; обеспеченность фосфором Р₂О₅ – 150 мг/кг; калием К₂О – 150...200 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,5 %;
- в опорном ФХ «Бортники-агро»: рН 5,5; подвижных форм К₂О и Р₂О₅ – 150...200 мг/кг почвы; содержание гумуса – 2,3 %.

2.3. Методики исследования

Методической базой при исследованиях коллекций служила «Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность. Топи-

намбур (*Helianthus tuberosus* L.)» [104]. Наблюдения за феноритмикой сезонного роста и развития растений проводили методами [9, 172]. Морфофизиологические исследования проведены в соответствии с методическими указаниями [59].

Фитопатологические исследования коллекционных образцов топинамбура проводили в соответствии с общепринятыми методиками [91, 122, 124, 148, 193].

В процессе разработки технологии производства оригинального семенного топинамбура использовали методы культуры *in vitro* [68, 180, 191, 208].

Исследование биохимического состава сырьевых частей растений проводили с использованием распространенных методов получения аналитической информации.

Оценки содержания воды, а также доли органических и неорганических компонентов в клубнях топинамбура проводили методом термогравиметрического анализа образцов на приборе TA-4000 (Mettler Toledo STAR^e System, Швейцария) с исследованием образцов в интервале 25...700 °С при скорости нагревания 5 °С/мин. Минеральный состав клубней топинамбура после лиофильной сушки образцов определяли на рентгенофлуоресцентном спектрометре PANalytical Axios^{mAX} (Philips, Нидерланды) [90]. Содержание белка определяли по Лоури [198]. Активность в клубнях расщепляющего инулин фермента 2,1-β-D-фруктан-фруктаногидролазы (инулиназа, инулаза, КФ 3.2.1.7) измеряли спектрофотометрическим методом [200, 201]. В свежих усредненных пробах растительного материала определяли содержание: сухих веществ (с.в.) – по ГОСТ 28561-90 [131]; аскорбиновой кислоты – индофенольным методом [105]; титруемых кислот (общей кислотности) – объёмным методом [105]; в высушенных при температуре 65 °С усреднённых пробах определяли: растворимые сахара – ускоренным полумикрометодом [71, 128], инулин – спектрофотометрическим методом [1, 176], пектины – кальций-пектатным методом [96], флавоноиды – колориметрическим методом Фолина–Чокалтеу [66, 71, 105, 106]. Все аналитические определения выполнены в трехкратной повторности. Данные статистически обработаны с использованием программ Excel и Statistica v.6.0.

С целью выявления коллекционных образцов топинамбура с наиболее высоким интегральным уровнем питательной и витаминной ценности сырьевых частей (листочечной массы и клубней) был использован разработанный Ж. А. Рупасовой и защищённый патентом методический приём [135], основанный на сопоставлении у тестируемых объектов относительных размеров, амплитуд и соотношений статистически достоверных положительных и отрицательных отклонений от эталонных значений исследуемых характеристик биохимического состава тестируемых объектов. По величине суммарной амплитуды выявленных отклонений, независимо от их знака, можно было судить о выразительности различий каждого из них со стандартным (эталонным) сортом по совокупности анализируемых признаков, что позволяло провести их ранжирование в порядке снижения данных различий. Соотношение же относительных размеров совокупностей положительных и отрицательных различий с эта-

лонными значениями характеристик биохимического состава клубней являлось оценочным критерием интегрального уровня их питательной и витаминной ценности у каждого тестируемого сорта, если исходить из посыла, что все анализируемые признаки одинаково важны для оценки качества их сырья. За 1,0 (единицу) принимался интегральный уровень данного показателя эталонного сорта.

2.4. Погодные условия

В 2014–2016 гг. исследований температурные показатели и режим увлажнения в периоды вегетации растений заметно отличались от средней многолетней нормы. Как следует из данных табл. 2.4.1, апрель, май, июль, август и сентябрь 2014 г. на 7...21 % были теплее обычного и лишь в июне и октябре среднемесячная температура воздуха незначительно уступала многолетним значениям. При этом на протяжении большей части вегетационного периода отмечался выраженный дефицит влаги. Лишь в мае и особенно в августе количество осадков превышало климатическую норму – на 23 % в первом случае и на 149 % во втором, что позволяло в целом охарактеризовать данный сезон как жаркий и засушливый.

Таблица 2.4.1. Характеристики гидротермического режима периодов вегетации 2014–2016 гг.

Месяц	Температура воздуха, °C					Осадки, мм		
	средняя	норма	минимальная	максимальная	% от нормы	сумма	норма	% от нормы
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>2014 год</i>								
Апрель	8,7	7,2	–5,0	23,0	121	33	42	79
Май	14,5	13,3	0,3	30,1	109	80	65	123
Июнь	15,8	16,4	6,7	26,1	96	68	89	76
Июль	20,8	18,5	11,1	31,9	112	56	89	63
Август	18,9	17,5	8,0	35,6	108	169	68	249
Сентябрь	12,9	12,1	–0,3	24,8	107	27	60	45
Октябрь	6,2	6,6	–9,2	19,8	94	20	52	38
<i>2015 год</i>								
Апрель	7,2	7,2	–1,7	25,4	100,0	60	42	143
Май	12,7	13,3	1,7	26,4	96	66	65	102
Июнь	17,6	16,4	8,1	29,6	107	13	89	15
Июль	18,7	18,5	9,2	32,3	101	52	89	58
Август	20,9	17,5	8,1	33,9	119	45	68	66
Сентябрь	14,0	12,1	4,6	30,2	116	82	60	136
Октябрь	5,7	6,6	–6,5	19,1	86	28	52	54
<i>2016 год</i>								
Апрель	6,9	7,2	3,3	11,1	96	48	42	114

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Май	15,5	13,3	10,1	21,2	117	55	65	85
Июнь	18,8	16,4	13,4	24,6	115	54	89	61
Июль	19,5	18,5	15,4	25,1	105	124	89	140
Август	18,8	17,5	14,2	24,6	107	46	68	68
Сентябрь	13,9	12,1	10,4	18,3	115	36	60	60
Октябрь	4,9	6,6	2,5	7,9	74	132	52	254

Температурные показатели и особенно режим увлажнения в первой половине вегетационного периода 2015 г., во время формирования вегетативных органов растений топинамбура, как и в предыдущем сезоне, характеризовались значительными колебаниями. При этом среднемесячные температуры воздуха в апреле и июле были близкими к средней многолетней норме значений, тогда как май был заметно холоднее, а июнь, напротив, несколько теплее обычного. Чрезвычайно высокими среднемесячными температурными показателями характеризовались август и сентябрь. Обилие атмосферных осадков в апреле и достаточное их количество в мае сменились острым дефицитом влаги в летние месяцы, на которые пришлось наиболее активное формирование вегетативной сферы растений топинамбура. Лишь в сентябре наблюдалось обильное выпадение осадков, превысившее среднюю многолетнюю норму. Октябрь, как и годом ранее, был заметно суше и несколько прохладней обычного.

Температурные показатели 2016 г. в период май–сентябрь характеризовались более низкими значениями по сравнению со среднемесячными. Режим увлажнения во время вегетации характеризовался значительными колебаниями. При этом отмечался дефицит осадков в мае и июне, а также в августе и сентябре. В июле и октябре наблюдалось обилие осадков.

Определение суммы активных температур (САТ) и гидротермического коэффициента (ГТК), проведенное в ГНУ «ЦБС НАН Беларуси» за период апрель–октябрь 2014–2016 гг., показало (табл. 2.4.2), что большая часть периода вегетации в указанных годах характеризовалась достаточным увлажнением, только в июле и сентябре 2014 г., в июне и особенно в августе 2015 г., в июне и августе 2016 г. отмечался недостаток осадков. При этом в августе 2015 г. имела место засуха (ГТК = 0,09).

Таблица 2.4.2. Обеспеченности периода вегетации 2014–2016 гг. теплом (САТ) и влагой (ГТК)

Месяц	Количество осадков, мм	Сумма активных температур (САТ), °С	Гидротермический коэффициент (ГТК)
<i>2014 год</i>			
Апрель	32,8	169,0	1,94
Май	80,3	408,9	1,96
Июнь	68,3	474,7	1,44
Июль	55,6	645,0	0,86

Месяц	Количество осадков, мм	Сумма активных температур (САТ), °С	Гидротермический коэффициент (ГТК)
Август	162,6	585,1	2,88
Сентябрь	27,2	312,1	0,87
Октябрь	0,40	81,0	0,05
<i>2015 год</i>			
Апрель	30,0	120,0	8,60
Май	66,0	350,3	1,90
Июнь	13,0	527,4	0,25
Июль	52,0	578,3	0,90
Август	6,0	658,3	0,09
Сентябрь	100,0	407,9	2,45
Октябрь	0,0	56,0	0,00
<i>2016 год</i>			
Апрель	25,8	21,0	12,29
Май	54,5	480,0	1,14
Июнь	54,3	564,0	0,96
Июль	124,4	606,0	2,05
Август	46,0	549,0	0,84
Сентябрь	36,0	342,0	1,05
Октябрь	16,0	25,0	6,40

Высокие температуры и недостаток влаги в июне, июле и засуха августе 2015 г. существенно затормозили рост и развитие растений и клубней топинамбура в ГНУ «ЦБС НАН Беларуси» на супесчаной почве. На лёгкой суглинистой почве опорного ФХ «Бортники-агро» также отмечалась задержка роста и развития растений топинамбура, однако в меньшей степени.

Необходимо указать, что в ближайшие десятилетия, согласно современным исследованиям тенденций изменения климата [99, 100, 102], будет происходить постоянное повышение температуры, что, в свою очередь, повлияет на количество осадков и, соответственно, на урожайность культур. Глобальное изменение климата уже привело к появлению на территории Республики Беларусь новой агроклиматической области с суммой активных температур 2600...2800 °С, распаду Северной области и смещению границ всех зон на север на 60...150 км. Сумма активных температур в Южной агроклиматической области (III) составляет 2400...2600 °С, в Центральной (II) – 2200...2400 °С и в Северной (I) – до 2200 °С (рис. 2.4.1).

В дальнейшем в результате ожидаемого потепления к 2030 г. бывшая Центральная агроклиматическая область с суммой активных температур 2200...2400 °С фактически распадется, а её место займёт бывшая Южная область (2400...2600 °С). Новая агроклиматическая область (2600...2800 °С) продвинется далеко на север и займёт современное место Южной, а на её месте появятся еще более тёплые области с суммой активных температур, превышающих 2800 °С и даже 3000 °С [102].