

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ОРГАНОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МНОГОЛЕТНЕГО ПОДСОЛНЕЧНИКА

Е.В. Дубовая, Е.А. Груба, В.А. Лях

Запорожский национальный университет

Изучены морфологические и биохимические особенности подземных органов, включая содержание такого запасного вещества как инулин, у 6 видов многолетнего подсолнечника - *Helianthus maximiliani*, *H. mollis*, *H. nuttallii*, *H. rigidus*, *H. salicifolius*, *H. tuberosus*. Установлено, что наибольшую массу имела подземная часть *Helianthus salicifolius*, *H. maximiliani* и *H. tuberosus*, а наименьшую – *H. mollis* и *H. nuttallii*, уступающую в 3-4 раза вышеупомянутым видам. Наибольший процент органического вещества в подземных органах содержался у растений вида *H. tuberosus* (77,5%), а наименьший – у *H. mollis*, *H. maximiliani* и *H. salicifolius*, у которых этих веществ было почти на треть меньше чем у *H. tuberosus*. Наибольшее количество моносахаров имелось в подземных органах *H. tuberosus* и *H. nuttallii*. У *H. salicifolius*, *H. maximiliani* и *H. mollis* их было почти вдвое меньше. Наименьшее количество свободных моносахаров выявлено у *H. tuberosus* и *H. maximiliani*, что в 6-7 раз меньше чем у *H. rigidus*. В сырой массе подземных органов максимальное содержание инулина обнаружено у *H. tuberosus* (около 9%) и *H. nuttallii* (около 8 %), а минимальное – у *H. mollis*, *H. maximiliani* и *H. salicifolius* (3-4 %).

Ключевые слова: подсолнечник, многолетний вид, подземный орган, морфология, органическое вещество, запасное вещество, инулин.

Введение. Род Подсолнечник (*Helianthus*) относится к семейству Астровые (*Asteraceae*) и включает более 100 видов однолетних и многолетних травянистых растений. Самым известным представителем рода Подсолнечник является подсолнечник масличный. Родиной подсолнечника считают юго-западную часть Северной Америки, где и сейчас растут дикие формы. Подсолнечник богат на разнообразные органические и минеральные вещества. Содержание этих веществ зависит от органов растения [1, 2].

Дикие виды *Helianthus maximiliani*, *H. mollis*, *H. nuttallii*, *H. rigidus*, *H. salicifolius* и *H. tuberosus* являются наиболее известными представителями многолетних подсолнечников. Все они имеют прямостоячий жесткий стебель, покрытый волосками. Цветоложе плоское, покрыто жесткими прицветниками. Краевые цветки бесполое, язычковые, расположены в 1 ряд. Центральные цветки обоеполые и трубчатые. Листья у большинства представителей овальной или сердцевидной формы. Соцветие – корзинка, часто больших размеров. Плод - продолговатая четырехгранная семянка. Растут как на богатых суглинистых почвах, так и бедных суглинистых или песчаных почвах. Могут произрастать даже на почвах с низким рН. Почти все виды многолетнего подсолнечника не имеют проблем с вредителями и болезнями [3].

Дикие виды подсолнечника, как однолетние, так и многолетние, уже давно вовлекаются в различные селекционные программы, являясь источниками генов устойчивости к абиотическим и биотическим факторам. Наличие у диких видов пула полезных генов, очевидно, объясняется суровостью их естественной среды обитания, сконцентрировавшей у них различные комплексы приспособительных признаков.

Одним из основных механизмов, обеспечивающим успешное переживание растением неблагоприятных зимних условий, и, прежде всего, низких отрицательных температур, является накопление к концу вегетации большого количества углеводов и, в дальнейшем, распад их на моносахара. Помимо крахмала, таким запасным углеводом может быть инулин. Он встречается у многих растений, главным образом семейства сложноцветных, а также колокольчиковых, лилейных, лобелиевых и ряда других, и используется ими для регулирования холодоустойчивости. В клубнях и корнях георгина, нарцисса, гиацинта, одуванчика, цикория содержание инулина достигает 10-12% [4].

В полной мере это относится и к многолетним видам подсолнечника, произрастающим в суровых условиях американского континента. Известно о высоком содержании такого биологически активного вещества как инулин у *Helianthus tuberosus* L. Этот дикий вид подсолнечника считается одним из основных источников инулина среди высших растений [5, 6].

Инулин является природным биополимером, дающим при гидролизе фруктозу. Употребление инулина, в отличие от крахмала, не изменяет гликемический индекс. Именно поэтому топинамбур рекомендуют в первую очередь больным сахарным диабетом. Из-за своих необычных адаптационных характеристик он все чаще используется в производстве пищевых продуктов [7].

Вместе с тем данные о содержании этого запасного вещества в подземных органах других видов многолетних подсолнечников в научной литературе не известны.

Целью работы было исследование морфологических и биохимических, включая содержание такого запасного вещества как инулин, особенностей подземных органов 6 видов многолетнего подсолнечника.

Материалы и методы исследования. Материалом исследования были виды многолетнего подсолнечника *Helianthus maximiliani*, *H. mollis*, *H. nuttallii*, *H. rigidus*, *H. salicifolius*, *H. tuberosus*, растущие на опытном участке кафедры садово-паркового хозяйства и генетики биологического факультета ЗНУ.

Подземные органы этих видов отбирали в конце октября 2017 года. Для определения содержания органического вещества проводили озоление, используя навеску массой 2 г [8]. Для определения содержания инулина отбирали навеску массой 5 г. Содержание инулина устанавливали по разнице между суммой всех моносахаров и свободных моносахаров, определяемых по Бертрану с модификациями [9]. Повторность в обоих экспериментах – трехкратная.

Результаты исследования и их обсуждение. Нами были исследованы морфологические особенности подземной части исходного материала (рис.1).

У растений *H. salicifolius* подземная часть была представлена одревесневшим корневищем. Имелся толстый прочный главный корень. Корневая система имела большое количество вторичных корней и корешков. Часть боковых корней сначала располагалась почти параллельно поверхности почвы, а на некотором расстоянии от главного корня углублялась и шла

перпендикулярно поверхні ґрунту, даючи відгалуження від коренів наступних порядків.

Рослини *H. mollis* мали ветвисте кореневище з невеликим числом вторинних коренів і корешків. Почти все бокові корні розташовувалися паралельно поверхні ґрунту.

У рослин *H. rigidus* підземна частина була представлена ветвистим кореневищем з товстими корнями. Имелось багато бокових коренів і корешків. Частина бокових коренів розповсюджувалася в ґрунтовому шарі з загибом вглиб, ветвясь і утворюючи густу сітку дрібних корешків.

Рослини *H. nuttallii* мали ветвисте одревесніле кореневище з невеликим числом бокових коренів і корешків. Имелся товстий і міцний головний корінь. Почти все бокові корні розташовувалися перпендикулярно поверхні ґрунту.



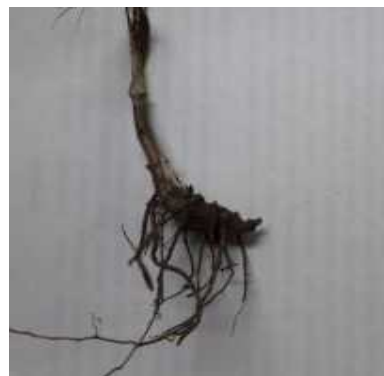
H. salicifolius



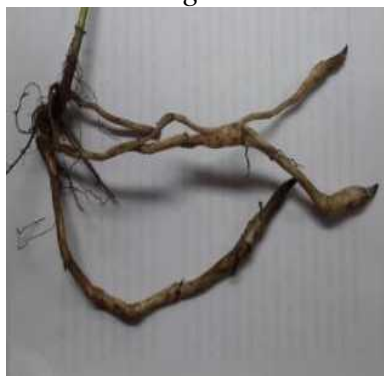
H. mollis



H. rigidus



H. nuttallii



H. tuberosus



H. maximiliani

Рис. 1. Морфологія підземної частини видів багаторічного підсонячника

Растения *H. maximiliani* имели одревесневшее корневище с толстым и прочным главным корнем. Корневая система имела большое количество вторичных корней и корешков. Часть боковых корней распространялась в почвенном слое, образуя густую сетку мелких корешков.

Растения *H. tuberosus* характеризовались ветвистым корневищем. Корневая система мощная, корни глубоко проникают в землю. Основная часть подземных стеблей (столонов) находится на глубине 20-25 см. На них образуются многочисленные клубни с выпуклыми почками.

Нами были проведены измерения массы подземной части исследуемых растений. Результаты приведены в таблице 1.

Установлено, что наибольшую массу имела подземная часть *Helianthus salicifolius*, *H. maximiliani* и *H. tuberosus*. Подземная часть *H. mollis* и *H. nuttallii* по массе была в 3-4 раза меньше по сравнению с вышеупомянутыми видами.

Таблица 1

Масса подземной части многолетних видов подсолнечника (2017 г.)

Показатель	<i>Helianthus salicifolius</i>	<i>Helianthus mollis</i>	<i>Helianthus rigidus</i>	<i>Helianthus nuttallii</i>	<i>Helianthus tuberosus</i>	<i>Helianthus maximiliani</i>
M±m (г)	27,7±0,39	6,7±0,41	19,8±0,66	7,9±0,20	23,5±0,40	27,0±0,14

Используя методику озоления у каждого из шести исследованных видов было определено содержание органических веществ (табл. 2).

Таблица 2

Содержание органических веществ в подземных органах многолетних видов подсолнечника (2017 г.)

Дикий вид	Содержание органического вещества, %
<i>H. maximiliani</i>	54,7 ± 1,09
<i>H. mollis</i>	59,0 ± 1,04
<i>H. nuttallii</i>	67,5 ± 0,67
<i>H. rigidus</i>	63,7 ± 1,59
<i>H. salicifolius</i>	51,2 ± 1,59
<i>H. tuberosus</i>	77,5 ± 0,74

Установлено, что виды существенно различались по содержанию органических веществ в подземных органах. Наибольшая доля органического вещества выявлена в подземных органах растений вида *H. tuberosus* (77,50%). *H. nuttallii* и *H. rigidus* имели на 10-15% меньше органических веществ в своих подземных органах чем *H. tuberosus*. В наименьшем количестве эти вещества

содержались у *H. mollis*, *H. maximiliani* и *H. salicifolius*. В их подземных органах органических веществ было почти на треть меньше чем у *H. tuberosus*.

Проведенные биохимические исследования показали, что наибольшее количество моносахаров имелось в подземных органах *H. tuberosus* и *H. nuttallii*, и несколько меньшее – у *H. rigidus*. У *H. salicifolius*, *H. maximiliani* и *H. mollis* их было почти вдвое меньше (табл. 3).

Таблица 3

**Содержание углеводов в подземной части многолетних видов
подсолнечника (мг на 1 г сырой массы)
(2017 г.)**

Дикий вид	Сумма моносахаров	Свободные моносахара	Инулин
<i>H. maximiliani</i>	46,0 ± 2,31	2,8 ± 0,80	43,2 ± 1,67
<i>H. mollis</i>	47,3 ± 2,68	9,3 ± 0,67	38,0 ± 2,0
<i>H. nuttallii</i>	98,0 ± 13,56	9,2 ± 1,61	88,8 ± 13,12
<i>H. rigidus</i>	81,3 ± 4,46	16,0 ± 1,15	65,3 ± 3,53
<i>H. salicifolius</i>	54,0 ± 3,46	8,3 ± 0,70	45,7 ± 4,16
<i>H. tuberosus</i>	98,6 ± 6,0	2,2 ± 0,14	96,4 ± 6,05

Каждый вид характеризовался и разной долей свободных сахаров. Больше всего их было у *H. rigidus*. Высокая доля свободных моносахаров была и у *H. mollis*, *H. nuttallii* и *H. salicifolius*. А наименьшее количество свободных моносахаров было выявлено у *H. tuberosus* и *H. maximiliani*, которое в 6-7 раз уступало *H. rigidus*.

Основываясь на разнице между всеми выявленными моносахарами и свободными моносахарами, наибольшее количество инулина (около 9 %) обнаружено, как и ожидалось, у *H. tuberosus*. Близким по количеству инулина к *H. tuberosus* был дикий вид *H. nuttallii* (около 8 %). У *H. rigidus* этого запасного вещества значительно меньше (не более 6 %). Дикие виды *H. salicifolius*, *H. maximiliani* и *H. mollis* в своих подземных органах содержали лишь 3-4 % инулина.

Выводы

1. Описаны морфологические особенности подземных органов 6 видов многолетнего подсолнечника – *Helianthus maximiliani*, *H. mollis*, *H. nuttallii*, *H. rigidus*, *H. salicifolius*, *H. tuberosus*. Они представлены удлиненными подземными корневищами различной формы и степени ветвления. Установлено, что наибольшую массу имела подземная часть *Helianthus salicifolius*, *H. maximiliani* и *H. tuberosus*, а наименьшую – *H. mollis* и *H. nuttallii*, уступающая в 3-4 раза вышеупомянутым видам.

2. Выявлено, что наибольший процент органического вещества в подземных органах содержался у растений вида *H. tuberosus* (77,50%), а наименьший – у *H. mollis*, *H. maximiliani* и *H. salicifolius*, у которых этих веществ было почти на треть меньше чем у *H. tuberosus*.

3. Наибольшее количество моносахаров имелось в подземных органах *H. tuberosus* и *H. nuttallii*. У *H. salicifolius*, *H. maximiliani* и *H. mollis* их было почти вдвое меньше. Каждый вид характеризовался и разной долей свободных сахаров.

Больше всего свободных моносахаров обнаружено у *H. rigidus*, а наименьшее количество – у *H. tuberosus* и *H. maximiliani*, в 6-7 раз уступающее *H. rigidus*.

4. Наибольшее количество инулина (около 9 %) обнаружено у *H. tuberosus*, а наименьшее – у *H. salicifolius*, *H. maximiliani* и *H. mollis* (3-4 %).

References

1. Fursova GK (1997) Подсолнечник: систематика, морфология, биология (Sunflower: systematics, morphology, biology). (In Russian). Ранок, Харьков.
2. Seiler GJ, Campbell LG (2004) Genetic variability for mineral element concentrations of wild Jerusalem artichoke forage. *Crop Science* 44(1): 289–292.
3. Seiler GJ, Rieseberg LH (1997) Systematics, origin, and germplasm resources of the wild and domesticated sunflower. In: A.A. Schneiter (ed.). *Sunflower technology and production*. American Society of Agronomy, Inc, Madison, WI. P. 21-65.
4. Grushetsky RI, Grinenko IG (2013) Наиболее перспективные источники высокомолекулярного инулина (The most promising sources of high molecular weight inulin). (In Russian). *Sugar* 10: 52-54.
5. Leontyev VN, Dubar DA, Lugin VG, Feskova EV, Ignatovets OS, Titok VV (2014) Биологический потенциал топинамбура как исходного сырья для пищевой и фармацевтической промышленности (Biological potential of Jerusalem artichoke as a feedstock for the food and pharmaceutical industry). (In Russian). *Proceedings of the Belarusian State Technical University*. 4: 227-230.
6. Xiao Yong Ma, Li Hua Zhang, Hong Bo Shao, Gang Xu, Feng Zhang, Fu Tai Ni, Brestic M (2011) Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*), a medicinal salt-resistant plant has high adaptability and multiple-use values. *Journal of Medicinal Plants Research* 5(8): 1272-1279.
7. Perkovets MV (2007) Влияние инулина и олигофруктозы на снижение риска некоторых «болезней цивилизации» (The effect of inulin and oligofructose on risk reduction of some "diseases of civilization"). (In Russian). *Food industry* 5: 22-23
8. Kharitonov YuYa (2003) Аналитическая химия. Т. 2 (Analytical chemistry. Vol. 2). (In Russian). High School, Moscow.
9. Borisyuk VO, Makovetsky KA, Boyko II (2011). Визначення водорозчинних вуглеводів та інуліну в коренеплодах цикорію коренеплодного (Determination of water-soluble carbohydrates and inulin in the root crops of root chicory). (In Ukrainian). *Sugar beets* 5: 16-17.

МОРФОЛОГІЧНІ ТА БІОХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПІДЗЕМНИХ ОРГАНІВ РІЗНИХ ВИДІВ БАГАТОРІЧНОГО СОНЯШНИКА

О.В. Дубова, Є.О. Груба, В.О. Лях

Запорізький національний університет

Дикі види соняшнику можуть бути не лише джерелами цінних генів для культурного соняшника, але й мають власний інтерес через високий вміст корисних для людини речовин у їхніх органах. Відомо про високий вміст такої біологічно активної речовини як інулін у *Helianthus tuberosus* L. Цей вид дикого соняшнику вважається одним із головних джерел інуліну серед вищих рослин. Однак дані про вміст цієї запасної речовини в підземних органах інших видів багаторічного соняшнику не відомі. Нами вивчено морфологічні та біохімічні особливості підземних

органів, включаючи таку запасну речовину як інулін, у 6 видів багаторічного соняшнику – *Helianthus maximiliani*, *H. mollis*, *H. nuttallii*, *H. rigidus*, *H. salicifolius*, *H. tuberosus*. Для визначення вмісту органічної речовини проводили озолення. Вміст інуліну встановлювали за різницею між сумою всіх моноцукрів і вільних моноцукрів, які визначали за Бертраном з модифікаціями. Повторність в обох експериментах - триразова. Встановлено, що найбільшу масу мала підземна частина *Helianthus salicifolius*, *H. maximiliani* і *H. tuberosus*, а найменшу – *H. mollis* і *H. nuttallii*, яка поступалась в 3-4 рази вищезгаданим видам. Найбільший відсоток органічної речовини в підземних органах містився у рослин виду *H. tuberosus* (77,50%), а найменший – у *H. mollis*, *H. maximiliani* і *H. salicifolius*, у яких цих речовин було майже на третину менше ніж у *H. tuberosus*. Найбільша кількість моноцукрів містилася в підземних органах *H. tuberosus* і *H. nuttallii*. У *H. salicifolius*, *H. maximiliani* і *H. mollis* їх було майже вдвічі менше. Найменша кількість вільних моноцукрів виявлено у *H. tuberosus* і *H. maximiliani*, що в 6-7 разів менше ніж у *H. rigidus*. У сирій масі підземних органів максимальний вміст інуліну виявлено у *H. tuberosus* (близько 9%) і *H. nuttallii* (близько 8%), а мінімальне – у *H. mollis*, *H. maximiliani* і *H. salicifolius* (3-4%). Підземні органи цих видів відбирали в кінці жовтня 2017 року.

Ключові слова: соняшник, багаторічний вид, підземний орган, морфологія, органічна речовина, запасна речовина, інулін.

MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF UNDERGROUND ORGANS IN VARIOUS PERENNIAL SPECIES OF SUNFLOWER

E.V. Dubovaya, E.A. Gruba, V.A. Lyakh

Zaporozhye National University

The Sunflower (*Helianthus*) genus belongs to the Asteraceae family (*Asteraceae*) and includes more than 100 species of annual and perennial herbaceous plants. Cultivated sunflower is the most famous representative of the Sunflower genus. The south-western part of North America is considered the birthplace of sunflower, where wild species are growing now. The sunflower is rich in a variety of organic and mineral substances. The content of these substances depends on the organ of the plant. Wild sunflower species, both annual and perennial, have long been involved in various breeding programs, being sources of abiotic and biotic resistance genes. The presence of the pool of useful genes in the wild species is obviously explained by the severity of their natural habitat, which has concentrated various complexes of adaptive traits in them. Wild species of sunflower can be not only sources of valuable genes for cultivated sunflower, but also have their own interest because of the high content of substances useful to humans in their organs. It is known about the high content of such biologically active substance as inulin in *Helianthus tuberosus* L. This wild sunflower species is considered one of the main sources of inulin among higher plants. However, data on the content of this reserve substance in the underground organs of other species of perennial sunflower are not known in the scientific literature. The aim of the work was to study the morphological and biochemical characteristics of underground organs of 6 species of perennial sunflower, including the content of such a reserve substance as inulin. As the study material the species of perennial sunflower *Helianthus maximiliani*, *H. mollis*, *H. nuttallii*, *H. rigidus*, *H.*

salicifolius, *H. tuberosus*, growing on the experimental plot of the department of landscape industry and genetics of the Biological faculty of Zaporozhye National University, were used. Underground organs of these species were collected at the end of October 2017. To determine the content of organic matter, ashing was carried. The content of inulin was determined by the difference between the sum of monosaccharides and free monosaccharides determined according to Bertrand with modifications. Repetition in both experiments is threefold. We investigated the morphological features of the underground part of the source material. In the plants of *H. salicifolius*, the underground part was represented by a woody rhizome. There was a thick strong main root. The root system had a large number of secondary roots. Part of the lateral roots was initially located almost parallel to the soil surface, and at a distance from the main root, it deepened and went perpendicular to the soil surface, giving branches from the following orders. *H. mollis* plants had a branched rhizome with a small number of secondary roots. Almost all lateral roots were located parallel to the soil surface. In *H. rigidus* plants, the underground part was represented by a branched rhizome with thick roots. There was a large number of lateral roots. Part of the lateral roots spread in the soil layer with a bend inward, branching and forming a dense grid of small roots. *H. nuttallii* plants had a branchy lignified rhizome with a small number of lateral roots. There was a thick and strong main root. Almost all lateral roots were perpendicular to the soil surface. *H. maximiliani* plants had a woody rhizome with a thick and strong main root. The root system had a large number of secondary roots. Part of the lateral roots spread in the soil layer, forming a dense grid of small roots. *H. tuberosus* plants were characterized by a branched rhizome. The root system is powerful, the roots penetrate deep into the ground. The main part of the underground stems (stolons) is located at a depth of 20-25 cm, where numerous tubers with bulging buds are formed. It was established that the underground part of *Helianthus salicifolius*, *H. maximiliani* and *H. tuberosus* had the greatest mass. The underground part of *H. mollis* and *H. nuttallii* was 3-4 times smaller in mass compared to the above-mentioned species. It was established that the species differed significantly in the content of organic substances in the underground organs. The largest proportion of organic matter was found in the underground organs of *H. tuberosus* species plants (77.50%). *H. nuttallii* and *H. rigidus* had 10–15% less organic matter in their underground cells than *H. tuberosus*. The smallest amount of these substances was contained in *H. mollis*, *H. maximiliani* and *H. salicifolius*. In their underground organs, organic matter was almost a third less than that of *H. tuberosus*. The biochemical studies performed showed that the largest number of monosaccharides was found in the underground organs of *H. tuberosus* and *H. nuttallii*, and a little less in *H. rigidus*. *H. salicifolius*, *H. maximiliani* and *H. mollis* had almost half of them. Each species was also characterized by a different proportion of free sugars. Most of them were in *H. rigidus*. *H. mollis*, *H. nuttallii* and *H. salicifolius* had a high proportion of free monosaccharides. And the smallest number of free monosaccharides was found in *H. tuberosus* and *H. maximiliani*, which was 6-7 times lower than *H. rigidus*. Based on the difference between all monosaccharides detected and free monosaccharides, the largest amount of inulin (about 9%) was found, as expected, in *H. tuberosus*. Close in terms of the amount of inulin to *H. tuberosus* was the wild species *H. nuttallii* (about 8%). *H. rigidus* had significantly less (no more than 6%) of this reserve substance. Wild species of *H. salicifolius*, *H. maximiliani* and *H. mollis* in their underground organs contained only 3-4% of inulin.

Key words: sunflower, perennial species, underground organ, morphology, organic matter, reserve substance, inulin.