Селекция и семеноводство сельскохозяйственных растений

УДК 631.524.5:633.854.78

DOI: 10.25230/2412–608X–2020–4–184–3–11

Влияние морфометрических признаков растений самоопыленных линий подсолнечника на его полегаемость

Б.Н. Бочкарёв,

млад. науч. сотrud.

Н.В. Медведева,

стар. науч. сотrud., канд. с.-х наук

Е.Н. Рыженко,

науч. сотrud.

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК

Россия, 350038, г. Краснодар, ул. им. Филатова, д. 17

Тел.: (861) 259-44-23, факс: (861) 259-79-14

E-mail: hybrid@vniimk.ru

Для цитирования: Бочкарёв Б.Н., Медведева Н.В., Рыженко Е.Н. Влияние морфометрических признаков растений самоопыленных линий подсолнечника на его полегаемость // Масличные культуры. – 2020. – Вып. 4 (184). – С. 3–11.

Ключевые слова: полегание, подсолнечник, корневая система.

Исследования проведены в 2018–2019 гг. на центральной экспериментальной базе ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. Цель исследований – изучить влияние некоторых морфометрических признаков надземной части растений и архитектоники корневой системы на полегаемость подсолнечника. У 17 материнских линий подсолнечника обнаружены значительные различия в архитектонике корневых систем: выделено три морфотипа, отличающихся по количеству и толщине боковых корней 1-го и последующих порядков, расположенных в пахотном слое почвы. Выделены линии подсолнечника, имеющие корневую систему с хорошо развитым главным корнем и множеством боковых корней различных порядков (тип А), линии с нормально развитым главным корнем и небольшим количеством боковых корней (тип Б) и линии со слабо развитым главным корнем и не-

многочисленными боковыми корнями в пахотном слое (тип В). Установлено наличие как низкой, так и высокой полегаемости у линий подсолнечника, имеющих различный тип корневых систем. Вместе с тем наблюдается тенденция к большей полегаемости у линий с типами корневой системы Б и В. Линия СЛ₁₂ 3660 показала максимальную устойчивость к полеганию в течение двух лет наблюдений. Она может представлять интерес для дальнейшей работы как возможный источник признака устойчивости к полеганию.

UDC 631.524.5:633.854.78

The impact of morphometric characteristics of plants self-pollinated sunflower lines on its lodging.

B.N. Bochkaryov, junior researcher

N.V. Medvedeva, senior researcher, PhD in agriculture

E.N. Ryzenko, researcher

V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops (VNIIMK)

17 Filatova street, Krasnodar, 350038, Russia

Tel.: (861) 259-44-23, fax: (861) 259-79-14

E-mail: hybrid@vniimk.ru

Key words: lodging, sunflower, root system.

We carried out the research in 2018-2019 at the experimental station of V.S. Pustovoi All-Russian Research Institute of Oil Crops. The aim of the research is to study the effect of certain morphometric characteristics of the overground part of plants and the architectonics of the root system on the sunflower lodging. We found significant differences in the architectonics of root systems in 17 maternal lines of sunflower: we identified three morphotypes, differing in the number and thickness of lateral roots of the first and subsequent orders, located in the top soil. We identified the sunflower lines that have a root system with a well-developed main root and many lateral roots of various orders (type A), lines with a normally developed main root and a small number of lateral roots (type B), and lines with a poorly developed main root and few lateral roots in top soil (type C). We identified the presence of both low and high lodging in sunflower lines with different types of root systems. At the same time, there is a tendency towards higher lodging in lines with root system types B and C. The line SL₁₂ 3660 showed the maximum lodging resistance during two years of observations. It may be of interest for further work as a possible source of a lodging resistance trait.

Введение. Корни играют важную роль в обеспечении минеральным питанием

всего растительного организма, а также в закреплении растения в почве, во взаимодействии растительного организма с почвенной биотой, в том числе во взаимоотношениях с патогенными микроорганизмами [1]. Стрессоустойчивость растений к ряду внешних факторов, их конкурентная способность в агроценозе во многом определяются архитектурой растений, в том числе их корневой частью [2]. Современные успехи биотехнологии позволяют проводить манипуляции с корневыми системами сельскохозяйственных растений для увеличения их продуктивности и устойчивости к абиотическим факторам [3]. Во многих обзорах фенотипирование и функциональные различия между корнями рассматриваются, как необходимые условия идентификации соответствующих признаков для улучшения сельскохозяйственных культур в условиях засухи, переувлажнения и при дисбалансе минерального питания [4; 5; 6]. В настоящее время отсутствует классификация и не выделены отличительные признаки для фенотипирования корневых систем у подсолнечника. Характеристики корневой системы растения не всегда учитываются исследователями по причине повышенной трудоемкости работ.

Корневая система подсолнечника (*Helianthus annuus* L.) имеет стержневой тип, с хорошо выраженными боковыми корнями разного функционального значения [7; 8]. В период вегетации растения она проникает на глубину до 3 м и более. Рост корней в молодом возрасте опережает рост стебля, и при образовании 4–5 пар настоящих листьев корневая система проникает в глубину до 80–100 см. К моменту образования корзинки рост корней прекращается. Часть боковых корней сначала располагается почти параллельно поверхности почвы, а на расстоянии 20–40 см от главного корня углубляется и идет параллельно ему, давая ответвления. Другая часть боковых корней распространяется в слое почвы 10–45 см с загибом вглубь, сильно ветвится, образует

густую сеть мельчайших корешков второго и последующего порядков. Угол отклонения корней второго порядка и последующих от стержневого, а также глубина их залегания зависят от погодных условий и состояния почвы. При устойчивой сухой погоде корни проникают глубже, а при влажной – приближаются к поверхности на расстояние 8–10 см. Во время ветровой нагрузки растения при сухой погоде более устойчивы, чем при влажной. Полегание растений подсолнечника после обильных осадков при уборке приводит к большим потерям [9].

Регулярные потери урожая в результате полегания посевов этой культуры отмечены как в России, так и в других странах: в Украине, Аргентине, Великобритании [10]. А. Kovačik (1976) и J. Miller (1997) считали, что генетический контроль полегания подсолнечника является сложным и зависит от высоты растений, прочности стебля, размера корзинки и объема корневой системы [11]. Украинские учёные выделяют стеблевое и «корневое» полегание растений подсолнечника и связывают его с нарушением агротехнологии выращивания культуры, переизбытком азота и развитием болезней на растениях [12]. Ряд зарубежных авторов с помощью моделирования скорости ветра, количества осадков на разных генотипах с различной густотой стояния, выявил, что основными детерминантами являются диаметр корневой части, толщина стебля и площадь растения, подвергающаяся порывам ветра. Для прогнозирования полегаемости требуется учёт многочисленных параметров: толщины стебля, кортекса и эпидермиса, площади растения, подверженной влиянию ветра, густоты стояния, фазы развития, площади корневой системы и ряда агрометеорологических факторов. И, несмотря на использование сложных формул, не всегда прогнозируемая (расчётная) полегаемость соответствует наблюдаемой – фактической [10].

Устойчивость подсолнечника к полеганию, по мнению ряда аргентинских исследователей, объясняется разрастанием

корней (длина, диаметр, количество и общая масса) в верхнем 5-сантиметровом слое почвы [13].

Методика исследования. В 2018–2019 гг. исследование проводили в полевых условиях центральной экспериментальной базы (ЦЭБ) ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК г. Краснодара на 17 материнских линиях подсолнечника: ВК 101, ВК 101-1, СЛ₀₁ 3856, СЛ 32, ВК 680, ВК 732, ВК 935, ВК 934, ВК 653, ВК 905, СЛ₁₂ 3660, СЛ₀₅ 16, СЛ₀₁ 3869, СЛ₀₅ 4154, СЛ₁₃ 2294, СЛ₀₅ 4034, СЛ₀₉ 4750. Линии были высеяны на 2–4-рядных делянках, длиной 10 м, с шириной междурядий 70 см.

После проведения учётов количества листьев, высоты стебля, диаметра корзинки, степени полегания, выкапывали не менее 10 растений подсолнечника одного генотипа. Корневую систему растений отмывали от земли, определяли диаметр и количество главного и боковых корней первого порядка, а также толщину стебля в прикорневой части.

Коэффициенты корреляции вычисляли по методике в изложении Б.А. Доспехова [14].

Результаты и обсуждение. Погодные условия 2018 г. на ЦЭБ ВНИИМК (центральная зона Краснодарского края) в период вегетации подсолнечника спровоцировали полегание большого количества селекционного материала. Данное явление было отмечено во второй декаде июля в период цветения – начала созревания материала (рис. 1).

Рисунок 1 – Метеорологические условия в период вегетации подсолнечника, ЦЭБ ВНИИМК, 2018 г. (данные автоматической метеостанции AGROKEEP).

* – полегание подсолнечника

В середине второй декады июня осадки в количестве 3,2 мм (16–17 июня) и порывы ветра до 6,4 м/с (18 июня) вызывали незначительное корневое полегание растений, стеблевых переломов не было отмечено. В это время растения находились в фазе бутонизации – начала цветения, и их надземная вегетативная масса достигала значительных величин.

На графике метеоданных можно отметить ещё несколько критических моментов, благоприятных для массового полегания подсолнечника: последняя декада июня (22–26.06) – непрерывные осадки в количестве 7,8 мм с порывами ветра до 7,7 м/с, а также период 16–21 июля с обильными осадками (94,6 мм), превышающими среднегодовую норму за данный период в 1,55 раза, и усилением ветра до 6,5 м/с.

Погодные условия 2019 г. представлены на рисунке 2: количество выпавших осадков с 16 июня по 20 июля было незначительное, сильные порывы ветра отмечались с 1 по 3 июля – до 12,6 м/с, последующие порывы ветра до 5,5 м/с приходились на период с 8 по 9 июля. Осадки с 11 по 16 июля в количестве 9,4 мм и усиление ветра до 4,1 м/с не способствовали значительному полеганию подсолнечника. Большое количество осадков (65,8 мм) выпало 21 июля, но сила ветра не превышала 1,3 м/с, благодаря этому процент полегания растений был значительно ниже, чем в 2018 г.

Рисунок 2 – Метеорологические условия в период вегетации подсолнечника, ЦЭБ ВНИИМК, 2019 г. (данные автоматической метеостанции AGROKEEP).

* – полегание подсолнечника

Из проведённых наблюдений следует, что на полегаемость растений подсолнечника существенно влияет сила ветра после обильных осадков. Наряду с этим определённое значение имеет архитектура корневой системы подсолнечника.

В результате исследований обнаружены значительные различия в фенотипировании корневых систем подсолнечника: по показателям длины и толщины главного корня, наличия, количества, длины и толщины боковых корней 1-го, 2-го и последующих порядков.

Условно корневые системы подсолнечника мы разделили на три морфотипа: в таблице 1 представлена их краткая характеристика и описание (фаза созревания растений).

Таблица 1

Описание корневых систем линий подсолнечника по морфологическим признакам

ЦЭБ ВНИИМК, 2018–2019 гг.

Типы корневой системы		
I. (А)	II. (Б)	III. (В)
Хорошо развитый главный корень в верхней части с множеством (от 31–42 шт.) корней 1-го порядка толщиной от 0,8 до 4,9 мм, на которых имеется ветвление из корней 2-го, 3-го и следующих порядков	Главный корень толщиной 9–20 мм, от которого отходит меньшее количество (17–39 шт.) корней 1-го порядка толщиной 0,5–9,9 мм; незначительное количество корней 2-го и следующих порядков	От главного корня в верхней части отходят толстые корни (0,6–12 мм) 1-го порядка (21–30 шт.); корней 3-го порядка очень мало или они отсутствуют

Часть материнских линий имеет хорошо разветвлённую корневую систему с длинным главным корнем и множеством ветвящихся корней 2-го, 3-го и последующих порядков (тип А): ВК 101-1, ВК 101, СЛ₀₁ 3856. Обильное горизонтальное и вертикальное ветвление корня в верхнем слое земли увеличивает поверхность соприкосновения с частицами почвы и способствует фиксации растений.

Также выделяются линии (СЛ 32, ВК 680, ВК 732, ВК 935, ВК 934, ВК 653, ВК 905, СЛ₁₂ 3660, СЛ₀₅ 16, СЛ₀₁ 3869, СЛ₀₅ 4154) с корневой системой (тип Б), имеющей хорошо развитый главный корень, от которого в верхней части отходит незначительное количество толстых и тонких корней 2-го, 3-го и последующих порядков.

Третий тип (тип В) отличается от предыдущих тем, что от главного корня отходят толстые (0,6–12 мм) боковые корни; корней выше 3-го порядка незначительное количество: линии СЛ₁₃ 2294, СЛ₀₅ 4034, СЛ₀₉ 4750. Главный корень при сильных порывах ветра может не выдерживать нагрузки вегетативной массы и переламывается близко к поверхности почвы.

В результате двухлетних исследований из 17 изученных материнских линий три линии имеют корневую систему типа А, одиннадцать линий корневую систему типа Б, три линии – тип В (табл. 2).

Таблица 2

Типы корневых систем и полегаемость растений в 2018–2019 гг. (ЦЭБ ВНИИМК)

Линия	Тип корневой системы	Полегание, %		
		2018 г.	2019 г.	среднее за 2 года
ВК 101-1	А	0	3,3	1,6
ВК 101		3,6	0	1,8
СЛ ₀₁ 3856		33,3	0	16,6
СЛ ₁₂ 3660		0	0	0
СЛ 32	Б	0	15,9	7,9
ВК 680		0	10,6	5,3
ВК 732		0	9,1	4,5
ВК 935		8,0	0	4,0
ВК 934		8,7	0	4,3
ВК 653		10,5	0	5,2
СЛ ₀₅ 16		19,0	16,9	17,9
СЛ ₀₁ 3869		50,0	8,7	29,3
ВК 905		61,9	40,0	50,9
СЛ ₀₅ 4154		73,9	43,7	58,8
СЛ ₀₅ 4034	В	42,8	0	21,4
СЛ ₀₉ 4750		74,2	24,0	49,1
СЛ ₁₃ 2294		94,1	37,5	65,8

Две материнские линии – ВК 101-1, ВК 101, относящиеся к типу А, в течение двух лет исследований показали низкую полегаемость (1,6–1,8 %), а линия СЛ₀₁ 3856 с таким же морфотипом корневой систе-

мы (тип А) в 2018 г. имела полегаемость на уровне 33,3 %, а в 2019 г. – 0 %, что объясняется различиями в погодных условиях этих годов. К корневой системе (тип Б) можно отнести линии, имеющие полегаемость за два года от 0 до 58,8 %. Абсолютную устойчивость к полеганию за два года исследования показала линия СЛ₁₂ 3660, имеющая корневую систему типа Б, поэтому её можно рекомендовать в качестве донора признака устойчивости к полеганию. Линии СЛ₀₅ 4034, СЛ₀₉ 4750, СЛ₁₃ 2294, имеющие корневую систему типа В, показали высокую полегаемость в 2018 г. – 42,8–94,1 %, а в 2019 г. – от 0 до 37,5 % соответственно.

Изученные линии подсолнечника с сильным ветвлением корней в верхней части (тип А) более устойчивы к полеганию по сравнению с линиями, имеющими другие типы корневой системы.

По нашим наблюдениям, устойчивость к полеганию у растений не всегда обеспечивается большой массой корневой системы, как утверждают некоторые авторы. Обязательным условием при обильных осадках и сильных порывах ветра (более 4,5 м/с) должно быть закрепление растения горизонтально разрастающимися боковыми корнями в пахотном слое.

Немногочисленные боковые корни не способны зафиксировать растение подсолнечника в почве при обильных осадках, а неглубокое проникновение главного корня в почву при сильных порывах ветра способствует его полеганию, это характерно для генотипов подсолнечника, склонных к полеганию.

На полегание растений подсолнечника влияют и морфометрические признаки наземных частей растения – высота растения, толщина стебля, наклон корзинки. Результаты изучения этих признаков приведены в таблице 3.

В 2018 г. у изученных материнских линий наблюдалось полегание от 0 до 94,1 %, при этом высота растений нахо-

дилась в пределах от 78 см до 131 см. У линий, показавших максимальную устойчивость к полеганию, высота растений варьировала от 94 см до 125 см, а у линий, показавших полегаемость от 42,8 до 94,1 % высота составляла 105–131 см.

Таблица 3

Влияние морфометрических признаков растений подсолнечника на их полегание

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2018 г.

Линия	Полегание, %	Толщина стебля у корня, см	Высота растения, см	Диаметр корзинки, см
СЛ ₁₂ 3660	0	1,5	125	16
ВК 101-1	0	1,4	94	20
ВК 680	0	1,5	95	20
ВК 732	0	2,1	110	28
СЛ 32	0	1,6	120	18
ВК 101	3,6	1,3	90	15
ВК 935	8,0	1,9	120	22
ВК 934	8,7	2,0	125	17
ВК 653	10,5	1,5	78	17
СЛ ₀₅ 16	19,0	1,9	113	17
СЛ ₀₁ 3856	33,3	1,5	88	15
СЛ ₀₅ 4034	42,8	1,9	117	16
СЛ ₀₁ 3869	50,0	1,8	128	16
ВК 905	61,9	1,5	110	18
СЛ ₀₅ 4154	73,9	1,5	131	17
СЛ ₀₉ 4750	74,2	1,7	105	18
СЛ ₁₃ 2294	94,1	1,8	120	16
НСР ₀₅	-	0,2	7,6	2,1
г	-	-0,285	0,300	-0,355

Высота растений линии СЛ 32 составила 120 см, а линии СЛ₀₅ 4034 – 117 см, при этом полегаемости у линии СЛ 32 не наблюдалось, а у линии СЛ₀₅ 4034 она составила 42,8 %. Таким образом, высота растения не является определяющим признаком, влияющим на полегаемость растений линий подсолнечника, это же подтверждает коэффициент корреляции, который составивший $r = 0,300$.

Изучение влияния толщины стебля на полегаемость материнских линий не выявило связи этого признака с полегаемостью. Так у линии СЛ₁₂ 3660 толщина стебля составила 1,5 см, как и у линии СЛ₀₅ 4154, при этом полегаемость у линии СЛ₁₂ 3660 составила 0 %, а у линии СЛ₀₅ 4154 – 73,9 %. Аналогичные результаты наблюдались при изучении диаметра

корзинки. Диаметр корзинки у линий СЛ₁₂ 3660 и СЛ₁₃ 2294 был равен 16 см, при этом полегаемость у первой составила 0 %, а у второй – 94,1 %.

Оценка влияния морфологии корневой системы на полегание растений материнских линий подсолнечника в 2018 г. не установила достоверной корреляционной зависимости по определяемым параметрам (табл. 4). Если рассматривать линии с различными типами корневой системы (тип А и В), то наблюдаются существенные различия между ними: линии ВК 101-1, ВК 101, СЛ₀₁ 3856 (тип А) имеют среднее количество корней 1-го порядка на глубине до 13 см – 31, 42, 37 штук, а у линий СЛ₀₅ 4034, СЛ₀₉ 4750, СЛ₁₃ 2294 (тип В) корней на глубине до 13 см – 21, 27, 23 штук соответственно. Высокая полегаемость линий с корневой системой типа В, возможно, связана с меньшим количеством корней 1-го порядка.

Таблица 4

Влияние морфометрических признаков корневой системы в фазе технической спелости на полегание растений подсолнечника

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2018 г.

Линия	Полега-ние, %	Толщина корня на глубине 5 см, мм	Толщина корней 1-го порядка, мм			Среднее количество корней на глубине 0–13 см, шт.
			на глубине 0–2 см	min на глубине 2–13 см	max на глубине 2–13 см	
СЛ ₁₂ 3660	0	12	1,5	2,9	4,2	37
ВК 101-1	0	14	2,0	2,8	4,9	31
ВК 680	0	14	1,5	2,1	4,3	20
ВК 732	0	16	1,8	3,9	6,5	30
СЛ 32	0	14	1,4	2,3	4,1	26
ВК 101	3,6	10	2,0	1,6	2,3	42
ВК 935	8,0	20	2,6	2,7	6,1	25
ВК 934	8,7	18	1,4	3,2	6,7	24
ВК 653	10,5	16	2,0	2,0	4,2	39
СЛ ₀₅ 16	19,0	22	1,8	2,3	5,4	38
СЛ ₀₁ 3856	33,3	11	1,4	1,4	3,4	37
СЛ ₀₅ 4034	42,8	20	3,0	2,5	6,1	21
СЛ ₀₁ 3869	50,0	17	1,9	2,8	4,2	34
ВК 905	61,9	17	0,9	2,1	3,9	17
СЛ ₀₅ 4154	73,9	15	1,4	2,2	4,8	18
СЛ ₀₉ 4750	74,2	17	2,1	3,5	5,6	27
СЛ ₁₃ 2294	94,1	16	1,7	3,4	5,1	23
r	—	0,211	-0,140	0,277	0,012	-0,428

У линий, имеющих тип В корневой системы, наблюдаются существенные разли-

чия по количеству корней 1-го порядка на глубине 13 см: от 17 штук у линии ВК 905 до 39 штук у линии ВК 653. Линии, имеющие большее ветвление корней, обладают большей устойчивостью. Вместе с тем линия СЛ 32, имеющая относительно небольшое количество корней первого порядка (26 шт.), была полностью устойчива в 2018 г. Таким образом, на полегание растений подсолнечника влияет целый комплекс рассмотренных признаков.

В 2019 г. полегаемость изученных материнских линий была ниже в сравнении с 2018 г. и находилась в пределах от 0 до 43,7 %. Снижение полегаемости можно объяснить погодными условиями. В 2019 г. у семи линий полегаемость не наблюдалась, а у четырёх линий она была от 24 до 43,7 %.

Высота растений линии СЛ₁₂ 3660 составила 122 см, а у линии ВК 905 – 117 см, при этом полегаемости у линии СЛ₁₂ 3660 не наблюдалось, а у линии ВК 905 она составила 40 %, но несмотря на это коэффициент корреляции в 2019 г. между полегаемостью и высотой растений составил $r = 0,526$ (табл. 5).

Таблица 5

Влияние морфометрических признаков растений подсолнечника на их полегание

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2019 г.

Линия	Полегание, %	Толщина стебля у корня, см	Высота растения, см	Диаметр корзинки, см
ВК 101-1	0	1,5	97	18
ВК 653	0	1,5	72	17
СЛ ₀₁ 3856	0	1,5	79	18
СЛ ₀₅ 4034	0	1,5	119	17
СЛ ₁₂ 3660	0	1,7	122	17
ВК 935	0	2,0	111	20
ВК 934	0	2,3	122	19
ВК 101	3,3	1,1	95	15
СЛ ₀₁ 3869	8,7	1,8	121	18
ВК 732	9,1	2,1	101	26
ВК 680	10,6	1,8	96	20
СЛ 32	15,9	1,7	111	20
СЛ ₀₅ 16	16,9	1,7	110	16
СЛ ₀₉ 4750	24,0	1,7	104	17
СЛ ₁₃ 2294	37,5	1,7	130	19
ВК 905	40,0	2,1	117	18
СЛ ₀₅ 4154	43,7	2,0	137	24
НСР ₀₅		0,2	5,6	2,2
r		0,279	0,526	0,243

Толщина стебля у материнских линий находилась в пределах от 1,1 см у линии ВК 101 (полегаемость 3,3 %) до 2,3 см у линии ВК 934 (полегаемость 0 %), при этом полегаемость линии СЛ₀₅ 4154 с толщиной стебля 2 см составила 43,7 %. Коэффициенты корреляции в 2019 г. между полегаемостью и толщиной стебля, диаметром корзинки были также недостоверны. В 2019 г. только высота в определённой степени достоверно влияла на полегаемость изученных материнских линий ($r = 0,526$).

Изучением влияния корневой системы на полегание растений материнских линий подсолнечника в 2019 г., установили среднюю корреляционную зависимость между полеганием и толщиной корней первого порядка на глубине до 2 см, $r = 0,564$ (табл. 6).

Таблица 6

Влияние морфометрических признаков корневой системы в фазе технической спелости на полегание растений подсолнечника 2019 г.

ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК, 2019 г.

Линия	Полегание, %	Толщина главного корня на глубине 5 см, мм	Толщина корней 1-го порядка, мм на глубине, см			Среднее количество корней, шт. на глубине 0–13 см
			0–2	min 2–13	max 2–13	
ВК 101-1	0	23	1,2	1,7	3,2	35
ВК 653	0	15	0,8	2,1	4,9	38
СЛ ₀₁ 3856	0	9	1,0	1,6	3,5	34
СЛ ₀₅ 4034	0	16	0,6	1,4	3,4	30
СЛ ₁₂ 3660	0	15	0,9	1,7	4,9	33
ВК 935	0	26	0,5	2,4	6,6	24
ВК 934	0	26	1,6	2,8	9,9	23
ВК 101	3,3	7	0,8	1,2	3,1	35
СЛ ₀₁ 3869	8,7	16	1,0	1,6	3,5	31
ВК 732	9,1	19	0,8	2,2	6,9	28
ВК 680	10,6	18	0,8	1,8	6,0	26
СЛ 32	15,9	18	1,1	1,9	4,8	32
СЛ ₀₅ 16	16,9	16	0,4	1,7	4,3	25
СЛ ₀₉ 4750	24,0	15	0,9	1,8	5,2	29
СЛ ₁₃ 2294	37,5	15	1,1	1,8	5,1	22
ВК 905	40,0	20	1,2	2,1	4,7	25
СЛ ₀₅ 4154	43,7	27	3,1	3,0	8,2	19
r		0,204	0,564	0,338	0,266	-0,637

Малое количество толстых поверхностных корней не обеспечивает фиксации растения в почве при сильных порывах ветра. По количеству корней на глубине

13 см наблюдалась существенная отрицательная корреляция – $r = -0,637$. Структура корневых систем линий в 2019 г. соответствовала основным показателям 2018 г. Так, линии ВК 101-1, ВК 101, СЛ₀₁ 3856 с типом А имеют корни на глубине от 0 до 13 см в количестве 35, 35, 34 штуки, а у линий СЛ₀₅ 4034, СЛ₀₉ 4750, СЛ₁₃ 2294 с типом В количество корней на глубине до 13 см – 30, 29, 22 штуки соответственно. По-видимому, увеличение корней первого порядка у линии СЛ₀₅ 4034 в 2019 г. способствовало повышению её устойчивости в сравнении с 2018 г. Увеличение корней первого порядка у линии СЛ₀₉ 4750 также способствовало снижению её полегамости на 49,8 %. У линии СЛ₁₃ 2294 в 2019 г. количество корней первого порядка составило 22 штуки против 23 штук в 2018 г. Однако, если в 2018 г. полегамость линии была 94,1 %, то в 2019 г. она составила 37,5 %.

Прослеживается определенная тенденция у линий, имеющих тип Б корневой системы, связанная со снижением количества корней 1-го порядка и приводящая к увеличению полегамости. Так, у линии ВК 905, имеющей 25 корней первого порядка, полегамость составляет 40 % и у линии СЛ₀₅ 4154, имеющей 19 штук – 43,7 %. Вместе с тем линии ВК 934 и ВК 935, имеющие 23 и 24 корня первого порядка соответственно, демонстрируют устойчивость к полеганию в 2019 г.

Заключение. В результате двухлетних исследований не было установлено достоверного влияния высоты растения, диаметра корзинки и толщины стебля на полегамость растений в период вегетации у 17 материнских линий подсолнечника. Обнаружены значительные различия в структуре корневых систем подсолнечника. Установлено три типа корневых систем у изученных генотипов, различающихся между собой развитием главного и боковых корней. Материнские линии подсолнечника, имеющие корневую систему типа А, демонстрируют большую устойчивость к полеганию по

сравнению с двумя другими типами. Выделена линия СЛ₁₂ 3660, имеющая тип корневой системы Б, обладающая максимальной устойчивостью к полеганию. Сочетание развития главного корня и количество боковых корней, закрепляющих растение в пахотном слое, обеспечивают устойчивость к полеганию при обильных осадках и ветре со скоростью 7,7 м/с. Закрепление растений в почве, вероятно, основано не только на морфологических особенностях, но и на физиологических процессах, протекающих внутри корневой системы растения, что требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. *Sadras V.O., Trapani N., Pereyra V.R., Pereira L. M., Quiroz F, Mortarini M.* Intraspecific competition and fungal diseases as sources of variation in sunflower yield // *Field Crops Research*. – 2000. – No 67. – P. 51–58.
2. *Кошкин Е.И.* К проблеме конкуренции культурных и сорных растений в агрофитоценозе // *Известия ТСХА*. – 2016. – Вып. 4. – С. 53–68.
3. *Meister R., Rajani M.S., Ruzicka D., Schachtman D.P.* Challenges of modifying root traits in crops for agriculture // *Trends in Plant Science*. [Электронный ресурс]. – 2014. – Vol. 19 (12). – P. 779–788. – Режим доступа: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1360138514002209?token=588B7594E40EAA662949122D16BA23FDE002B47E5200ED5C30C8338658ABC3E35587FD7ACF1CC153D03A929C47B8D933>.
4. *Comas L.H., Becker S.R., Von Mark V., Byrne P.F., Dierig D.A.* Root traits contributing to plant productivity under drought // *Plant Science*. – 2013. – Vol. 4. – Article 442. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00442/full>.
5. *Craine J.M.* Competition for nutrients and optimal root allocation // *Plant and Soil*. – 2006. – Vol. 285. – P. 171–185. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11104-006-9002-x.pdf>.
6. *Schwinning S., Ehleringer J.R.* Water use trade-offs and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystems // *Ecology*. – 2001. – Vol. 89. – P. 464–480. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://pdfs.semanticscholar.org/cfab/2aff331775cd6916b2df8579ed8986aa2000.pdf?_ga=2.19915192.1206294384.1600317096-1313141584.1590568406.
7. Биология, селекция и возделывание подсолнечника / Под общ. ред. В.М. Пенчукова. – М.: Агропромиздат, 1991. – 284 с.
8. *Weaver J.E.* Root Development of Field Crops // New York: McGraw Hill. – [Электронный ресурс]. – [Электронный ресурс]. – 1926. – Chapter XVI. – Режим доступа: <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/GoodBooks/Root%20Development%20of%20Field%20Crops.pdf>.
9. *Sposaro M., Chimenti C., Hall A., Berry P., Sterling M.* Modelling root and stem lodging in sunflower // *Field Crops Research*. – 2010. – Vol. 119. – Is. 1. – P. 125–134.
10. *Никитчин Д.И.* Подсолнечник. Биохимия, селекция, возделывание. – Полтава, Запорожская обл., 2002. – С. 30.
11. *Skoric D., Seiler G.J., Liu Z., Jan C., Miller J. F., Charlet L.D.* Sunflower Genetic and Breeding: International monography. – Serbian Academy of Sciences and Arts, Branch in Novi Sad, 2012. – P. 35–36.
12. *Андриенко О., Андриенко А., Жужа О.* Виды и причины полегания подсолнечника – как это предотвратить // Пропозиция. Спецвыпуск «Подсолнечник» простые решения сложных вопросов». – 2017. – С. 16–28.
13. *Manzur M.E., Hall A.J., Chimenti C.A.* Root lodging tolerance in *Helianthus annuus* (L.): associations with morphological and mechanical attributes of roots // *Plant and Soil*. – 2014. – Vol. 381. – Is. 1–2. – P. 71–83.
14. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

References

1. Sadras V.O., Trapani N., Pereyra V.R., Pereira L. M., Quiroz F, Mortarini M. Intra-specific competition and fungal diseases as sources of variation in sunflower yield // *Field Crops Research*. – 2000. – No 67. – P. 51–58.
2. Koshkin E.I. K probleme konkurentsii kul'turnykh i sornykh rasteniy v agrofitotsenoze // *Izvestiya TSKhA*. – 2016. – Vyp. 4. – S. 53–68.
3. Meister R., Rajani M.S., Ruzicka D., Schachtman D.P. Challenges of modifying root traits in crops for agriculture // *Trends in Plant Science*. – 2014. – Vol. 19 (12). – P. 779–788. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1360138514002209?token=588B7594E40EAA662949122D16BA23FDE002B47E5200ED5C30C8338658ABC3E35587FD7ACF1CC153D03A929C47B8D933>.
4. Comas L.H., Becker S.R., Von Mark V., Byrne P.F., Dierig D.A. Root traits contributing to plant productivity under drought // *Plant Science*. – 2013. – Vol. 4. – Article 442. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2013.00442/full>.
5. Craine J.M. Competition for nutrients and optimal root allocation // *Plant and Soil*. – 2006. – Vol. 285. – P. 171–185. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11104-006-9002-x.pdf>.
6. Schwinning S., Ehleringer J.R. Water use trade-offs and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystems // *Ecology*. – 2001. – Vol. 89. – P. 464–480. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: https://pdfs.semanticscholar.org/cfab/2aff331775cd6916b2df8579ed8986aa2000.pdf?_ga=2.19915192.1206294384.1600317096-1313141584.1590568406.
7. *Biologiya, selektsiya i vozdeluyvanie podsolnechnika* / Pod obshch. red. V.M. Penchukova. – M.: Agropromizdat, 1991. – 284 s.
8. Weaver J.E. Root Development of Field Crops // New York: McGraw Hill. – 1926. – Shapter XVI. – [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://soilandhealth.org/wp-content/uploads/GoodBooks/Root%20Development%20of%20Field%20Crops.pdf>.
9. Sposaro M., Chimenti C., Hall A., Berry P., Sterling M. Modelling root and stem lodging in sunflower // *Field Crops Research*. – 2010. – Vol. 119. – Is. 1. – P. 125–134.
10. Nikitchin D.I. *Podsolnechnik. Biokhimiya, selektsiya, vozdeluyvanie*. – Pologi, Zaporozhskaya obl., 2002. – S. 30.
11. Skoric D., Seiler G.J., Liu Z., Jan C., Miller J. F., Charlet L.D. *Sunflower Genetic and Breeding: International monography*. – Serbian Academy of Sciences and Arts, Branch in Novi Sad, 2012. – P. 35–36.
12. Andrienko O., Andrienko A., Zhuzha O. Vidy i prichiny poleganiya podsolnechnika – kak eto predotvratit' // *Propozitsiya. Spetsvypusk «Podsolnechnik» prostye resheniya slozhnykh voprosov*. – 2017. – S. 16–28.
13. Manzur M.E., Hall A.J., Chimenti C.A. Root lodging tolerance in *Helianthus annuus* (L.): associations with morphological and mechanical attributes of roots // *Plant and Soil*. – 2014. – Vol. 381. – Is. 1–2. – P. 71–83.
14. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta*. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 s.

Получено: 24.09.2020 Принято: 13.11.2020
Received: 24.09.2020 Accepted: 13.11.2020