Тип статьи: научная
УДК 631.331: 634.71
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-44-52

ОСОБЕННОСТЬ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОСАДКИ МАЛИНЫ САЖЕНЦАМИ С АСИММЕТРИЧНОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

Виктор Николаевич Ожерельев [1]***, Владимир Иванович Самусенко*** [2]***,***
Игорь Владимирович Кузьменко [3]
[1,2,3] *Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Россия*
[1] vicoz@bk.ru**,** https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2] samvi64@mail.ru, [3] kuzmenko_2007@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Виктор Николаевич Ожерельев, vicoz@bk.ru
Corresponding author: Viktor Ozherelev, vicoz@bk.ru

Реферат. *В статье дан анализ посадочных машин, применяемых в садоводстве и лесном хозяйстве. Для посадки малины предложен вариант максимально упрощенной машины с размещением высаживающего диска и опорных колес на одной оси, смонтированной на подшипниках скольжения. Приведены результаты исследования массива типичных саженцев на предмет формы и габаритных размеров их корневой системы. Установлено, что до половины исследованного массива посадочного материала обладает корневой системой, близкой к симметричному типу, а для 37,5% саженцев характерна двукратная и более степень ее асимметрии. Показан характер взаимодействия корневой системы саженца с засыпающей его почвой. При закладке саженца в рассадодержатель сориентированным наиболее развитой частью корней вперед по ходу вращения диска комбинированное вертикальное и продольное давление почвы, поступающей от загортачей, опрокидывает саженец, вследствие чего его стебель может принимать положение, близкое к горизонтальному. Если при закладке саженца в рассадодержатель сориентировать наиболее развитую часть его корневой системы в сторону, противоположную направлению вращения высаживающего диска, то, как правило, в конечном положении стебель саженца имеет наклон от вертикали на небольшой угол. Указано, что для малины пространственная ориентация стебля саженца не имеет практического значения, потому, что плодоносят вырастающие после закладки плантации корневые отпрыски, качество которых не связано с пространственной ориентацией исходного стебля. На протяжении 25 лет посадочная машина успешно использовалась в фермерском хозяйстве. Установлено, что после ее прохода дополнительной ручной оправки требуют порядка 5% высаженных растений.*

Ключевые слова: *малина, механизированная посадка, корневая система, пространственная ориентация стебля.*

FEATURE OF MECHANIZED PLANTING OF RASPBERRY SEEDLINGS WITH AN ASYMMETRICAL ROOT SYSTEM

Viktor Ozherelev [1]***, Vladimir Samusenko*** [2]***, Igor Kuzmenko*** [3]
[1,2,3] *Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russia*
[1] vicoz@bk.ru**,** https://orcid.org/0000-0002-2121-3481
[2] samvi64@mail.ru, [3] kuzmenko_2007@mail.ru

Abstract. *An analysis of planting machines used in horticulture and forestry is given in the article. A version of the most simplified machine with the placement of a planting disk and support wheels on one axis mounted on plain bearings is proposed for planting raspberries. The results of studying an array of typical seedlings for the shape and overall dimensions of their root system are given. It has been established that up to half of the studied array of planting material has a root system close to the symmetrical type, and 37.5% of seedlings are characterized by a twofold or more degree of asymmetry.*

The nature of the interaction between the root system of a seedling and the soil covering it is shown. The seedling is placed in the seedling holder with the most developed part of the roots forward in the direction of rotation of the disk. The combined vertical and longitudinal pressure of the soil coming from the harrows overturns the seedling, as a result of which its stem can take a position close to horizontal. If, when placing a seedling in a seedling holder, the most developed part of its root system is oriented in the direction opposite to the direction of rotation of the planting disk, then, as a rule, in the final position the stem of the seedling is inclined from the vertical at a small angle. It has been established that the spatial orientation of the stem of a raspberry seedling has no practical significance, because the root shoots that grow after planting are bearing fruit, the quality of which is not related to the spatial orientation of the original stem. The planting machine has been successfully used on the farm for 25 years. It has been established that after its passage, about 5% of planted plants require additional manual trimming.

Keywords: *raspberries, mechanized planting, root system, spatial orientation of the stem*.

Для цитирования: Ожерельев В.Н., Самусенко В.И., Кузьменко И.В. Особенность механизированной посадки малины саженцами с асимметричной корневой системой // Наука в центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 44-52. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-44-52.

For citation: Ozherelev V., Samusenko V., Kuzmenko I. Feature of mechanized planting of raspberry seedling with an asymmetrical root system. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 44-52. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-44-52.

Введение. Одной из наиболее сложных технологических операций в сельском хозяйстве с точки зрения возможности ее механизации является посадка плодовых и ягодных культур. К этой этой-же категории по степени сложности механизации следует отнести и посадку лесных культур. Проблема заключается в том, что посадочный материал (саженцы) имеет на порядок более сложную форму по сравнению с объектами размножения полевых культур. Кроме того, параметры формы саженцев варьируются в широких пределах.

Второй проблемой, свойственной посадке саженцев, является необходимость обеспечения их строгой пространственной ориентации (корневой системой вниз). Вследствие этого максимально усложняется возможность механизированного дозирования подачи саженцев из бункера или накопителя иного типа. Качественно справиться с указанной задачей может только искусственный интеллект, что (с точки зрения реального производства) пока экономически не оправдано.

В связи с этим, технология посадки и ее техническое обеспечение варьируются в широких пределах, начиная от ручной посадки растений в ямку или в специально нарезанную борозду [1 - 3]. С другой стороны, в лесном хозяйстве работают посадочные машины с максимальной степенью автоматизации процесса, оборудованные высаживающими аппаратами различного типа [4, 5]. При этом дальнейшее совершенствование процесса механизированной посадки некоторые авторы представляют в оптимизации кинематики движения захвата с саженцем, описывающим траекторию движения, например, в виде деформированной трохоиды [6].

Что касается садоводства, то (традиционно) использующиеся в этой отрасли посадочные машины базируются на высаживающих аппаратах роторного типа, снабженных захватами, открывающимися и закрывающимися в соответствующих фазах траектории их движения. По сути, конструкция аналогична высаживающему аппарату широко использовавшейся в 1960-1980-х годах рассадопосадочной машины СКН-6А. В частности, высаживающий аппарат такого типа был адаптирован к посадке саженцев в школку в машине СШН-3 [7].

Второй вариант машины предполагал ручную подачу саженца в открытую сошником борозду и его удержание рукой до засыпания корней загортачами. В 1980-е годы такая посадочная машина выпускалась под маркой МПС-1 [7]. В последнее время производству предлагаются модернизированные варианты машины под маркой «Дарья» или МПС-2М [8, 9]. Указанные машины отличаются тем, что, либо работают один сажальщик и один подавальщик, либо один подавальщик обеспечивает работу двух сажальщиков.

Что касается посадки земляники садовой, то все попытки создания машины полного цикла завершились, в конечном итоге, разработкой средства рационализации труда сажальщиков [9, 11].

Оборудование представляет собой навесную платформу с размещением на каждом высаживаемом ряду двух сажальщиков (один за одним, лицом навстречу друг другу). Первый раскладывает рассаду земляники по борозде, а второй вдавливает корни рукой в ее рыхлое дно, подготовленное фрезой, и присыпает их сухой почвой. Одновременно с этим осуществляется и полив растений.

Цель исследований. Специфика механизированной посадки малины заключается, во-первых, в наличии у ее саженца развитой корневой системы сложной формы с широко варьирующими размерными параметрами; во-вторых, малину приходится высаживать, как правило, на относительно небольшой площади, поэтому принятые в лесной отрасли и виноградарстве средства механизации слишком сложны, для того, чтобы механизация посадки с их помощью в небольшом ягодоводческом хозяйстве окупалась.

В связи с этим в крестьянском (фермерском) хозяйстве «Ягодное» (Выгоничский район Брянской области) была изготовлена предельно упрощенная по конструкции однорядная посадочная машина на базе секции от рассадопосадочной машины СКН-6А (рисунок 1). Для обеспечения максимального упрощения конструкции диск 7 высаживающего аппарата, заимствованный от рассадопосадочной машины СКН-6А, был закреплен на оси 16, которая смонтирована на раме 2 посредством подшипников скольжения 19. На концах той-же оси смонтированы опорные колеса 15, размер которых был подобран так, чтобы корневая система саженца 12(14) достигала в момент раскрытия зажима 17 дна борозды на глубине *h*. Этому условию соответствуют передние колеса шасси Т-16М.

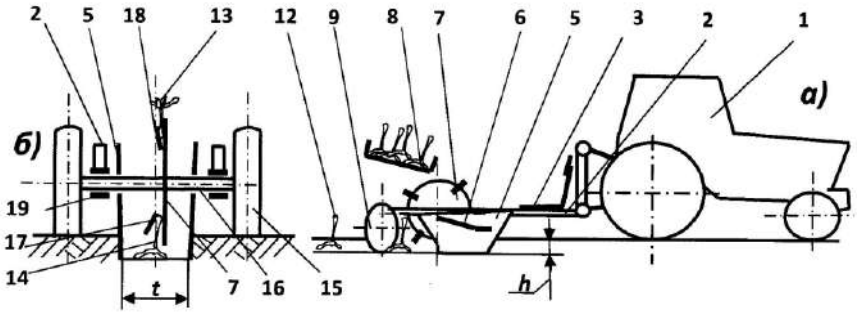

Рисунок 1 - Принципиальная схема машины для посадки малины:
а) – вид сбоку; *б*) – сечение по оси высаживающего аппарата
1 – трактор; 2 – рама; 3 – сиденье; 4 – устройство навесное; 5 – сошник; 6 – подножка; 7 – диск высаживающего аппарата; 8 – бункер с саженцами; 9 – загортачи; 10 – бункер прицепной; 1 – задний борт бункера; 12 – 14 - саженцы; 15 – колесо опорное; 16 – ось диска высаживающего аппарата; 17, 18 – зажимы; 19 – подшипник скольжения

Таким образом, из конструкции исключены все механические передачи и не использованы подшипники качения, что позволило достичь максимального удешевления машины и сделать механизированную посадку плантации экономически обоснованной. При этом была обеспечена высокая производительность труда. Так, 5,2 га были высажены в 1991 году экипажем из двух человек (механизатор и сажальщик) за четыре рабочих дня. С аналогичной эффективностью машина использовалась и при закладке новых плантаций в дальнейшем, на протяжение 25 лет [12, 13].

При эксплуатации посадочной машины присутствовали и некоторые недостатки. В частности, небольшая часть саженцев теряла устойчивость и полностью засыпалась почвой загортачами 9. Это отрицательно отражается на их приживаемости, поэтому требуется дополнительная ручная оправка посаженных растений. Очевидно, что поведение саженца 14 в момент освобождения захвата 17 зависит как от кинематики движения его корневой части, так и от ее формы и размерных параметров. Кроме того, имелись отдельные случаи неполного закрытия корневой системы почвой. В связи с этим потребовались дополнительные, более детальные исследования параметров типичного посадочного материала для формулирования на этой базе рекомендаций по улучшению использования посадочной машины и качества выполнения технологического процесса.

Материалы и методы. Объектом исследования являлась совокупность саженцев малины сорта Гусар. Предметом исследования являлись физико-механические свойства корневой системы саженцев, в частности, ее габариты. Измерению были подвергнуты 40 типичных саженцев. Результаты измерения были обработаны на ПК в программе *EXCEL*. Исходя из потребности анализа работы посадочной машины оценивали асимметричность корневой системы и высоту ее объема *h* (рисунок 2). Кроме того, измеряли ширину *t* совокупности корней, которой должна соответствовать ширина внутренней полости сошника 5 (рисунок 1б).

Асимметричность корневой системы *k* определяли по формуле

$$k = b_1 / b_2 \quad .$$

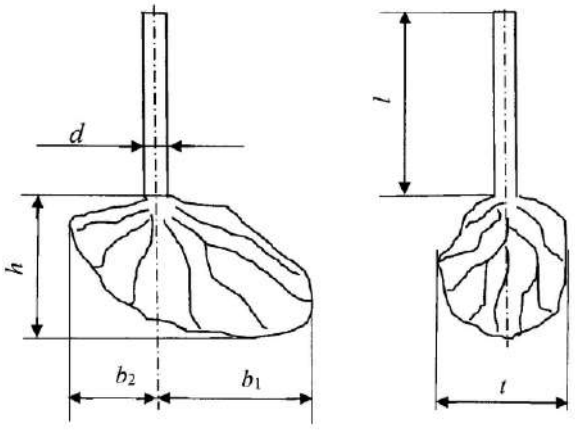

Рисунок 2 - Типичный саженец малины с корневой системой асимметричного типа

Результаты и их обсуждение. Распределение саженцев малины исследуемой выборки представлено на рисунок 3. Оно свидетельствует о том, что почти половина из них имеют практически симметричную корневую систему. При этом для 37,5 % выборки характерна степень асимметрии два и более ($k \geq 2$). Типичный представитель указанной группа изображен на рисунке 2 слева.

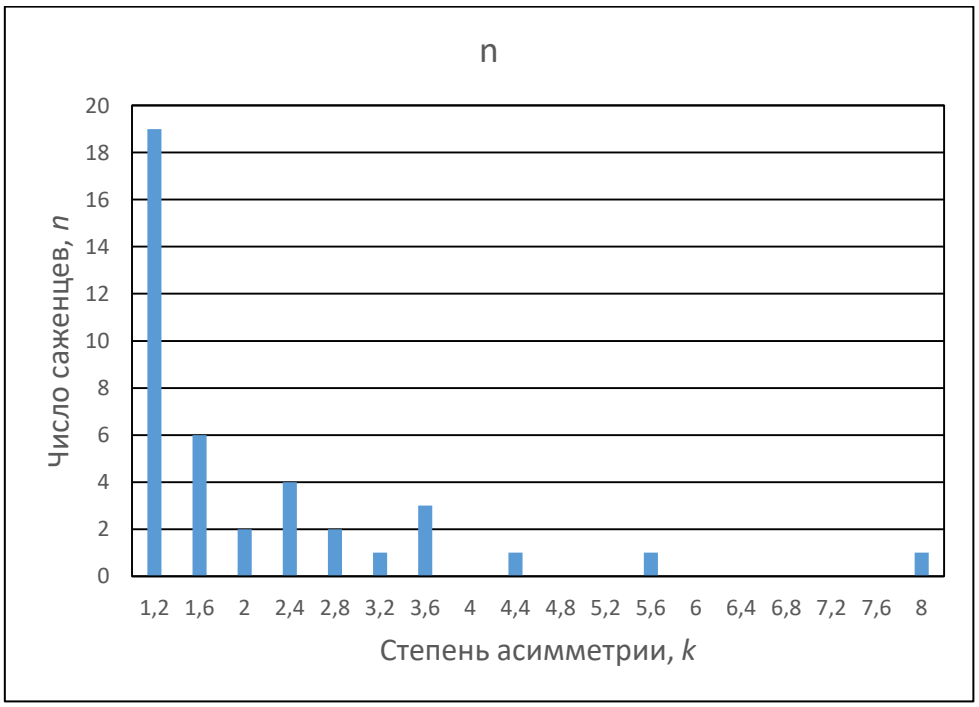

Рисунок 3 - Гистограмма распределения степени асимметрии корневой системы саженцев малины

Следует отметить, что асимметрия прослеживается не только по горизонтали, но и по вертикали. Действительно, высота h правой части корневой системы существенно больше, чем у левой. Такой объемный характер асимметричности обусловлен конкуренцией саженцев в питомнике за пространство для развития своей автономной корневой системы. В результате правая часть ее объема была, скорее всего, обращена к свободному пространству для развития корней, тогда как левая конкурировала либо с соседним саженцем, либо с маточным растением. Аналогичной причиной объясняется и характерное сжатие корневой системы в поперечном направлении, в связи с чем, $t < (b_1 + b_2)$.

Теория высаживающих аппаратов рассадопосадочных машин свидетельствует о том, что для обеспечения оптимального взаимодействия корня с засыпающей его почвой периферийная часть корневой системы саженца должна в абсолютном движении перемещаться по трохоиде, кинематический коэффициент λ которой больше 1 [14]. При этом, однако, корень рассматривается как материальная точка, что в случае с овощной рассадой вполне корректно. Когда речь идет о саженцах малины, то и габаритные размеры корневой системы, и ее упругие свойства не идут в сравнение с рассадой, например, капусты. В связи с этим целесообразно рассмотреть фазы посадки саженцев малины и выявить специфические особенности взаимодействия их корневой системы с почвой, засыпающей образованную сошником борозду. Характерные фазы процесса представлены на рисунке 4.

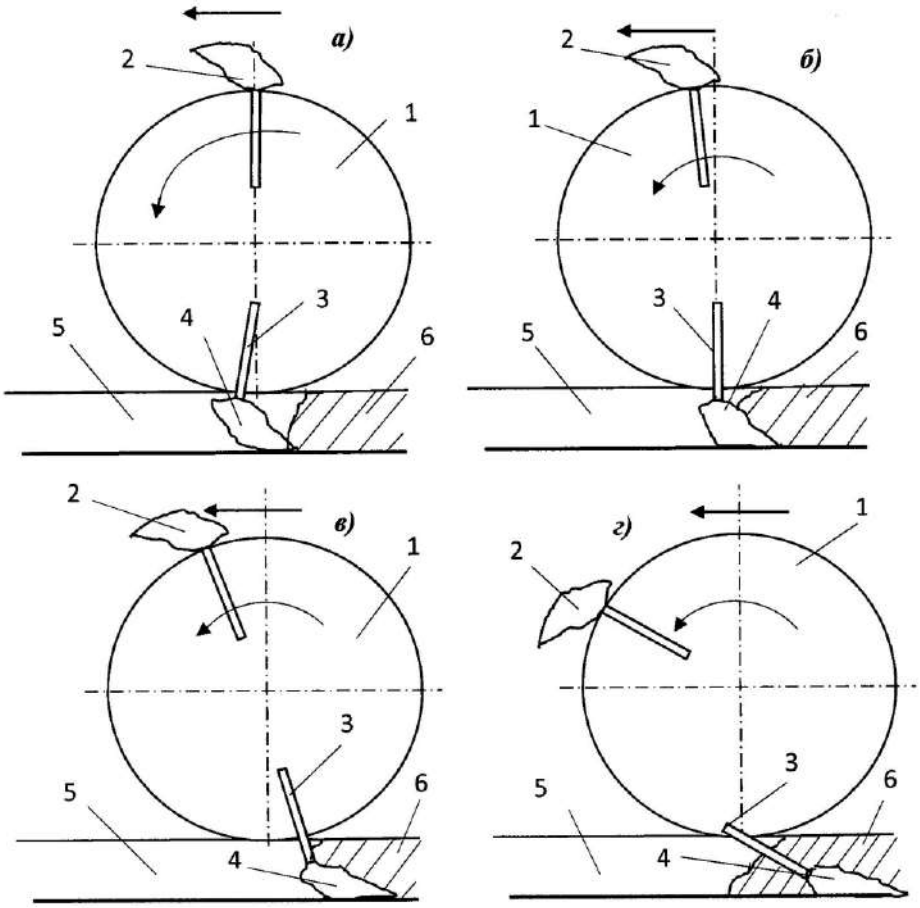

Рисунок 4 - Посадка саженцев малины дисковым высаживающим аппаратом:
а) – *г*) – фазы процесса;
1-высаживающий диск; 2 – саженец в зоне его подачи в высаживающий аппарат; 3 – стебель; 4 – корневая система; 5 – открытая борозда; 6 – засыпанная почвой борозда

Если саженец 2 установлен в соответствующем рассадодержателе диска 1 наиболее развитой частью корневой системы вперед по ходу вращения, то ее взаимодействие с засыпающей борозду 5 почвой 6 должно начаться несколько раньше, чем соответствующий стебель 3 достигнет вертикального положения, то есть диск повернется на 180^0 от исходного (верхнего) положения саженца (рисунок 4а). При дальнейшем перемещении правая часть корневой системы 4 начинает деформироваться в продольном направлении, упираясь в поступающую от загортачей почву 6, а стебель 3 принимает вертикальное положение или даже подвергается упругой деформации вплоть до момента открытия рассадодержателя (рисунок 4б). На следующем этапе процесса силы упругости стебля 3 и корневой системы 4, а также давление поступающей от загортачей почвы 6 опрокидывают саженец, поворачивая его против часовой стрелки, поскольку более слабые и короткие корни, характерные для левой части их объема, не способны обеспечить силовое противодействие, достаточное для компенсации давления поступающей от загортачей почвы (рисунок 4в).

Следует отметить, что поскольку саженцы малины имеют на порядок более обширную корневую систему, чем рассада овощных культур, то характерные для рассадопосадочных машин прикатывающие катки, обрушающие края борозды практически в поперечном направлении, на посадке малины мало эффективны. Вследствие их замены на более эффективные загортачи в виде сферических дисков генерируется существенная продольная сила и движение почвы 6 вперед по ходу машины, что еще больше стимулирует опрокидывание саженцев. В результате комбинированного (вертикального и продольного) воздействия на саженец почвы 6, засыпающей борозду 5, корневая система 4 подвергается дополнительной деформации, а стебель 3 может наклониться в положение, близкое к горизонтальному (рисунок 4г).

Иной характер процесса при закладке саженца 2 в рассадодержатель сориентированным более развитой частью корневой системы в сторону, противоположную направлению вращения высаживающего диска (рисунок 5). В этом случае корневая система 4 начинает контакт с наклонной поверхностью осыпающейся почвы 6 наименее развитой, как правило, наклонной частью и, по сути, надежно опирается на нее (рисунок 5а).

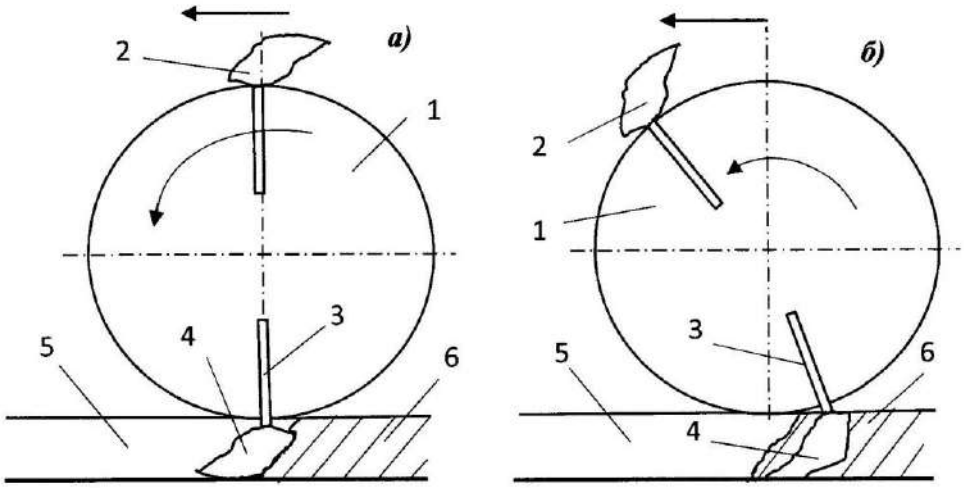

Рисунок 5 - Вариант посадки саженцев малины с асимметричной корневой системой:
а), *б*) – начальная и конечная фазы процесса, соответственно;
1-высаживающий диск; 2 – саженец в зоне его подачи в высаживающий аппарат; 3 – стебель;
4 – корневая система; 5 – открытая борозда; 6 – засыпанная почвой борозда

На очередных этапах процесса также, как и в предыдущем случае, происходит засыпание корневой системы 4 почвой 6, создающей вертикальное и продольное воздействие на саженец, который вследствие этого наклоняется вперед, но не опрокидывается, поскольку опирается левым краем наиболее развитой части корней в дно борозды 5 (рисунок 5б). Как правило, создаваемого

момента силы реакции дна борозды и упругости наиболее развитой части корней оказывается достаточно, чтобы компенсировать опрокидывающий момент, возникающий вследствие вертикального и продольного давления на корневую систему подаваемой загортачами почвы 6.

Что касается посадки саженцев с корневой системой, близкой к симметричному типу, то, как правило (при наличии ее полноценного объема), их опрокидывание не происходит. Многолетний опыт практического использования машины свидетельствует о том, что оправка требуется не более чем 5% саженцев. При этом специфика малины состоит в том, что урожай дают побеги замещения и корневые отпрыски, которые должны вырасти в следующем году. Что касается наклонной ориентации стеблей посадочного материала, то это не влияет ни на приживаемость растений, ни на их побегообразующую способность. То есть, в отличие от посадки лесных и плодовых культур пространственная ориентация стебля саженца малины не является значимым показателем качества посадки. Как правило, для нормального развития растения достаточно, чтобы над поверхностью почвы оставалась хотя бы одна почка стебля.

Выводы.

1. Около половины саженцев малины имеют корневую систему с минимальной степенью ее асимметрии. При этом 35,8% посадочного материала имеет более чем двукратную степень асимметрии корневой системы. При закладке в рассадодержатель саженцев последнего типа следует ориентировать их корневую систему более развитой частью в сторону, противоположную направлению вращения высаживающего диска.
2. При машинной посадке малины последующей ручной оправки требуют не более 5% саженцев. Наклонная ориентация стеблей у значительной части основного массива саженцев не влияет ни на их приживаемость, ни на побегообразующую способность.

Многолетний опыт практического использования посадочной машины в фермерском хозяйстве свидетельствует о том, что максимальное упрощение ее конструкции не отражается негативно на качестве выполнения технологического процесса. Машина окупаема даже на плантации малины площадью 3 – 4 га.

Список источников

1. Лазарев А.М. Малина: посадка, сорта и уход // Защита и карантин растений. 2022. № 10. С. 34-38.
2. Ибраев А.С. Техническое средство для устройства борозд под посадку плодово-ягодных культур // Агропродовольственная политика России. 2020. № 1-2. С. 17-20.
3. Способ закладки насаждений ягодных кустарников: пат. 2189711 Российская Федерация №2000105087/13 / Гурин А.Г., Яшин И.С., Гурина Е.Г.; заявл. 01.03.2000; опубл. 27.09.2002. Бюл. 27. 3с.
4. Драпалюк М.В., Стасюк В.В., Зеликов В.А. Новые конструкции универсальных лесопосадочных машин для посадки сеянцев с открытой и закрытой корневой системой // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 4 (44). С. 112-123.
5. Бырдин П.В., Мишуков А.А. Анализ лесопосадочных машин для посадки сеянцев в механизированных питомниках // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. 2018. Т. 1. С. 51-55.
6. Бухтояров Л.Д., Малюков С.В., Лысыч М.Н. Кинематика рабочего органа посадочной машины, предназначенного для посадки сеянцев с открытой и закрытой корневой системой // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 2 (77). С. 136-144.
7. Аниферов Ф.Е., Ерошенко Л.И., Теплинский И.З. Машины для садоводства. 2-е изд. перераб. и доп. Л.: Агропромиздат. Ленигр. отделение, 1990. 304с.
8. Посадочная машина (Дарья) [электронный ресурс] Код доступа https://www.proftehnika.ru/catalog/for-planting-darjya/ дата обращения 25.11.23.
9. Машина для посадки саженцев МПС-2М [электронный ресурс] Код доступа https://ru.sellbuy.zone/physical_product/539694-mashina-dlya-posadki-sazhencev-mps-2m.html (Дата обращения 25.11.23).

10. Платформа для ручной уборки урожая, посадки и ухода за низкорастущими культурами: пат. 2415550 Российская Федерация №2009130246/21 / Чухляев И.И., Утков Ю.А., Цымбал А.А., Бычков В.В., Филиппов Р.А.; заявл. 07.08.2009; опубл. 10.04.2011. Бюл. № 10. 4с.

11. Шевкун В.А., Глушанков Р.Е. Машины ФГБНУ ВСТИСП для посадки и защиты низкорослых садовых культур // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 4 (25). С. 180-184.

12. Ожерельев В.Н. Механизация посадки малины в крестьянском хозяйстве «Ягодное» // Садоводство и виноградарство. – 1992. - №8. – С. 13 – 15.

13. Ожерельев В.Н. Технологические процессы и средства механизации производства ягод малины [Текст]: дисс. … докт. с.-х. наук: 05.20.01 / Ожерельев Виктор Николаевич. – Брянск, 2001. 312с.

14. Лурье А.Б., Громбчевский А.А. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин. Л.: «Машиностроение» (Ленингр. отд-ие), 1977. 528с.

Reference

1. Lazarev A.M. Malina: planting, varieties and care // Zashhita i karantin rastenij. 2022. № 10. S. 34-38.

2. Ibraev A.S. Technical means for making furrows for planting fruit and berry crops // Agroprodovol`stvennaya politika Rossii. 2020. № 1-2. S. 17-20.

3. Method of planting berry bushes: pat. 2189711 Russian Federation №2000105087/13 / Gurin A.G., Yashin I.S., Gurina E.G.; zayavl. 01.03.2000; opubl. 27.09.2002. Byul. 27. 3s.

4. Drapalyuk M.V., Stasyuk V.V., Zelikov V.A. New designs of universal forest planting machines for planting seedlings with open and closed root systems // Lesotexnicheskij zhurnal. 2021. T. 11. № 4 (44). S. 112-123.

5. By`rdin P.V., Mishukov A.A. Analysis of forest planting machines for planting seedlings in mechanized nurseries // Trudy` Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvenny`e i inzhenerny`e nauki. 2018. T. 1. S. 51-55.

6. Buxtoyarov L.D., Malyukov S.V., Ly`sy`ch M.N. Kinematics of the working body of a planting machine, designed for planting seedlings with open and closed root systems // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023. T. 16. № 2 (77). S. 136-144.

7. Aniferov F.E., Eroshenko L.I., Teplinskij I.Z. Mashiny` dlya sadovodstva. 2-e izd. pererab. i dop. L.: Agropromizdat. Lenigr. otdelenie, 1990. 304s.

8. Landing machine (Daria) [website] Kod dostupa https://www.proftehnika.ru/catalog/for-planting-darjya/ data obrashheniya 25.11.23.

9. Machine for planting seedlings MPS-2M [website] Kod dostupa https://ru.sellbuy.zone/physical_product/539694-mashina-dlya-posadki-sazhencev-mps-2m.html Data obrashheniya 25.11.23.

10. Platform for manual harvesting, planting and care of low-growing crops: pat. 2415550 Rossijskaya Federaciya №2009130246/21 / Chuxlyaev I.I., Utkov Yu.A., Cymbal A.A., By`chkov V.V., Filippov R.A.; zayavl. 07.08.2009; opubl. 10.04.2011. Byul. № 10. 4s.

11. FGBNU VSTISP machines for planting and protecting low-growing garden crops // Innovacii v sel`skom xozyajstve. 2017. № 4 (25). S. 180-184.

12. Ozherel`ev V.N. Mechanization of raspberry planting at the Yagodnoye farm // Sadovodstvo i vinogradarstvo. – 1992. - №8. – S. 13 – 15.

13. Ozherel`ev V.N. Technological processes and means of mechanization of raspberry production [Text]: diss. … dokt. s.-x. nauk: 05.20.01 / Ozherel`ev Viktor Nikolaevich. – Bryansk, 2001. 312s.

14. Lur`e A.B., Grombchevskij A.A. Calculation and design of agricultural machines. L.: «Mashinostroenie» (Leningr. otd-ie), 1977. 528s.

Информация об авторах

В.Н. Ожерельев – доктор с.-х. наук, профессор; В.И. Самусенко – к.т.н,, доцент; И.В. Кузьменко – к.т.н., доцент.

Information about the authors

V. Ozherelyev - Doctor of Agricultural Sciences, professor; V. Samusenko – candidate of technical sciences; I. Kuzmenko – candidate of technical sciences.

Вклад авторов: В.Н. Ожерельев – конструирование машины, написание текста статьи; В.И. Самусенко – организация и выполнение эксперимента; И.В. Кузьменко – обработка результатов, участие в оформлении статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: V. Ozherelev - designing the machine, writing the text of the article; V. Samusenko – organization and execution of the experiment. I. Kuzmenko – processing of results, participation in the preparation of the article.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 12.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.12.2023