

4. Khuzina Roza Rifatovna, post-graduate student of the Department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Engineering Institute, Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Republic of Tatarstan, Kazan, st. Kremlin, 18; e-mail: khuzinaroza@yandex.ru, tel. 89172792806;

5. Nafikov Mansur Makarimovich, Master student of the Department of Biomedical Engineering and Innovation Management, Engineering Institute of the Kazan (Volga Region) Federal University, 420008, Republic of Tatarstan, Kazan, st. Kremlin, 18; e-mail: mansur.nafikov777@mail.ru, tel. 89534923448.

УДК 633.791

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПОЛОЖЕНИЕ КОРНЕЙ ХМЕЛЯ И МИНИМАЛЬНЫЙ ШАГ ПОСАДКИ РЯДА

П. А. Смирнов, Н. Н. Пушкаренко, А. В. Коротков

*Чувашский государственный аграрный университет,
428003, г. Чебоксары, Российская Федерация*

Аннотация: *Последние работы в мире по совершенствованию ультразвуковых методов просвечивания и создание приборов инфракрасного сканирования достаточно толстых слоев изучаемого материала привлекли внимание и агробиологов. К настоящему времени изучены корневые системы большинства зерновых и технических культур, и, таким образом, получены важнейшие знания о пространственном расположении корней этих растений. Следует заметить, что в некоторых случаях новые данные не совсем совпадают с традиционными, давно устоявшими знаниями. Из анализа строения всей корневой системы хмеля посредством инфракрасного сканирования определены распределения центральных корней радиусом 0,50 м и боковых корней радиусом 0,75...0,80 м, переплетенных с корнями соседнего растения. Построена идеализированная модель размещения хмеля по полурядам, и рассчитан минимальный шаг посадки в полурядах, равный 1,60 м. Показано, что растения, посаженные в шахматном порядке по полурядам, имеют преимущество по площади питания при сравнении с традиционным хмельником с рядной посадкой шагом 0,8...1,0 м. С учетом распространения корней хмеля только в продольном направлении, на традиционном хмельнике рядной посадки получается, что площадь питания каждого куста весьма ограничена. К тому же, площадь питания ограничивает использование тракторных агрегатов с увеличенной колеей в междурядье традиционного хмельника, поэтому предложена постоянная технологическая колея на минимальном размере в предложенном хмельнике. В работе определены причины техногенного уплотнения почвы хмельника, ограничивающее распространение корней.*

Ключевые слова: *инфракрасное сканирование, хмель, корневая система, распространение корней, шаг посадки.*

Введение. До недавнего времени пространственное распределение корневой системы хмеля (*Humulus lupulus L.*) в почвенном профиле, и в зависимости от этого схема расположения кустов в ряду являлись менее изученным вопросом. Однако последние работы в мире по совершенствованию ультразвуковых методов просвечивания и создание приборов инфракрасного сканирования достаточно толстых слоев изучаемого материала привлекло внимание агробиологов. К настоящему времени изучены корневые системы большинства зерновых и технических культур, и, таким образом, получены важнейшие знания о пространственном расположении корней этих растений. Следует заметить, что в некоторых случаях новые данные не совсем совпадают с традиционными, давно устоявшими мнениями.

С помощью анализа инфракрасных изображений были определены интенсивность роста и пространственное расположение корней хмеля (*Humulus lupulus L.*) в почвенном профиле, и в целом, морфология корневой системы [8, 17]. Ранние исследования по теме определили глубину распространения корней хмеля от 1,0 м для активных корней, но не исключается проникновение до 2,25 м [2, 6, 9, 18]. Максимальная глубина отмечалась до 3,25 м [1]. Аналогично поперечная ширина корневой системы хмеля варьировала от 0,6 м до 1,5 м. [2, 18]. Но исследования современными методами наглядно продемонстрировали, что представленные данные по наиболее урожайным зарубежным сортам хмеля немного отличаются от указанных данных.

Полученные научные данные может сыграть важную роль в разработке новых технологий обработки почвы, внесения удобрений и орошения, включая использование принципов точного ресурсосберегающего земледелия. Именно с такой задачей проведены исследования в период с 2015 по 2018 год по распределению корневой системы хмеля в Чешской республике. Были оценены двенадцать растений пяти чешских сортов хмеля [17]. Также параллельные исследования шли в ФРГ. В рамках конференции „Корни и ризосфера: экофизиология, содержание гумуса и управление почвой” в сентябре 2015 года в Вольнах (Бавария, ФРГ) были представлены подробные исследования корневой системы хмеля и кукурузы [4, 14].

Следует отметить аналогичные исследования по созданию математической модели корневой системы проведены Kučera J., Krofta K. (2009) [7], объемной модели Hameed I.A., Bochtis D.D., Sørensen C.G., Vougioukas S. (2012) [5], в системе телеметрии Brant V., Zábanský P., Škeříková M., Pivec J., Kroulík M., Procházka L. (2017) [3].

Graf T., Beck M., Mauermeier M., Ismann D., Portner J., Doleschel P., Schmidhalter U. разделили всю корневую систему хмеля сорта *Herkules'* на три части: 1) секцию с придаточными корнями; 2) диск, окружающий подвой с горизонтально растущими корнями; и 3) блок вертикальных корней, развивающихся вниз. Как горизонтальная, так и вертикальная часть перемежаются двумя типами корней: многолетними и свежими. Общий объем корневой почвы составил около $4,1 \text{ м}^3$, что указывает на большую потенциальную емкость доступной воды. Ими установлено, что площадь около $5,0 \text{ м}^2$ для каждого растения увлажняется дождем. Эти результаты могут способствовать принятию оптимальных управленческих решений [4].

Материалы и методы. В ходе выполнения научно-исследовательских работ по заказу МСХ РФ за 2017 год на тему: «Проведение научных исследований в области механизации хмелеводства и разработка комплекса агрегатов для возделывания хмеля» [11] и «Разработка энерго-, ресурсосберегающих технологий и машин для повышения эффективности возделывания хмеля» за 2018 год [12] творческим коллективом исполнителей были проведены почвенные разрезы на месте рядов и междурядий хмеля в хозяйствах ОПХ-колхоз «Ленинская искра» Ядринского и ООО «Агроресурсы» Вурнарского районов. Вопреки устоявшим мнениям о необходимости посевов сидератов или внесения навоза на междурядья хмеля, нами на указанном месте не были обнаружены корни хмеля на глубине плодородного слоя почвы. Таким образом, был сформулирован вывод о не целесообразности выращивания и запахивания сидератов, взамен предложено внесение органических и минеральных удобрений в субмеждурядье, образуемый двумя полуrowдами вместо традиционного ряда [11]. Соответственно изготовленные машины для хмелеводства ориентированы именно на локальное прикорневое внесение минеральных удобрений. Что касается органических удобрений, то рекомендовано внесение на глубину $0,4...0,6 \text{ м}$ при закладке хмельника, в последующие годы предложено использовать жидкие фракции навоза на субмеждурядье [12]. Причем вносятся жидкие фракции осенью после уборки урожая или ранней весной до весеннего боронования. В связи с приоритетом направления использования навоза (биологизация растениеводства) изучена возможность весеннего внесения навоза по утренним заморозкам, когда несущая способность суточного мерзлого слоя почвы способна выдержать тракторный агрегат. Также изучался использование сжиженного бесподстилочного навоза, поскольку в перспективе и в настоящее время именно бесподстилочное содержание крупного рогатого скота самое экономичное и рациональное.

По результатам исследования были предложены перспективные технологии выращивания хмеля и определены зоны уплотнения, интенсивного и не эффективного использования пространства хмельника. Соответственно, определены меры по увеличению зоны интенсивного использования хмельника (рисунок 1).

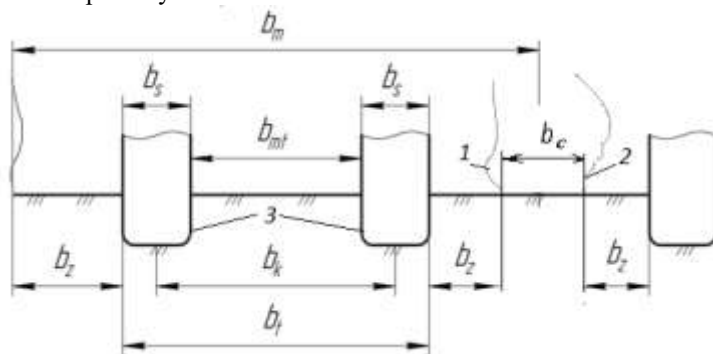


Рис. 1. Схема исходных данных для расчета эффективного использования междурядья: 1 и 2 – полуrowды хмеля по новой технологии, 3 – технологическая колея трактора (обозначения в тексте) [15, 16]

На рисунке 1 следующие обозначения: 1) колея трактора по задним колесам (гусенице) - b_z ; 1) ширина междурядья хмельника - b_m ; 2) ширина субмеждурядья - b_c ; 3) ширина шины заднего колеса, гусеницы (следа) - b_s ; 4) минимальная колея трактора - b_k ; 5) ширина защитной зоны растения - b_z ; 6) ширина межколесной зоны под трактором $b_{mt}=b_k-b_s$ [15, 16]. Определена зона интенсивного использования как сумма (b_c+2b_z) ; зона уплотнения - b_s и зона не эффективного использования $b_{mt}=b_k-b_s$.

В данном исследовании **цель** сформулирована следующая: посредством анализа последних зарубежных и собственных исследований корневых систем хмеля проектировать размещение в зоне интенсивного использования хмельника максимального количества корней (до 85%) и определить рациональный шаг посадки кустов в рядах.

Результаты исследований и обсуждение. Зарубежными исследованиями на основе инфракрасного послыонного сканирования получены следующие результаты. На рисунке 2 показаны последовательность операций: подготовка – ручное освобождение корней от почвы (А), реконструкция корневой системы в пространстве (В), инфракрасное сканирование (С) и визуализация в черно-белом цвете (D) [17].

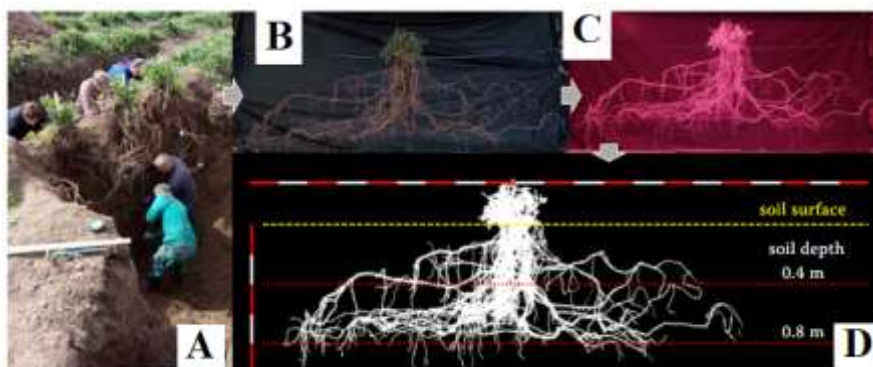


Рис. 2. Последовательность (подготовка, реконструкция и визуализация) изображения корневой системы хмеля (продольный разрез на глубину 1,0 м) [17]

Анализ рисунка 3 показывает, что основным направлением распространения корней хмеля на традиционном хмельнике является продольное – до 2,25 м (А и С). В продольном направлении корни представлены только на ширине 0,80 м (В и С) [17]. Очевидно, препятствием распространению являются следы колес тракторных агрегатов после прохождения по междурядью. Всего за вегетационный период в среднем по междурядью различные агрегаты проходят до 14 раз [13]. Наши измерения твердости, и в частности, объемной массы почвы на хмельниках предприятия «Агрохмель» Вурнарского района Чувашской республики составляют 1,39...1,47 г/см³ [11].

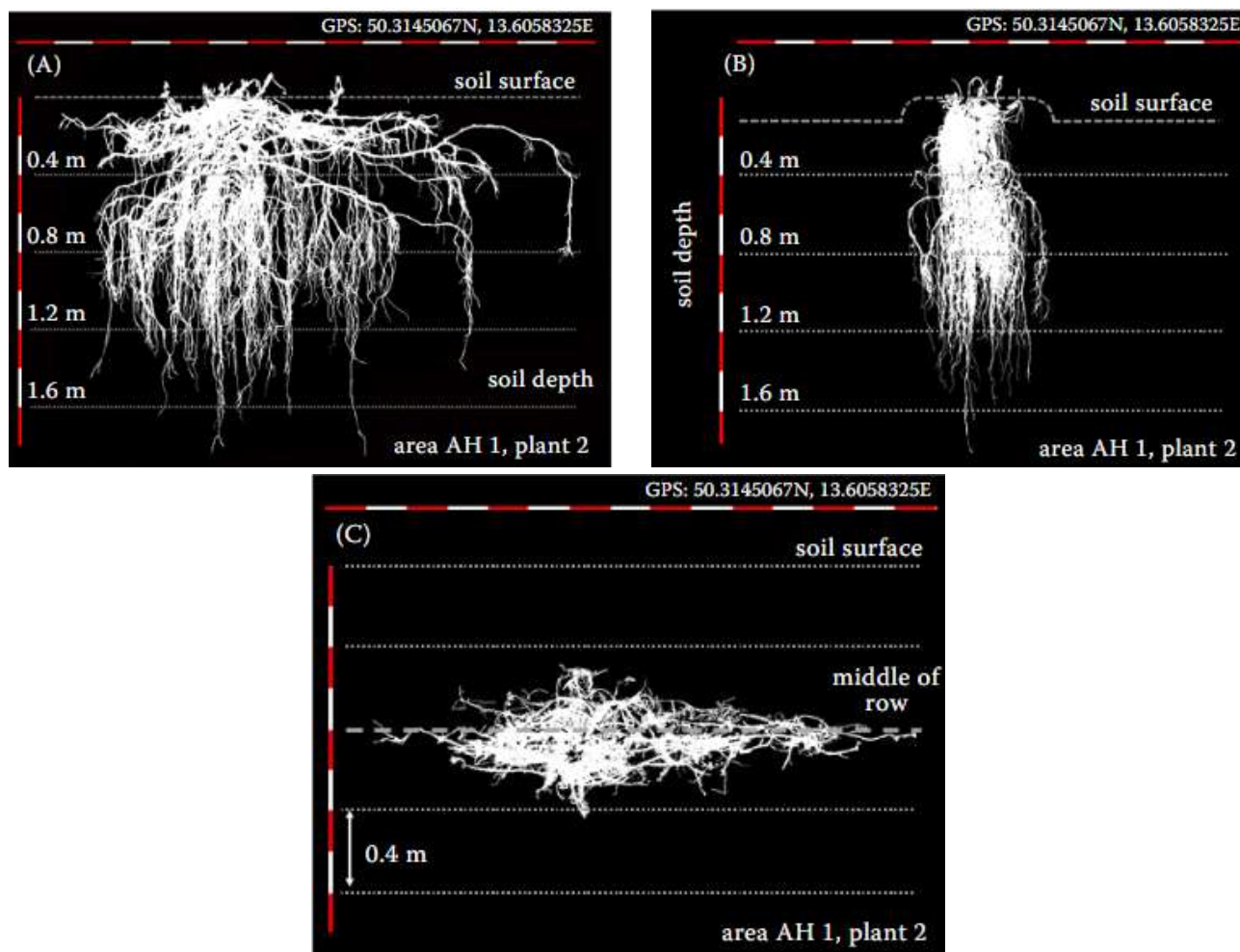


Рис. 3. Графическое представление корня хмеля после переноса инфракрасного изображения в черно-белый формат. (А) вид сбоку (продольное изображение); (В) вид ряда спереди (поперечное изображение); (С) вид сверху [17]

Эти данные по следу гусеничного трактора Т-54В в агрегате с прицепным опрыскивателем ОПВ. Но подавляющее большинство производителей хмеля эксплуатируют колесные трактора тягового класса 14 кН, которые уплотняют почвы глубже и больше [11]. Предельное уплотнение для развития корней хмеля по Н.А. Александрову и А.Р. Рупошеву составляет 1,50 ... 1,60 г/см³ [2].

На наш взгляд, причины повышенного уплотнения междурядья хмеля следующие:

- а) тракторист, ведущий агрегат в междурядье, визуально ведет по центру междурядья, где четкие ориентиры отсутствуют;
- б) трактор на междурядье хмельника используется на широкой колее, поскольку трактор большей частью эксплуатируется именно на других работах, где не важно, какой у него размер колеи;
- в) к сожалению, не исключается любая тракторная обработка в хмельнике при повышенной влажности почвы;
- в) отсутствие специальных узкоколейных тракторов.

Уменьшить уплотнение возможно, если внедрить в междурядье технологическую колею на минимальном размере ($b_k=1,40$ м для МТЗ; $b_k=1,20$ м (ЛТЗ, «Агромаш»); 25А; $b_k=1,10$ м (Т-25А; $b_k=0,98$ м (Т-54В) и использовать только трактор и сельскохозяйственные машины на этой установленной колее [15, 16]. У большинства традиционных сельскохозяйственных машин раннего выпуска колея совпадает с фиксированной колесей трактора, агрегирующего машину. Но проектировщики и производители машины, предназначенные для обслуживания хмельников, не всегда придерживались этого важного принципа [11].

Публикации в зарубежной литературе ограниченность распространения корней хмеля в поперечном направлении по отношению к ряду связывают с междурядной обработкой. Особенно отмечают регулярное глубокое рыхление, которое проводится в течение всего срока жизни хмельника на глубину от 0,3 м до 0,6 м, которое разрушает корневые системы. Также во время вегетации для борьбы с сорняками проводится рыхление на не большую глубину, уничтожающее поверхностные горизонтальные корни. Об этом аспекте в ограничении развития боковых корней в рядах хмельника сообщает Neve R.A.[10].

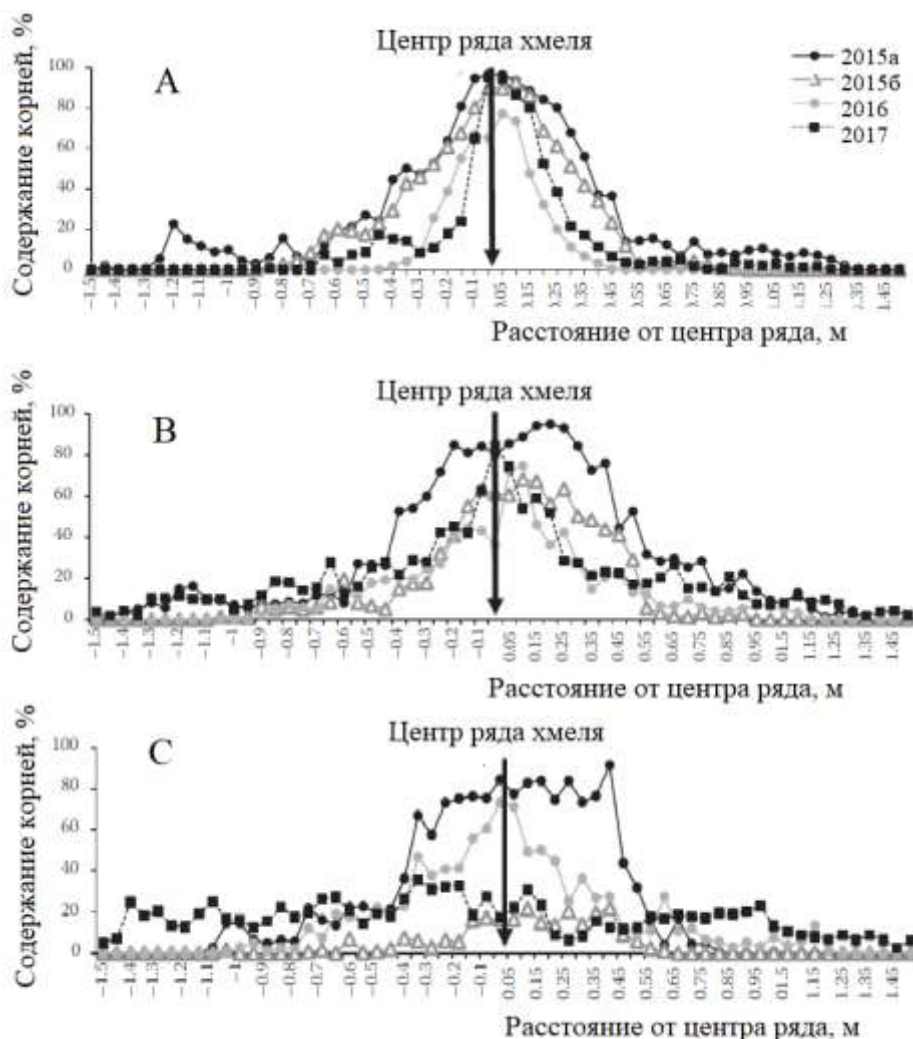


Рис. 4. Средние значения плотности расположения корней хмеля на глубине почвы 0–0,30 (А), 0,30–0,60 (В) и 0,60–0,90 м (С) [17]

На рисунке 4 обобщенные кривые отображают значение плотности корней по годам исследования 2015-2017 гг. Различия кривых по годам исследования показывает обеспеченность растения, прежде всего, природной почвенной влагой.

Из рисунка выделяется центральная зона шириной 1,0 м, где расположено основная масса корней до 80%, и боковые - 1,5 м, где расположено масса корней до 85...90%, и дополнительно в основной массе второстепенные, которые переплетены с аналогичными корнями соседнего куста. Аналогично результаты исследования по площади питания проведены Graf T., Beck M., Mauermeier M., Ismann D., Portner J., Doleschel P., Schmidhalter U. [4].

Согласно последней гипотезе составляем идеализированную модель ряда хмеля на хмельнике (рисунок 5), считая, что:

- 1) корни кустов имеют в горизонтальном сечении круглую форму;
- 2) радиусы $R_1 \rightarrow const$ и $R_2 \rightarrow const$, то есть для всех кустов площадь питания приблизительно одинакова.

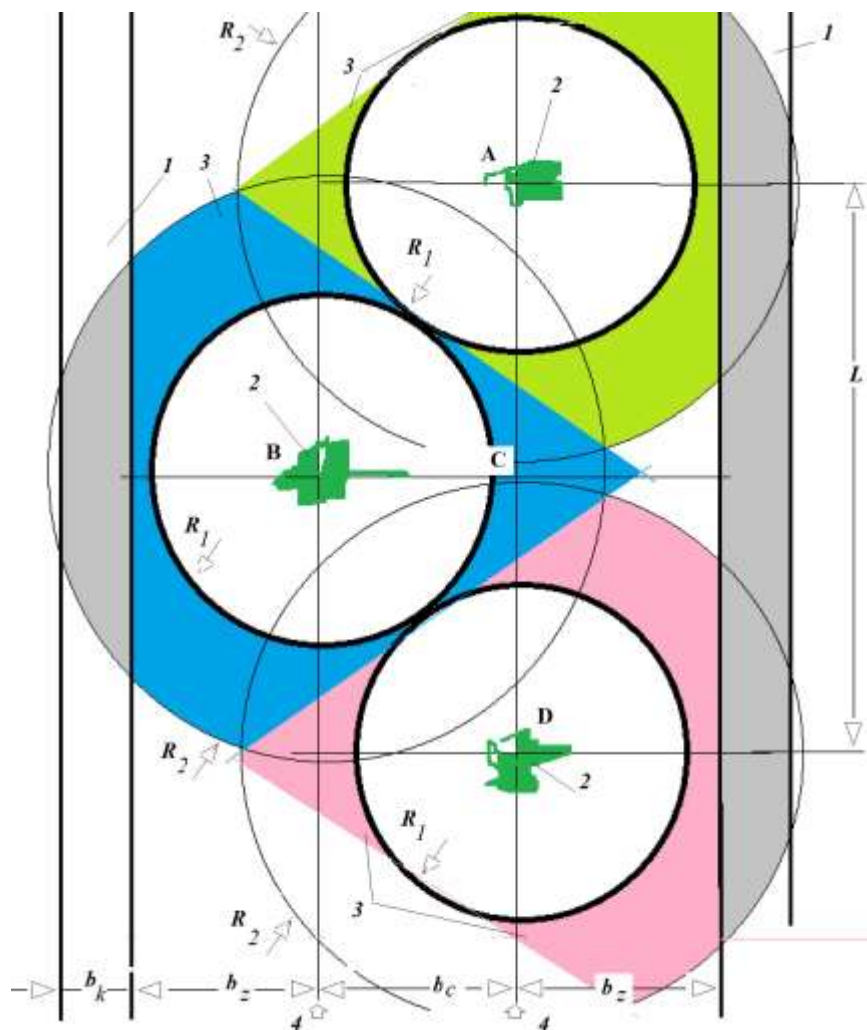


Рис. 5. Зоны питания куста хмеля в полурядах: 1- технологическая колея; 2- кусты хмеля; 3- потенциальная область питания отдельного куста; 4 – левый и правый полуряды хмеля; L - шаг посадки в полуряде; R_1 и R_2 - радиусы залегания центральных и основной массы корней; b_k – ширина следа колеса; b_z - ширина защитной зоны; b_c – ширина субьеждурядья

Численные значения параметров хмельника и усредненной корневой системы хмеля на идеализированной модели следующие: $b_k=0,23$ м; $b_z=0,55$ м; $b_c=0,60$ м; $R_1=0,5$ м и $R_2=0,75$ м. Из прямоугольного треугольника ABC (рисунок 5) можно записать следующее равенство и получить формулу для расчета шага посадки L :

$$b_c^2 + \left(\frac{L}{2}\right)^2 = (2R)^2;$$

$$L = 2\sqrt{(4R^2 - b_c^2)}.$$

При решении представленными выше параметрами: $b_k=0,23$ м; $b_z=0,55$ м; $b_c=0,60$ м; $R_1=0,5$ м и $R_2=0,75$ м получен минимальный шаг посадки $L=1,6$ м. При подстановке в полученное выражение ширины субмеждурядья $b_c=0,90$ м и постоянстве остальных составляющих компонентов выражения получен шаг посадки, равный 0,88 м. Но при этом на плане происходит наложение площадей центральных корневищ хмеля по $R_1=0,5$ м, что противоречит условиям идеальной модели. Поэтому для указанного междурядья предложен минимальный шаг посадки не менее 1,0 м, при этом наложения центральных корневищ не будет.

Выводы: Из анализа строения всей корневой системы хмеля посредством инфракрасного сканирования определены распределения центральных корневых радиусом 0,50 м и боковых корневых радиусом 0,75...0,80 м, переплетенных с корнями смежного в полуряде растения. Построена идеализированная модель размещения хмеля по полуриядам и рассчитан минимальный шаг посадки в полурияде с субмеждурядьем 0,60 м, равный 1,60 м.

Таким образом, растения, посаженные в шахматном порядке по полуриядам, имеют преимущество по площади питания при сравнении с традиционным хмельником с рядной посадкой шагом 0,8...1,0 м. С учетом распространения корней хмеля только в продольном направлении на традиционном хмельнике рядной посадки получается, что площадь питания каждого куста весьма ограничена. К тому же ограничивает площадь питания использование тракторных агрегатов с увеличенной колесей в междурядье традиционного хмельника, поэтому предложена постоянная технологическая колея на минимальном размере.

Литература

1. Александров, Н. А. Агробиологические основы возделывания и производства хмеля и хмелепродуктов в Российской Федерации / Н. А. Александров, А. Р. Рупошев, под. ред. Н. А. Александрова. – Москва : «Новое время», 2008. – 648 с.
2. Александров, Н. А. Хмель / Н. А. Александров, М. И. Крылова, А. Р. Рупошев. – Москва : Росагропромиздат, 1991. – 128 с.
3. Милоста, Г. М. Агробиологические основы выращивания хмеля в Республике Беларусь : монография / Г. М. Милоста, В. В. Лапа. – Гродно : ГГАУ, 2010. – 286 с.
4. Отчет о выполнении тематического плана-задания на выполнение научно-исследовательских работ по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2017 году на тему: «Проведение научных исследований в области механизации хмелеводства и разработка комплекса агрегатов для возделывания хмеля» / П. А. Смирнов – науч. руководитель, Н. Н. Пушкаренко, Р. В. Андреев [и др.]. – Чебоксары: ЧГСХА, 2018. – 195 с.
5. Отчет о выполнении тематического плана-задания на выполнение научно-исследовательских работ по заказу Минсельхоза России за счет средств федерального бюджета в 2018 году на тему: «Разработка энерго-, ресурсосберегающих технологий и машин для повышения эффективности возделывания хмеля» / П. А. Смирнов – науч. руководитель, Р. В. Андреев, В. П. Мазяров [и др.]. – Чебоксары : ЧГСХА, 2019. – 161 с.
6. Перспективная ресурсосберегающая технология производства хмеля: метод. Рекомендации. – Москва : ФГНУ «Росиформагротех», 2008. – 52 с.
7. Смирнов, П. А. Результаты исследования уплотнения движителями тракторов междурядья хмельника / П. А. Смирнов, Н. Н. Пушкаренко, А. П. Акимов А.П. [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13, № 2 (49). – С. 131-137.
8. Brant V., Zábanský P., Škeříková M., Pivec J., Kroulík M., Procházka L. (2017): Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops. *Soil and Water Research*, 12: 39–50.
9. Graf T., Beck M., Mauermeier M., Ismann D., Portner J., Doleschel P., Schmidhalter U. (2014): *Humulus lupulus* – the hidden half. *Brewing Science*, 67: 161–166.
10. Hameed I.A., Bochtis D.D., Sørensen C.G., Vougioukas S. (2012): An object-oriented model for simulating agricultural in-field machinery activities. *Computers and Electronics in Agriculture*, 81: 24–32.
11. Hops a guide for new growers Kevin Dodds / Development Officer – Temperate Fruits NSW Department of Primary industries Kevin Dodds, Development Officer Temperate Fruits // 64 Fitzroy Street TUMUT NSW 2720 Phone 02 6941 1400 <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1676323200&tld=ru&lang=en&name=hops-guide-for-new-growers>
12. Kučera J., Krofta K. (2009): Mathematical model for prediction of yield and alpha acid contents from meteorological data for Saaz aroma variety. *ISHS Acta Horticulturae*, 848: 131–140.
13. Lobet and Xavier Draye* Novel scanning procedure enabling the vectorization of entire rhizotron-grown root systems Guillaume / Lobet and Draye *Plant Methods* 2013, 9:1 Page 0-10 <http://www.plantmethods.com/content/9/1/1>.
14. Neve, R. A. Hops. Heidelberg, Springer Netherlands, 266. ISBN 978-94-011-3106-3.
15. Smirnov, P. A. INFLUENCE OF TYPES OF TRACTOR RUNNING GEARS ON THE VALUE OF HOP GARDEN ROW SPACING COMPACTION / Smirnov P.A., Makushev A.E., Kazakov Y.F., / *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2019. Т. 57. № 1. P. 19-28.

16. Sobotik M., Graf T., Himmelbauer M., Bodner G., Bohner A., Loiskandl W. (2018): In-situ root system characterization of hop and maize via soil profile excavation. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment, 69: 121–130.
17. Václav Brant. Karel Krofta. Petr Zábanský. Pavel Prochazka. Jaroslav Pokorný / Distribution of root system of hop plants in hop gardens with regular rows cultivation // Plant, Soil and Environment 66(No. 7), 2020, p. 317-326.
18. Václav Rybáček Hop Production, 16 / Developments in Crop Science (Volume 16), Elsevier Science, Amsterdam, 1991. P. 258. ISSN 0378-519X.

Сведения об авторах

1. **Смирнов Петр Алексеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: smirnov_p_a@mail.ru, тел. 8-960-310-19-09
2. **Пушкарёнок Николай Николаевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail:
3. **Коротков Анатолий Васильевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail:

SPATIAL ARRANGEMENT OF HOP ROOTS AND THE MINIMUM PLANTING STEP OF ROW

P. A. Smirnov, N. N. Pushkarenko, A. V. Korotkov

*Chuvash State Agrarian University,
428003, Cheboksary, Russian Federation*

Abstract: Recent works in the world on the improvement of ultrasonic methods of transillumination and the creation of infrared scanning devices for sufficiently thick layers of the studied material have also attracted the attention of agrobiologists. To date, the root systems of most grain and industrial crops have been studied, and thus the most important knowledge about the spatial arrangement of the roots of these plants has been obtained. It should be noted that in some cases the new data do not quite coincide with the traditional, long-established knowledge. From the analysis of the structure of the entire hop root system by means of infrared scanning, the distributions of central roots with a radius of 0.50 m and lateral roots with a radius of 0.75 ... 0.80 m, intertwined with the roots of a neighboring plant, were determined. An idealized model of hop placement in half-rows was built, and the minimum planting step in half-rows was calculated, which was 1.60 m. 8 ... 1.0 m. It is shown that plants planted in a staggered order in half rows have an advantage in the area of nutrition when compared with traditional hop with row planting in increments of 0.8 ... 1.0. Taking into account the spread of hop roots only in the longitudinal direction, on a traditional row-planted hop plant, it turns out that the feeding area of each bush is very limited. In addition, the feeding area limits the use of tractor units with an increased track between the rows of a traditional hop farm, therefore, a constant technological track at a minimum size in the proposed hop mill is proposed. The paper identifies the reasons for the technogenic compaction of the soil of the hop plant, which limits the spread of roots, the main of which is the lack of a special narrow-gauge tractor.

Key words: infrared scanning, hops, root system, root distribution, planting step.

References

1. Aleksandrov, N. A. Agrobiologicheskie osnovy vozdeleyvaniya i proizvodstva hmelya i hmele-produktov v Rossijskoj Federacii / N. A. Aleksandrov, A. R. Ruposhev, pod. red. N. A. Aleksandrova. – Moskva : «Novoe vremya», 2008. – 648 s.
2. Aleksandrov, N. A. Hmel' / N. A. Aleksandrov, M. I. Krylova, A. R. Ruposhev. – Moskva : Ros-agropromizdat, 1991. – 128 s.
3. Milosta, G. M. Agrobiologicheskie osnovy vyrashchivaniya hmelya v Respublike Belarus' : mono-grafiya / G. M. Milosta, V. V. Lapa. – Grodno : GGAU, 2010. – 286 s.
4. Otchet o vypolnenii tematicheskogo plana-zadaniya na vypolnenie nauchno-issledovatel'skih rabot po zakazu Minsel'hoza Rossii za schet sredstv federal'nogo byudzheta v 2017 godu na temu: «Provedenie nauchnyh issledovaniy v oblasti mekhanizacii hmelevodstva i razrabotka kompleksa agregatov dlya vozdeleyvaniya hmelya» / P. A. Smirnov – nauch. rukovoditel', N. N. Pushkarenko, R. V. Andreev [i dr.]. – CHEBOKSARY: CHGSKHA, 2018. – 195 s.
5. Otchet o vypolnenii tematicheskogo plana-zadaniya na vypolnenie nauchno-issledovatel'skih rabot po zakazu Minsel'hoza Rossii za schet sredstv federal'nogo byudzheta v 2018 godu na temu: «Razrabotka energo-, resursosberegayushchih tekhnologij i mashin dlya povysheniya effektivnosti vozdeleyvaniya hmelya» / P. A. Smirnov – nauch. rukovoditel', R. V. Andreev, V. P. Mazyarov [i dr.]. – CHEBOKSARY : CHGSKHA, 2019. – 161 s.

6. Perspektivnaya resursosberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva hmelya: metod. Rekomendacii. – Moskva : FGNU «Rosiformagrotekh», 2008. – 52 s.
7. Smirnov, P. A. Rezul'taty issledovaniya uplotneniya dvizhitelyami traktorov mezhduryad'ya hmel'nika / P. A. Smirnov, N. N. Pushkarenko, A. P. Akimov A.P. [i dr.] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – T. 13, № 2 (49). – S. 131-137.
8. Brant V., Zábanský P., Škeříková M., Pivec J., Kroulík M., Procházka L. (2017): Effect of row width on splash erosion and throughfall in silage maize crops. Soil and Water Research, 12: 39–50.
9. Graf T., Beck M., Mauermeier M., Ismann D., Portner J., Doleschel P., Schmidhalter U. (2014): Humulus lupulus – the hidden half. Brewing Science, 67: 161–166.
10. Hameed I.A., Bochtis D.D., Sørensen C.G., Vougioukas S. (2012): An object-oriented model for simulating agricultural in-field machinery activities. Computers and Electronics in Agriculture, 81: 24–32.
11. Hops a guide for new growers Kevin Dodds / Development Officer – Temperate Fruits NSW Department of Primary industries Kevin Dodds, Development Officer Temperate Fruits // 64 Fitzroy Street TUMUT NSW 2720 Phone 02 6941 1400 <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1676323200&tld=ru&lang=en&name=hops-guide-for-new-growers>
12. Kučera J., Krofta K. (2009): Mathematical model for prediction of yield and alpha acid contents from meteorological data for Saaz aroma variety. ISHS Acta Horticulturae, 848: 131–140.
13. Lobet and Xavier Draye* Novel scanning procedure enabling the vectorization of entire rhizotron-grown root systems Guillaume / Lobet and Draye Plant Methods 2013, 9:1 Page 0-10 <http://www.plantmethods.com/content/9/1/1>.
14. Neve, R. A. Hops. Heidelberg, Springer Netherlands, 266. ISBN 978-94-011-3106-3.
15. Smirnov, P. A. INFLUENCE OF TYPES OF TRACTOR RUNNING GEARS ON THE VALUE OF HOP GARDEN ROW SPACING COMPACTION / Smirnov P.A., Makushev A.E., Kazakov Y.F., / INMATEH - Agricultural Engineering. 2019. T. 57. № 1. R. 19-28.
16. Sobotik M., Graf T., Himmelbauer M., Bodner G., Bohner A., Loiskandl W. (2018): In-situ root system characterization of hop and maize via soil profile excavation. Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment, 69: 121–130.
17. Václav Brant. Karel Krofta. Karel Krofta, Petr Zábanský. Pavel Procházka. Jaroslav Pokorný / Distribution of root system of hop plants in hop gardens with regular rows cultivation // Plant, Soil and Environment 66(No. 7), 2020, r. 317-326.
18. Václav Rybáček Hop Production, 16 / Developments in Crop Science (Volume 16), Elsevier Science, Amsterdam, 1991. R. 258. ISSN 0378-519X.

Information about authors

1. **Smirnov Pyotr Alekseevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29, Chuvash Republic, Russia; e-mail: smirnov_p_a@mail.ru, tel. 8-960-310-19-09;
2. **Pushkarenko Nikolay Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29, Chuvash Republic, Russia;
3. **Korotkov Anatoly Vasilievich**, Candidate of Agricultural Sciences, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29, Chuvash Republic, Russia.

УДК 631.559.2, 004.896, 519.237

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЛОЩАДИ ЛИСТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ СВЕКЛЫ: СРАВНЕНИЕ МЕТОДА МАШИННОГО ЗРЕНИЯ И РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛЮ С ЗАДАНЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ РЕГРЕССИИ

А. В. Степанов, И. П. Елисеев, А. В. Андреев, Н. Н. Белова, О. В. Васильева
Чувашский государственный аграрный университет
 428003, Чебоксары, Российская Федерация

Аннотация. Исследование, описанное в статье, имеет практическое значение для сельскохозяйственной индустрии, поскольку площадь листовой поверхности является важным показателем для оценки роста и развития растений, а также для определения необходимых объемов удобрений и органических средств защиты растений. Внедрение алгоритмов машинного обучения в агрономию и практику проведения сельскохозяйственных работ позволяет решить нехватку специалистов в отрасли, увеличивает уровень автоматизации объектов сельского хозяйства. Так, в отрасли возможна замена времязатратных