
ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПОДСОЛНЕЧНИКА В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ

**Кузыченко Юрий Алексеевич
Стукалов Роман Сергеевич
Гаджиумаров Расул Гаджиумарович**

Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр

Интенсивность развития корневых систем растений в период вегетации является индикатором, характеризующим агрофизические условия в корнеобитаемом слое почвы, складывающиеся в процессе её основной обработки. Приводятся результаты исследований, проведённых в пропашном звене севооборота (озимая пшеница – подсолнечник) на чернозёме южном в юго-восточной зоне Центрального Предкавказья. Цель исследований заключалась в установлении зависимости развития корневой системы подсолнечника при традиционной и минимальной обработке почвы с использованием элементов технологии Strip-till, создающих определённые агрофизические условия, характеризующиеся плотностью сложения и запасом продуктивной влаги в корнеобитаемом слое. В процессе исследований использовали метод размерностей и подобия, а также метод фрактальной геометрии применительно к конкретным разветвлённым корневым системам. Установлена прямая квадратичная зависимость развития корневой системы от запаса продуктивной влаги и обратная зависимость от плотности почвы в корнеобитаемом слое с учётом корректирующего коэффициента C , связанного с типом почвы. Выявлено, что при использовании технологии Strip-till плотность почвы в весенний период на $0,06 \text{ г/см}^3$ меньше, а запас продуктивной влаги на 12 мм больше, чем при традиционной технологии. Соответственно средняя величина показателя фрактальной размерности D_f степени развития корневой системы в плане занятия объёмного пространства, равная 1,62, выше, чем при традиционной обработке ($D_f = 1,51$). В определённой степени этот показатель характеризует лучшие агрофизические условия, создаваемые в корнеобитаемом слое почвы при технологии Strip-till, которые способствовали повышению урожайности подсолнечника: превышение в сравнении с традиционной вспашкой составляет 0,23 т/га при более низких производственных затратах на 10%.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: корневая система, подсолнечник, способы обработки почвы, чернозём южный, Центральное Предкавказье.

EFFECT OF TILLAGE METHODS ON THE FORMATION OF SUNFLOWER ROOT SYSTEM IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL CISCAUCASIA

**Kuzychenko Yuri A.
Stukalov Roman S.
Gadzhumarov Rasul G.**

North Caucasus Federal Agricultural Research Centre

The intensity of development of plant root systems during the vegetation season is an indicator, which characterizes the agrophysical conditions in the root habitable soil layer that develop in the process of its primary cultivation. The authors present the results of research performed in the tilled crop rotation link (winter wheat – sunflower) in southern chernozem in the South-Eastern zone of the Central Ciscaucasia. The objective of research was to establish the relationship between the development of sunflower root systems under conventional and minimum tillage using the elements of Strip-till technology that create certain agrophysical conditions characterized by the density of compaction and supply of productive moisture in the root habitable layer. In the course of research the authors used the method of dimensions and similarity, as well as the method of fractal geometry in relation to specific branched root systems. A direct quadratic dependence was established between the development of root system and the supply of productive moisture, while an inverse dependence was observed between the soil density in the root habitable layer with the account of C correction coefficient associated with soil type. It is revealed that when Strip-till technology is used, the soil density in spring is

0.06 g/cm³ less, and the productive moisture reserve is 12 mm more compared to the conventional technology. Accordingly, the average value of D_r , fractal dimension indicator of the degree of development of root systems in terms of occupying a volumetric space is equal to 1.62, which is higher compared to the conventional tillage ($D_r = 1.51$). To a certain extent this indicator characterizes the best agrophysical conditions, which were created in the root habitable soil layer with the Strip-till technology and contributed to an increase in sunflower yield: the excess was 0.23 t/ha compared to conventional plowing with production costs being lower by 10%.

KEYWORDS: root system, sunflower, tillage methods, southern chernozem, Central Ciscaucasia.

Введение

Подсолнечник относится к сложным биологическим объектам исследований, поскольку его стержневая корневая система, находясь в конкретном объёме почвенного пространства, формируется при определённых агрофизических условиях в процессе вегетации культуры. Плотность сложения почвы, сформированная определённым типом рабочих органов орудий, и условия увлажнения корнеобитаемого слоя почвы являются факторами, обуславливающими глубокое и разностороннее проникновение корневой системы подсолнечника в почву, поэтому особое значение приобретает способ основной обработки почвы, в том числе и минимальной с элементами технологии Strip-till [1, 5, 6, 9].

Представляет интерес изучение динамики развития корневой системы подсолнечника при различных способах основной обработки почвы в летний и летне-осенний периоды, которое должно быть связано не только с учётом факторов плотности и запаса продуктивной влаги в размерных величинах, но и с установлением степени их взаимозависимости с интенсивностью заполнения корнями почвенного пространства при складывающихся агрофизических условиях [3, 10, 12, 14].

Опубликованы результаты исследований, направленных на выявление влияния плотности почвы и условий увлажнения в процессе вегетации культуры на интенсивность заполнения почвенного пространства корневыми системами растений [7, 11, 15, 16]. Однако авторами указанных источников информации не в полной мере был учтён тот факт, что рабочие органы почвообрабатывающих орудий создают глыбистую структуру почвы со слабым защемлением почвенной влаги в капиллярных порах, при этом приземные воздушные потоки иссушивают поверхность почвы, а переуплотнённая почва имеет низкую воздухоёмкость, что угнетает развитие корней растений.

Цель исследований заключалась в установлении зависимости развития корневой системы подсолнечника при традиционной и минимальной обработках почвы с использованием элементов технологии Strip-till, создающих определённые агрофизические условия, характеризующиеся плотностью сложения и запасом продуктивной влаги в корнеобитаемом слое, влияющих на урожайность культуры.

Материалы и методы

Исследования, проводившиеся в южной части Ставропольского края, сопровождались аномальными климатическими условиями с острозасушливым периодом вегетации в 2018 и 2019 гг. (ГТК = 0,23). В 2020 г. ГТК вегетационного периода составил 1,0 с критическим периодом высокой засушливости в июле (ГТК = 0,07).

Почва представлена чернозёмом южным карбонатным, среднemosщным с содержанием гумуса 2,9%, P_2O_5 – 39,8 мг/кг, K_2O – 343,8 мг/кг.

Размер исследовательских делянок – 100 м² (14 × 7,2), учётных – 28 м² (14 × 2). Повторность – трёхкратная.

Полевые опыты проводили на подсолнечнике в следующем севообороте: горох – озимая пшеница – кукуруза на зерно – озимая пшеница – подсолнечник – яровой ячмень.

Применялись следующие системы обработки.

1. Традиционная система обработки почвы:

- дисковое лушение бороной Catros на глубину 8–10 см;
- вспашка плугом ПН-5-35 на глубину 20–22 см;

- внесение КАС под первую весеннюю культивацию с нормой 143 л/га опрыскивателем ОП-2000;

- посев сеялкой ТС-М 8000 с внесением нитроаммофоски (NPK16) с нормой 54 кг/га по д. в.

2. Обработка почвы с элементами технологии Strip-till:

- дисковое лушение бороной Catros на глубину 8–10 см;

- обработка почвы смесью гербицидов глифосат + зерномакс (2,4-Д) в дозе 3 л/га двукратно в осенний период;

- нарезка щелей культиватором-щелерезом Blu-Jet с одновременным внесением КАС с нормой 143 л/га;

- посев сеялкой ТС-М 8000 с внесением нитроаммофоски (NPK16) с нормой 54 кг/га по д. в.

Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом по методике Б.А. Доспехова [4], расчёты запасов продуктивной влаги проводились с учётом таких агрофизических констант чернозёма южного, как равновесная плотность и влажность устойчивого завядания растений (ВЗ).

Для оценки степени зависимости развития корневой системы S (г/дм³) от степени уплотнения почвы P (т/м³) и количества продуктивной влаги в слое 0–100 см W (мм) применялся метод размерностей и подобия [13], предполагающий проведение математических операций со степенями размерностей факторов.

Для анализа развития корневой системы подсолнечника при различных способах основной обработки почвы применялся метод фрактальной оценки разветвлённых структур путём вычисления коэффициента длины K_l и коэффициента ветвления корневой системы K_b [2].

Для определения фрактальной размерности D использовали следующую формулу:

$$D = \ln K_b / \ln K_l \quad (1)$$

Относительная величина D показывает, что корневая система растения развивается тем интенсивнее, чем больше ответвлений (коэффициент K_b) и чем они длиннее (коэффициент K_l).

Результаты и их обсуждение

С учётом того, что подсолнечник имеет стержневую корневую систему, оценка зависимости её развития S (г/дм³) от уплотнения почвы P (т/м³) и наличия продуктивной влаги в корневом пространстве почвы W (мм) проведена с применением метода размерностей.

В общем виде степенная зависимость интенсивности развития корневой системы растения S от плотности почвы P и запасов продуктивной влаги W можно описать с помощью уравнения

$$S = P^\alpha W^\beta, \quad (2)$$

где α – степенной показатель плотности почвы;

β – степенной показатель продуктивной влаги.

Размерный ряд со степенными параметрами:

$$\text{кг}^{-3} \text{ м}^{-3} = (\text{кг}^3 \text{ м}^{-3})^\alpha \cdot (\text{м}^{-3})^\beta;$$

$$(\text{кг})^{-3} = 3\alpha; \alpha = -1.$$

$$(\text{м})^{-3} = -3\alpha - 3\beta; \beta = 2.$$

С учётом степенных параметров уравнение (2) имеет следующий вид:

$$S = C(W^2/P). \quad (3)$$

Таким образом, установлена прямая квадратичная зависимость развития корневой системы от запаса продуктивной влаги и обратная зависимость от плотности почвы в корнеобитаемом слое с учётом корректирующего коэффициента C , связанного с типом почвы.

Значения плотности почвы в периоды весенней и летне-осенней вегетации подсолнечника при традиционном способе обработки и по технологии Strip-ill находились в пределах 1,07–1,13 г/см³ и 1,17–1,22 г/см³, что соответствует оптимальным значениям плотности сложения для этой культуры по классификации И.Б. Ревута [8].

В весенний период плотность почвы при традиционной системе обработки была на 0,06 г/см³ выше, чем при технологии Strip-till, в летне-осенний период отмечен рост показателей плотности как на первом, так на втором вариантах (табл. 1), при этом сохранилось преимущество технологии Strip-till.

Таблица 1. Уплотнение почвы и запас продуктивной влаги в период вегетации подсолнечника

Способ обработки почвы	Плотность, г/см ³		Продуктивная влага, мм	
	Весенний период	Летне-осенний период	Весенний период	Летне-осенний период
Традиционный	1,13	1,22	122,0	22,0
Strip-till	1,07	1,17	134,0	35,0

Как следует из данных, приведённых в таблице 1, запасы продуктивной влаги при технологии Strip-till в весенний период были на 0,06 г/см³ выше, чем при традиционной системе обработки. В летне-осенний период запасы продуктивной влаги значительно снизились как на первом, так и на втором вариантах в результате сложившихся острозасушливых условий, при этом сохранилось преимущество технологии Strip-till (на 13 мм).

В результате проведения выборочного анализа и расчётов показателя фрактальной размерности D развития корневой системы подсолнечника установлено, что более интенсивное заполнение почвенного пространства корнями растений характеризуется более высоким значением D, что связано с большим содержанием продуктивной влаги и меньшим уплотнением почвы в период роста и развития растений. Морфометрические показатели корневой системы подсолнечника представлены в таблице 2.

Таблица 2. Морфометрические показатели корневой системы подсолнечника

Способ обработки почвы	Повторность	K _b	K _r	D _r	L _Σ , см	Вес, г	Высота 10 растений, см
Традиционный	1	24,6	7,1	1,63	109	3,79	135
	2	24,2	8,8	1,46	96	1,84	140
	3	23,8	9,2	1,43	99	2,3	139
Strip-till	1	20,3	5,5	1,76	120	4,03	143
	2	20,7	7,5	1,51	106	2,31	146
	3	21,3	7,0	1,58	111	3,4	141

НСР₀₅ = 6,4 см; Fφ > Fт

Как следует из данных таблицы 2, все анализируемые морфометрические показатели корневой системы подсолнечника при технологии Strip-till были выше, чем при традиционной системе обработки почвы (в среднем по трём повторностям):

- фрактальная размерность развития корневой системы (D_r) – на 0,11;
- длина корней (L_Σ) – на 11,0 см;
- вес корней – на 0,61 г;
- высота растений – на 5,33 см.

Следовательно, интенсивность заполнения почвенного пространства корневой системой растений и связанное с ней значение фрактальной размерности D определяются показателями запаса продуктивной влаги в период вегетации подсолнечника и плотности почвы в корнеобитаемом слое, которые зависят от применяемого способа основной обработки.

Анализ данных урожайности подсолнечника показывает значимое увеличение этого показателя при способе обработки по технологии Strip-till в сравнении с традиционной системой: в среднем за 3 года урожайность увеличилась на 0,23 т/га (табл. 3).

Таблица 3. Урожайность и экономические показатели возделывания подсолнечника при различных способах обработки почвы

Способ обработки почвы	Урожайность, т/га			Среднее, т/га	Экономические показатели	
	2018 г.	2019 г.	2020 г.		Затраты, руб./га	Рентабельность, %
Традиционный	2,18	2,12	1,32	1,87	23 951	72
Strip-till	2,43	2,40	1,47	2,10	21 556	114

$HCP_{05} = 0,17$ т/га; $F_{\phi} = 33,2 > F_T = 10,1$

При этом следует отметить, что увеличение производственных затрат по технологии Strip-till связано с затратами на обработку почвы глифосатом, однако по традиционной технологии основные затраты, приходящиеся на большой объем работ по обработке почвы, выше: разница составляет 2395 руб./га, или 10%.

Выводы

Все анализируемые морфометрические показатели корневой системы подсолнечника (высота растений, длина и вес корней, фрактальная размерность развития корневой системы) при технологии Strip-till были выше, чем при традиционной системе обработки.

Интенсивность заполнения почвенного пространства корневой системой растений и связанное с ней значение фрактальной размерности определяются показателями запаса продуктивной влаги в период вегетации подсолнечника и плотности почвы в корнеобитаемом слое, которые зависят от применяемого способа основной обработки.

Показатель фрактальной размерности развития корневой системы подсолнечника характеризует лучшие агрофизические условия, создаваемые в корнеобитаемом слое почвы при технологии Strip-till, что способствовало повышению урожайности подсолнечника.

Таким образом, обработка почвы с внедрением элементов технологии Strip-till при возделывании подсолнечника является фактором, позволяющим повысить урожайность культуры на 0,23 т/га в сравнении с традиционной технологией.

Библиографический список

1. Авдеенко А.П. Продуктивность гибридов подсолнечника в зависимости от элементов технологии возделывания / А.П. Авдеенко // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 2, № 3. – С. 92–95.
2. Балханов В.К. Основы фрактальной геометрии и фрактального исчисления / В.К. Балханов. – Улан-Удэ : Изд-во Бурятского гос. ун-та, 2013. – 223 с.
3. Влияние глубины осенней обработки почвы и дозы внесения минеральных удобрений на водный режим почвы и урожайность подсолнечника при возделывании по технологии «Strip-till» в условиях засушливой степи Алтайского края / В.И. Беляев, Т. Майнель, Р. Тиссен, В.Н. Рудев, Н.А. Кожанов, Л.В. Соколова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6 (152). – С. 25–32.

4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б.А. Доспехов. – 6-е изд., стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – Москва : Альянс, 2011. – 350 с.
5. Котлярова Е.Г. Изменчивость биометрических параметров гибридов подсолнечника в зависимости от способов основной обработки почвы и листовых подкормок / Е.Г. Котлярова, Л.С. Титовская // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2018. – № 2. – С. 17–23.
6. Кохан А.В. Обработка почвы в агротехнологии подсолнечника / А.В. Кохан, Е.А. Самойленко // Вестник Прикаспия. – 2017. – № 3 (18). – С. 42–47.
7. Кузыченко Ю.А. Формирование корневой системы кукурузы на зерно при различных системах обработки почвы в зоне Центрального Предкавказья / Ю.А. Кузыченко, Р.С. Стукалов, Р.Г. Гаджиумаров // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2020. – № 1 (57). – С. 74–81. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-07.
8. Медведев В.В. Оптимизация агрофизических свойств чернозёмов / В.В. Медведев. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 160 с.
9. Столяров О.В. Влияние обработки почвы и норм высева на урожайность подсолнечника, выращенного по системе EXPRESS SUN™ / О.В. Столяров, С.В. Колодяжный // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 11, № 2 (57). – С. 13–19. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.2.13.
10. Стулин А.Ф. Продуктивность подсолнечника при систематическом применении удобрений в севообороте на выщелоченном чернозёме ЦЧЗ / А.Ф. Стулин // Агротехника. – 1991. – № 10. – С. 64–70.
11. Трусов А.С. Технологии No-till и Strip-till – основные преимущества (опыт ООО «Зерно Белогорья») / А.С. Трусов // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 12. – С. 20–24.
12. Цилюрик А.И. Влияние мульчирующей обработки на питательный режим почвы в посевах подсолнечника / А.И. Цилюрик, В.Н. Судак // Дальневосточный аграрный вестник. – 2017. – № 2 (42). – С. 53–62.
13. Широков В.Н. Применение теории размерностей и подобия при определении параметров и режимов работы машин для обработки почвы / В.Н. Широков, Г.Г. Пархоменко // Научный журнал Кубанского ГАУ. – 2015. – № 110 (06). – С. 2–14.
14. Crop and Soil Responses to On-Farm Conservation Tillage Practices in the Upper Midwest / A.L.M. Daigh, J. DeJong-Hughes, D.H. Gatchell, N.E. Derby, R. Alghamdi, Z.R. Leitner, A. Wick, U. Acharya // Agricultural & Environmental Letters. – 2019. – Vol. 4 (1). DOI: 10.2134/aer2019.03.0012.
15. Jokela D. No Tillage and Strip Tillage Effects on Plant Performance, Weed Suppression, and Profitability in Transitional Organic Broccoli Production / D. Jokela, A. Nair // HortScience. – 2016. – Vol. 51 (9). – Pp. 1103–1110. DOI: 10.21273/hortsci10706-16.
16. Matin M.A. Strip-tillage using rotating straight blades: Effect of cutting edge geometry on furrow parameters / M.A. Matin, J.M.A. Desbiolles, J.M. Fielke // Soil & Tillage Research. – 2016. – Vol. 155. – Pp. 271–279. DOI:10.1016/j.still.2015.08.016.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ Принадлежность к организации

Юрий Алексеевич Кузыченко, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник лаборатории обработки почвы отдела агроландшафтного земледелия ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, e-mail: smc.yuka@yandex.ru.

Роман Сергеевич Стукалов, кандидат сельскохозяйственных наук, зав. лабораторией обработки почвы отдела агроландшафтного земледелия ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, e-mail: Stukalov.roma@mail.ru.

Расул Гаджиумарович Гаджиумаров, научный сотрудник, зав. лабораторией технологий возделывания сельскохозяйственных культур ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, e-mail: rasul_agro@mail.ru.

Дата поступления в редакцию 16.07.2020

Дата принятия к печати 03.09.2020

AUTHOR CREDENTIALS Affiliations

Yuri A. Kuzychenko, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Soil Treatment Laboratory, Landscape Specific Agriculture Department, North Caucasus Federal Agricultural Research Centre, Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, e-mail: smc.yuka@yandex.ru.

Roman S. Stukalov, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Soil Treatment Laboratory, Landscape Specific Agriculture Department, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, e-mail: Stukalov.roma@mail.ru.

Rasul G. Gadzhumarov, Research Scientist, Head of the Laboratory of Crop Cultivation Technologies, North Caucasus Federal Agrarian Research Centre, Russia, Stavropol Territory, Mikhailovsk, e-mail: rasul_agro@mail.ru.

Received July 16, 2020

Accepted after revision September 03, 2020