

Обзор / Review

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-72-87>
УДК 632.51:635.1/.7

**А.В. Солдатенко¹, А.М. Меньших²,
А.Ю. Федосов², И.И. Ирков²,
М.И. Иванова^{2*}**

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, РФ, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14

² Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр овощеводства» (ВНИИО – филиал ФГБНУ ФНЦО) 140153, РФ, Московская область, Раменский район, д. Верея, стр. 500

*Автор для переписки: ivanova_170@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы участвовали в написании статьи, прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Для цитирования: Солдатенко А.В., Меньших А.М., Федосов А.Ю., Ирков И.И., Иванова М.И. Повышение конкурентоспособности овощных культур к сорным растениям посредством совершенствования методов борьбы. *Овощи России*. 2022;(2):72-87. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-72-87>

Поступила в редакцию: 02.02.2022

Принята к печати: 20.03.2022

Опубликована: 25.04.2022

**Alexey V. Soldatenko¹, Alexander M. Menshich²,
Alexander Yu. Fedosov², Ivan I. Irkov²,
Maria I. Ivanova²**

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Selectionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, 143072, Russia

² All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Vegetable Center" p. 500, Vereya village, Ramensky district, Moscow region, 140153, Russia

*Correspondence Author: ivanova_170@mail.ru

Conflict of interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

Author contributions: All authors reviewed and agreed to the published version of the manuscript.

For citations: Soldatenko A.V., Menshich A.M., Fedosov A.Yu., Irkov I.I., Ivanova M.I. Increasing the competitiveness of vegetable crops to weeds by improving control methods. *Vegetable crops of Russia*. 2022;(2):72-87. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2022-2-72-87>

Received: 02.02.2022

Accepted for publication: 20.03.2022

Published: 25.04.2022

Повышение конкурентоспособности овощных культур к сорным растениям посредством совершенствования методов борьбы



Резюме

Сорные растения являются основной угрозой в растениеводстве, и борьба с ними в современном сельском хозяйстве имеет решающее значение для предотвращения потерь урожая и обеспечения продовольственной безопасности. Интенсивные методы ведения сельского хозяйства, изменение климата и стихийные бедствия влияют на динамику сорняков, что требует изменения методов борьбы с ними. Существующие способы больше не жизнеспособны из-за нехватки рабочей силы; методы химического контроля ограничены опасностями для здоровья и развитием устойчивости к гербицидам у сорных растений. В настоящей статье рассмотрены некоторые потенциальные альтернативные стратегии борьбы с сорняками в современном овощеводстве, которые осуществимы и эффективны. Повышение конкурентоспособности овощных культур посредством надлежащего планирования системы агротехнологий, профилактических, культурных и механических методов, создания конкурентоспособных сортов, аллелопатии, биологического контроля и снижение семенной продуктивности сорных растений при сборе урожая будет основным аспектом в устойчивом управлении сорняками. Улучшение режимов обработки почвы издавна считалось основной мерой борьбы с сорняками. Контроль семенной продуктивности сорных растений и их вредоносность были показаны как потенциальные инструменты для снижения всхожести семян сорняков и их сохранности в почве. Развитие аллелопатии привело к появлению новых методов борьбы с сорняками. Использование аллелопатического потенциала сельскохозяйственных культур также заслуживает упоминания в современных способах борьбы с сорняками. Термическая борьба с сорняками рассматривается в качестве полезного метода. Подчеркнута роль биогебицидов, как неотъемлемой части устойчивого управления сорняками. Все эти стратегии жизнеспособны для современного сельского хозяйства; однако, выбор конкретного способа и использование правильных комбинаций будет ключом к успеху. Ни одна стратегия не является идеальной, и поэтому комплексный подход может обеспечить лучшие результаты. Принятие таких методов может повысить эффективность систем земледелия в условиях устойчивого сельского хозяйства. Описан комплексный метод защиты овощных культур от сорных растений и пути снижения потенциальной засоренности полей семенами и всходами сорняков. Приведены оптимальные нормы и технологические особенности, условия эффективного применения современных гербицидов на посевах и посадках овощных культур.

Ключевые слова: сорняки, способы борьбы, овощные культуры, засоренность, гербициды, эффективность, методы контроля

Increasing the competitiveness of vegetable crops to weeds by improving control methods

Abstract

Weeds are a major threat in crop production, and controlling them in modern agriculture is critical to preventing crop losses and ensuring food security. Intensive farming practices, climate change and natural disasters affect weed dynamics, requiring a change in management practices. Existing methods are no longer viable due to lack of manpower; chemical control methods are limited by health hazards and the development of herbicide resistance in weeds. This article discusses some potential alternative weed control strategies in modern vegetable production that are feasible and effective. Increasing the competitiveness of vegetable crops through proper planning of agrotechnologies system, preventive, cultural and mechanical methods, development of competitive varieties, allelopathy, biological control and reduction of weed seed production at harvest will be a major aspect in sustainable weed management. Improving tillage regimes has long been considered the main measure of weed control. Control of weed seed production and weed injuriousness have been shown as potential tools to reduce weed seed germination and retention in the soil. The development of allelopathy has led to the emergence of new methods of weed control. The use of the allelopathic potential of crops also deserves mention in modern weed control methods. Thermal weed control is seen as a useful method. The role of bioherbicides as an integral part of sustainable weed management is emphasized. All of these strategies are viable for modern agriculture; however, choosing a specific method and using the right combinations will be the key to success. No strategy is perfect, and therefore an integrated approach can provide the best results. The adoption of such practices can improve the efficiency of farming systems in sustainable agriculture. A comprehensive method for protecting vegetable crops from weeds and ways to reduce the potential contamination of fields with seeds and weed seedlings are described. The optimal norms and technological features, conditions for the effective use of modern herbicides on crops and plantings of vegetable crops are given.

Keywords: weeds, methods of control, vegetable crops, weediness, herbicides, efficiency, control methods

Одной из основных проблем, с которыми сталкивается сельскохозяйственный сектор в 21-м веке, является производство достаточного количества продовольствия, чтобы удовлетворить возрастающие потребности быстро растущего населения при сохранении экосистемы и защите социально-экономического благополучия производителей продуктов питания и сельских общин [1].

В сельскохозяйственных системах конкуренция со стороны сорной растительности является одним из основных факторов, снижающих урожайность полевых культур, в том числе и овощных. По оценкам, ежегодные потери от сорняков во всем мире составляют примерно 10-15% [2]. Как правило, увеличение на 1 кг массы сорняков соответствует сокращению на 1 кг урожая культурных растений [3]. Каждый 0,19 кг сухого вещества сорняков приводит к потере 1 кг товарного урожая лука репчатого при выносе из почвы с урожаем 36,9, 9,6 и 57,0 кг/акр N, P и K соответственно [4]. Если бы все сорняки в посевах сельскохозяйственных культур были под контролем, текущее мировое производство продовольствия было бы выше на 10-25% [3].

Сорняки наносят ущерб сельскохозяйственным культурам из-за конкуренции за свет, воду и питательные вещества, что приводит к значительной потере урожая и снижению урожайности [5]. Кроме того, сорные растения ухудшают качество урожая, засоряют водные пути, вызывают проблемы со здоровьем у людей. При этом затраты на уничтожение сорняков огромны [6]. Ручная прополка является трудоемкой и поэтому ограничивает производственные площади [7]. Сорняки являются резервуарами насекомых и патогенных микроорганизмов, создавая дополнительные сложности для борьбы с ними.

В Российской Федерации 65-75% полей засорены в сильной и средней степени, а потери урожая овощных культур от сорняков достигают 20-30% [8]. Первостепенное значение для решения этой проблемы является эффективный контроль над сорняками.

Стратегии борьбы с сорной растительностью

В свете экологических и токсикологических проблем, создаваемых гербицидами, возникла необходимость в разработке методов безопасности для борьбы с сорняками на овощных культурах [9].

На практике стратегии борьбы с сорняками должны включать косвенные (предсезонное планирование и профилактические меры) и прямые (агронимические, механические, биологические и химические) методы. Первая категория включает в себя любой метод, использованный до посева культуры, а вторая - любые методы, применяемые во время вегетации культуры. Методы в обеих категориях могут влиять либо на плотность сорняков (т.е. количество сорняков на единицу площади), и / или на развитие сорняков (наращивание биомассы и почвенный покров). Косвенные методы направлены главным образом на уменьшение числа сорных растений, появляющихся на посевах культуры, прямые методы - на повышение конкурентоспособности овощных культур против сорняков.

В следующих разделах мы обсудим различные способы практического внедрения устойчивых методов борьбы с сорняками на овощных культурах.

I. Агронимическая практика в борьбе с сорняками

Культурная практика в борьбе с сорняками, такая как критический период конкуренции сорняков, выращивание

промежуточных культур, плотность растений, внесение удобрений, покровные культуры, севооборот и другие агронимические методы, играют важную роль и успешно используются для борьбы с сорняками на овощных культурах. Они изменяют закономерности роста овощных культур и динамику конкуренции сорняков, и, следовательно, их необходимо исследовать для развития устойчивого управления сорняками.

Севооборот

Севооборот может помочь в борьбе с сорняками, обеспечения почв питательными веществами, уменьшении эрозии почвы. Хотя в последние несколько десятилетий многие фермеры игнорировали его преимущества с точки зрения урожайности, в настоящее время очевидно, что севооборот увеличивает урожайность и что эта практика крайне важна для устойчивых сельскохозяйственных систем [10]. Чередование культур в севообороте определяет выбор гербицидов, а севооборот и гербицид могут взаимодействовать, воздействуя на виды сорняков [11]. Севооборот снижает распространение новых видов сорняков на полях, а также повышает эффективность борьбы с сорняками в сочетании с другими методами [12,13]. Севооборот становится более эффективным, когда семена сорняков с соседнего участка не попадают в поле севооборота [14]. Широколистные культуры, чередующиеся со злаковыми, а также культуры с различной агротехнологией могут снизить плотность запасов семян сорняков.

Разнообразные севообороты имеют тенденцию уменьшать развитие большинства основных видов сорняков, предлагая разное время сева и сбора урожая, разные жизненные циклы и возможности для борьбы с сорняками [15]. Манипулирование сроками посева требует понимания динамики роста сорняков и влияния факторов, связанных с культурой и почвой [16]. За прошедшее столетие видовой состав сорняков изменился, и в зависимости от методов борьбы с ними численность видов увеличивается или уменьшается [11]. Запас семян сорняков может отражать состояние их популяции в настоящем и прошлом и может рассматриваться как индикатор воздействия на почву и растения [17]. Но успех севооборота для подавления сорняков основан на использовании чередовании культур [18].

Введение в севооборот культур сплошного сева: многолетних трав и особенно занятого пара (сложные смеси однолетних трав) снижает репродуктивную способность сорняков и способствует уменьшению их запасов в почве.

В условиях Нечерноземной зоны осуществление агротехнических мероприятий по борьбе с сорняками в овощекормовых севооборотах ограничено коротким послеуборочным периодом. Насыщение севооборотов культурами с продолжительным периодом вегетации способствует повышению засоренности полей. Борьба с сорняками значительно облегчается при правильном чередовании многолетних трав, озимых зерновых, пропашных и овощных культур. В севооборотах такого типа имеется больше возможностей для уничтожения сорняков, специализирующихся на засорении посевов определенных сельскохозяйственных культур. Севооборот способствует и равномерному чередованию применяемых гербицидов, обладающих различным механизмом и спектром последствий, в результате предотвращается накопление и распространение устойчивых к ним сорных растений.

Поэтому без научно-обоснованных севооборотов, при случайном размещении культур, невозможно осуществить комплексную систему борьбы с сорняками.

Еще до начала освоения севооборота необходимо изучить видовой состав сорняков, наиболее распространенных в посевах основных сельскохозяйственных культур, составить карту засоренности полей, подготовить ротационную таблицу с указанием на каких полях и когда намечаются те или иные мероприятия по борьбе с сорняками.

На овощных полях Нечерноземной зоны широко распространены однолетние сорняки: марь белая (*Chenopodium album* L.), щирица запрокинутая (*Amaranthus retroflexus* L.), горец почечуйный (*Polygonum persicaria* L.), крестовник обыкновенный (*Senecio vulgaris* L.), галинсога многоцветковая (*Galinsoga parviflora* Cav.), паслен черный (*Solanum nigrum* L.), осот огородный (*Sonchus oleraceus* L.), пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik.), ярутка полевая (*Thlaspi arvense* L.), дымянка лекарственная (*Fumaria officinalis* L.), яснотка стеблеобъемлющая (*Lamium amplexicaule* L.), ежовник обыкновенный (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv.), подмаренник цепкий (*Galium aparine* L.), редька дикая (*Raphanus raphanistrum* L.), капуста полевая (*Brassica campestris* L.), звездчатка средняя (*Stellaria media* (L.) Vill.), череда трехраздельная (*Bidens tripartita* L.) и др. Чаще куртинами встречаются многолетние виды: бодяк полевой (*Cirsium arvense* (L.) Scop.), осот желтый (*Hieracium arvense* (L.) Scop.), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.), а также пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski), мята полевая (*Mentha arvensis* L.), горец земноводный (*Persicaria amphibia* (L.) Delarbre), чистец болотный (*Stachys palustris* L.).

Изучение динамики появления сорных растений в овоще-кормовом севообороте в условиях Московской области показало, что основная их часть (50-75%) прорастает в течение первых 3-4 недель после посева (посадки) овощных культур. Благодаря провокации их прорастания можно уничтожить часть всходов сорняков предпосевными (предпосадочными) культивациями и значительно снизить потенциальную засоренность посевов, облегчить

борьбу с сорняками в период вегетации культур.

Большинство овощных культур весеннего сева медленно всходят и слабо растут в начале вегетации. Очень важно хорошо защищать их от сорняков в течение 30-50 дней от появления всходов (период наиболее напряженных конкурентных отношений).

Покровные культуры

Покровные культуры выращивают с целью поддержания устойчивости агроэкосистемы. Они способствуют уменьшению эрозии почвы [19], увеличению органического вещества почвы и азот [20], улучшению фильтрации воды, снижению действия сорняков и уменьшению запаса семян сорных растений, оказывая минимальное влияние на урожайность [21]. Покровные культуры с аллелопатическим потенциалом могут подавлять сорняки. Среди наиболее важных покровных культур – рапс, озимая рожь, клевер розовый, клевер красный, пшеница, горчица белая, овес, вигна, редька кормовая, райграс однолетний, горчица, гречиха, вика волосатая. Наблюдения на производственных полях и результаты научных исследований показали, что выброс аллелохимикатов из аллелопатических покровных культур и их физическое воздействие были ответственны за подавление сорняков на консервационных полях органических ферм [22]. Наряду с подавлением сорняков покровные культуры также улучшают удержание влаги в почве, плодородие почвы и повышают урожайность [23]. Смеси покровных культур оказались более эффективными для подавления сорняков по сравнению с одной покровной культурой (табл.). Haramoto и Gallandt (2004) исследовали роль покровных культур Brassica, включая белую горчицу и рапс, для подавления сорняков в сельскохозяйственных системах [24]. Кроме того, покровные культуры могут также уменьшить запас семян сорняков в системах консервации. Например, покровные посевы вики волосистой и овса эффективно сокращают запас семян (30-70%) сорняков, включая *Datura stramonium* L., *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Amaranthus retroflexus* L. и *Eleusine indica* (L.) Gaertn. в верхнем слое почвы [25].

Таблица. Влияние растительных остатков покровной культуры и живой мульчи на подавление сорняков на разных фазах развития [26]
Table. Effect of cover crop residues and live cover crops on weed control at different stages of the life cycle [26]

Фаза развития сорняка Weed life cycle stage	Подавление сорняков Weed control	
	после растительных остатков покровной культуры with cover culture residues	при живой мульче with live cover culture
Прорастание Germination	умеренное	высокое
Стадия семядольных листочков Cotyledonous leaf stage	умеренное	высокое
Рост и развитие Growth and development	низкое	высокий
Формирование семян Seed formation	низкое	умеренное
Жизнеспособность семян Seed survival	нет	умеренное
Продолжительность сохранения всхожести Duration of long-term survival	нет	низко умеренное

Когда покровные культуры используют в качестве мульчи (т.е. их оставляют разлагаться на поверхности почвы), подавление сорняков, по-видимому, в основном является результатом физического воздействия мульчи, а не питательного или аллелохимического воздействия. В частности, подавление сорняков напрямую связано с индексом площади мульчи (площадь мульчи, деленная на площадь единицы почвы), которая влияет на проницаемость света через мульчу и, следовательно, на прорастание семян сорняков. Виды мелкосемянных сорных растений более чувствительны, чем крупносемянные, к мульчированию, физическим воздействиям, а также к аллелопатии [27]. Своевременный посев покровных культур очень важен для повышения производства биомассы и, следовательно, для увеличения их потенциала подавления сорняков. Покровные культуры могут также взаимодействовать с другой биотой; например, они способствуют созданию везикулярно-арбускулярных микориз, которые, в свою очередь, могут изменять состав флоры сорняков, отдавая предпочтение видам микоризных растений в ущерб немикоризным видам [28].

Некоторое время живая мульча снижает урожайность, что вероятно вызвано конкуренцией за свет, воду и питательные вещества между живой мульчей и основной культурой [29]. Показано, что плотность растений является основным фактором, который меняет результаты конкуренции в сообществе растений [30]. В некоторых случаях увеличение плотности растений приводит к более быстрому закрытию полога и усилению подавления сорняков, что приводит к увеличению урожайности [31].

Живая мульча подавляет сорняки, снижая использование ресурсов для роста и изменяя факторы окружающей среды, которые влияют на всхожесть семян и развитие сорняков, и в конечном итоге могут привести к снижению применения гербицидов [31]. Она также может подавлять сорняки с помощью аллелопатии, в результате чего алкалоиды высвобождаются как из корней, так и из листьев живых растений. Но эффективность больше всего зависит от степени покрытия почвы (>50%), при этом наиболее важным эффектом является затенение [32]. Максимальная эффективность живой мульчи достигается благодаря быстрому заполнению открытого пространства между основными рядами культур, предотвращая прорастание семян сорняков и уменьшая их рост и развитие. Прорастание семян сорняков может быть замедлено либо полным затенением покровной культурой, либо аллелохимической секрецией. После появления всходов сорняков конкуренция за ресурсы становится основным механизмом подавления сорняков живой мульчей (покровных культур) [33].

Стимулирование прорастания семян сорняков

Этот метод включает в себя подготовку семенного ложа за несколько недель до посева, чтобы стимулировать прорастание семян сорняков, тем самым уменьшая их количество, которые могут повлиять на урожай. Необходимы влажные условия для стимулирования прорастания семян сорняков. Небольшие сорняки могут быть затем удалены с помощью очень мелкой бороны, пламегасителя или инфракрасной горелки.

Совместимость

Совместимые культуры выращивают вместе для получения более высокого урожая и экономических выгод. Кроме того, совместное выращивание культур повышает

эффективность использования ресурсов (земли, воды, питательных веществ и света). В дополнение к этим преимуществам, совместное выращивание может использоваться для подавления сорняков для экологически безопасного и экономичного контроля над сорняками [34]. В частности, посевы с аллелопатическим потенциалом при совместном выращивании с другими растениями помогают снизить интенсивность сорняков и, следовательно, повысить урожайность. Например, совместное выращивание кукурузы и вигны на чередующихся гребнях помогло снизить интенсивность сорняков (*Echinochloa colona* (L.) Link., *Portulaca oleracea* L., *Chorchorus olitorius* L. и *Dactyloctenium aegyptium* (L.) Willd.) на 50%, а также повысило эффективность землепользования [35].

Выбор конкурентоспособных сортов

Различные сорта овощных культур могут отличаться по своей вегетативной массе и характеристикам роста и, в свою очередь, влиять на способность подавлять сорняки. Конкурентоспособность сорта связана с более высокой общей площадью листа, устойчивостью к потере вегетативной массы под конкурентным давлением, большей высотой, архитектоникой. Преждевременность цветения растений является признаком, наиболее связанным с конкурентоспособностью овощных культур.

Овощные культуры сильно различаются по своей способности конкурировать с сорняками. Даже в пределах одного вида разные сорта могут иметь очень разные конкурентные способности. В целом, конкурентоспособность культуры связана с ее способностью получать доступ к ресурсам, включая свет, воду и питательные вещества. Это объясняется как способностью культуры выдерживать давление сорняков и поддерживать урожайность, или способностью культуры подавлять рост сорняков и производство семян. Вообще говоря, культуры с интенсивным ростом, которые снижают качество и количество света под пологом культур, являются наиболее конкурентоспособными. Конкретные характеристики, которые имеют тенденцию влиять на конкурентоспособность культуры, включают: более быстрое появление всходов, формирование полога, ранний быстрый рост, характеристики листа (индекс площади листа, длина и угол прикрепления), архитектоника и высота [7].

Сорта могут также проявлять себя по-разному в разных регионах и условиях выращивания, так что наиболее конкурентоспособные сорта в одном случае могут быть менее, в другом случае – более конкурентоспособными. Есть некоторые свидетельства того, что некоторые сорта, часто более старые, лучше функционируют в условиях высокой нагрузки, такой как засуха и низкое плодородие почвы [36]. Также важно помнить, что самые конкурентоспособные сорта не всегда являются наиболее урожайными. Все из этих факторов может повлиять на выбор сорта культуры для снижения использования гербицидов.

Срок посева

Среди факторов, влияющих на численность сорняков, дата посева культуры имеет огромное значение [37]. Подготовка почвы в разное время посева вызывает сезонные колебания температурных и влажностных режимов – двух основных определяющих факторов выживания и распространения видов, определяя периодичность появления семян сорняков. Известно, что состав сообществ сор-

няков различается в посевах посередине и в конце сезона. Время обработки почвы будет определять, какие семена сорняков, в каком состоянии покоя доступны для прорастания; таким образом, регулируя прорастание и последующий рост сорняков [37]. На наличие семян, а также их состояние покоя влияют экологические характеристики, которые могут различаться в течение одного и того же вегетационного периода. Существует взаимосвязь между временем появления сорняков и давлением, оказываемым на культуру в результате конкуренции потерей урожая [38]. Потери урожая обычно выше, когда сорняки появляются раньше или одновременно с урожаем. Компромисс между подавлением сорняков и снижением урожайности должен учитываться при использовании времени посадки в качестве инструмента для борьбы с сорняками.

Норма высева, расстояние между рядами и густота стояния растений

Посев высококачественными семенами обеспечивает получение дружных всходов, формирование оптимальной густоты растений.

Норма высева семян может повлиять на способность культуры конкурировать с сорняками за ресурсы и в конечном итоге повлиять на борьбу с сорняками. Повышенная норма высева привела к увеличению популяции сельскохозяйственных культур, что обеспечивает меньше места для роста сорняков и намного более высокую конкуренцию за свет, питательные вещества и другие факторы роста [39].

Olsen et al. (2012) сообщили, что увеличение плотности посевов снижает биомассу и образование семян овсяга [40]. Kristensen et al. (2008) указывают на то, что увеличение густоты стояния растений отрицательно влияет на биомассу сорняков и оказывает положительное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур [41]. Более высокая норма высева может сдерживать численность сорняков за счет удушьяющего эффекта [42]. Тем не менее, увеличение нормы высева не всегда может повысить конкурентоспособность сорняков, и может возникнуть более высокая конкуренция между культурами. Это может привести к негативным последствиям для растениеводства, особенно в стрессовых условиях окружающей среды [43]. Следовательно, оптимальная норма высева позволяет осуществить некоторый контроль над сорняками, что часто и практикуется.

В борьбе с сорняками можно отдавать предпочтение тем культурам, которые позволяют использовать узкорядные посевы и/или более высокую густоту стояния растений. Использование узких рядов и/или загущенного посева ускоряет скорость смыкания рядков, тем самым увеличивая темпы роста урожая, подавляя рост сорняков и конкурентоспособность; в то время как широкие ряды снижают толерантность к сорнякам в начале сезона, требуя более раннюю борьбу с ними, чем в более узких рядах. Таким образом, использование узких рядов и/или более высокой популяции может использоваться в качестве средства борьбы с сорняками в более ранних сроках, что снижает воздействие сорняков. Снижение биомассы сорняков с узкими рядами, скорее всего, является результатом более быстрого и полного смыкания рядков с узкими рядами, что лишает сорняки фотосинтетически активной радиации [44]. Одной из теорий снижения роста сорняков

в узких рядах является более быстрое закрытие ряда, которое уменьшает проникновение света к сорнякам, появляющимся под пологом культур. Подавление роста сорняков узкорядными культурами происходит, главным образом, из-за увеличения затенения междурядья, а не в междурядьях. Более высокая плотность и более близкое расстояние угнетают сорную растительность из-за лучшего раннего смыкания рядков.

Ориентация строк

Манипулирование ориентацией рядков является идеальным методом для включения в программу устойчивого управления сорняками, оно является экологически чистым по сравнению с тактикой борьбы химическими методами. Одним из возможных способов уменьшения перехвата света сорняками и увеличения перехвата света пологом культуры является манипулирование ориентацией ряда культур [45]. Сокращение пространства между рядами культур или ориентация рядов культур под углом, практически перпендикулярным направлению солнечного света, увеличивает затенение сорняков между рядами.

Применение удобрений

Овощные культуры различаются по реагированию на доступность питательных веществ, в основном из-за различий в их корневой структуре или стадии роста. Сорняки, как и овощные культуры, поглощают значительное количество питательных веществ. Важно разработать стратегии применения удобрений для овощных культур, которые повышают их конкурентоспособность, минимизируют конкуренцию сорняков. Существует тесная связь между управлением питательными веществами и поведением и управлением сорняками. Применение удобрений сильно влияет на рост, развитие, распространение, динамику, устойчивость, всхожесть и конкурентоспособность сорняков. Оптимальная система питания овощных культур может сыграть ключевую роль в борьбе с сорняками [46]. Abouzienna et al. (2008) сообщили, что увеличение количества азота может привести к повышению урожайности, но сорняки могут оказать негативное влияние на продуктивность. Возможные взаимодействия могут быть связаны с влиянием удобрений на конкуренцию с сорняками. Варьирование доз и сроков внесения удобрений и методов может изменить конкуренцию. Численность сорняков сильно варьирует из-за различий в источнике внесения питательных веществ. Обычно сорняки положительно реагируют на дозу стартового удобрения и хорошо растут [47]. Предполагается, что оптимальное количество удобрений может обеспечить высокий урожай, но чрезмерное или недостаточное внесение может способствовать сильному развитию конкурирующих сорняков, что приведет к снижению урожайности [48]. Перенос применения азотных удобрений с весеннего срока на осенний уменьшил плотность и биомассу четырех вредных сорняков, включая овсяг пустой (*Avena fatua* L.), щетинник зеленый (*Setaria viridis* (L.), дикую горчицу (*Sinapis arvensis* L.) и марь белую (*Chenopodium album* L.) [49]. Следовательно, при разработке стратегий борьбы с сорняками необходимо уделять должное внимание типу удобрения, дозе и срокам внесения. Большая часть семян сорняков размещается вблизи поверхности почвы, и внесение удобрений в этой зоне также может способствовать их появлению и последующему росту.

Предпосевное внесение азотных удобрений может повысить конкурентоспособность овощных культур против сорняков в культурах, имеющих высокие темпы роста на ранних стадиях, но этот эффект модулируется типом сорняков, преобладающих в поле. Модуляция конкурентных взаимодействий между растениями и сорняками маловероятна при использовании органических удобрений или подкормок (например, навоза) из-за медленного высвобождения питательных веществ из этих источников.

Управление растительными остатками

Растительные остатки являются источником органического углерода для почвенных микроорганизмов, а также обогащают почву питательными веществами, необходимыми культурным растениям. Сохранение растительных остатков на поверхности почвы существенно снижает эрозию почвы, а также может снизить появление сорняков [50], улучшить структуру почвы, влагоудерживающую способность и долгосрочный круговорот питательных веществ [51].

Растительные остатки, действующие как мульча, могут влиять на прорастание семян сорняков и их биомассу. Во всем мире появляется все больше свидетельств того, что сохранение растительных остатков от одного сезона к следующему подавляет прорастание и развитие сорняков в системах минимальной обработки почвы, тем самым повышая продуктивность агроценоза. Степень влияния растительных остатков на появление сорняков определяется несколькими взаимодействующими факторами, включая высоту, тип и количество остатков, преобладающие виды сорняков, тип почвы и погодные условия [52]. Поверхностное внесение растительной мульчи от 5 до 7 т/га значительно подавляло рост и развитие сорняков по сравнению с контролем [53]. Chauhan and Abugho (2013) сообщили, что внесение растительной мульчи нормой 6 т/га может помочь подавить появление всходов (50%) и рост многих сорняков [54]. Тем не менее, существует необходимость интегрировать другие стратегии борьбы с сорняками с сохранением растительных остатков для достижения эффективного контроля их в течение всего сезона.

II. Механическая борьба с сорняками

Успех метода механической борьбы с сорняками зависит от жизненного цикла целевых видов сорняков. Большинство механических методов, таких как рыхление, вспашка, боронование, культивация используются на очень ранних стадиях роста сорняков [55]. Многие механические методы контроля становятся сложными после стадии семядолей у овощных культур, и их селективность уменьшается с увеличением возраста возделываемой культуры и сорняков.

Большинство производителей овощных культур полагаются на рыхление (механическое на больших или ручное на небольших фермах) в качестве безопасного и доступного метода борьбы с сорняками. Тем не менее, при обработке мотыгой зачастую повреждаются культурные растения, в то же время, пропуская некоторые сорняки. Кроме того, метод является весьма дорогостоящим: на посевах кукурузы сахарной требуется 150 ч/га, шпината – 516 ч/га [56]. Также на посевах овощных зеленных культур (укроп, кориандр овощной, петрушка), посеянных густо, трудно обрабатывать вручную без ущерба. В то же время механи-

ческая борьба с сорняками может иметь дополнительное преимущество, заключающееся в стимулировании минерализации связанного с почвой азота, что, в сочетании с отзывчивостью культур на азот, может помочь увеличить урожайность и улучшить качество продукции.

Обработка почвы влияет на процессы жизненного цикла сорняков путем непосредственного уничтожения проростков, перераспределения семян по вертикали в профиле почвы и изменения свойств почвы, которые влияют на устойчивость семян, состояние покоя, всхожесть и выживаемость проростков. Следовательно, часто происходят сдвиги в динамике популяций сообществ сорняков, когда принимается какой-либо тип консервационной обработки, включая нулевую обработку почвы (ZT). Понимание влияния обработки почвы на динамику сообщества сорняков может быть сложной задачей, поскольку эти эффекты являются переменными и зависят от взаимодействия с другими тактиками управления условиями окружающей среды и биологией сорняков. Разнообразные севообороты косвенно влияют на популяцию сорняков через эффекты обработки почвы, потому что время и частота обработки почвы варьируются в зависимости от вида культур. Изменения в системах обработки почвы могут косвенно влиять на популяции сорняков путем изменения процессов, которые разлагают или уничтожают семена сорняков. Семена сорняков, остающиеся на поверхности почвы или вблизи нее, уничтожаются в результате высыхания и нападения травоядных животных или патогенов. Было показано, что почвенные грибные и бактериальные микроорганизмы более распространены в ZT по сравнению с системами интенсивной обработки, но реакция семян сорняков на поверхностную колонизацию микроорганизмами сильно зависит от вида. Следовательно, гниение семян сорняков может быть усилено ZT, но эффект, вероятно, будет сильно различаться в зависимости от вида сорняков [57].

Зяблевая предпосевная вспашка, паровая обработка, выполненные своевременно и высококачественно, способствуют подавлению многолетних корневищных и корнеотпрысковых сорняков, а также зимующих и ранних яровых сорняков.

Поздние теплолюбивые яровые сорняки уничтожаются междурядной обработкой и прополкой вручную. Междурядная обработка позволяет уничтожить до 70% сорняков. Для этого необходимо выполнить ряд условий. Посев и посадка должны быть выполнены строго прямолинейно, чтобы соблюсти малые защитные полосы. Рабочие органы должны быть остро отточены, установлены на культиватор с учетом величины растений овощных культур и сорняков, а также состояния почвы.

Влияние основной обработки почвы на сорняки в основном связано с типом используемого навесного оборудования и глубиной обработки почвы. Эти факторы значительно влияют на семена сорняков и их распространение по профилю почвы, и поэтому они напрямую влияют на количество сорняков, которые могут появиться в поле [58]. Консервативная обработка почвы (поверхностная) оставляет больше семян сорняков на поверхности, тогда как системы с глубокой обработкой заделывают их. Семена сорняков, оставшиеся на поверхности, как правило, имеют низкую всхожесть и, в конечном итоге, уменьшают запас семян сорняков, что позволяет проводить ранний посев и, таким образом, конкурентное преимущество

остаётся в пользу урожая, а не сорняков. Низкая всхожесть семян сорной растительности может быть связана с более высокой плотностью почвы [59].

Вспашка долотом по сравнению с отвальной вспашкой обычно приводит к увеличению численности сорняков в системах пахотных культур, особенно многолетних и однолетних однодольных. Для двудольных видов влияние систем обработки почвы зависит от вида. Отвальная вспашка очень эффективна для снижения численности сорняков и, следовательно, является важным превентивным методом, при котором фермеры вынуждены (или желают) использовать частично подавляющие методы прямого подавления сорняков (механическая прополка), и сокращают трудозатраты, необходимые для последующего полива [60]. Системы обработки почвы могут влиять на размер и состав запаса семян сорняков в гораздо большей степени, чем севооборот [22].

Исследованиями С.С. Литвинова (2008) на выщелоченных черноземах Западной Сибири выявлено, что для капусты предпочтительнее в качестве предпосевной обработки проводить безотвальную обработку на глубину 25-27 см в сочетании с двухкратной междурядной обработкой, а для столовых корнеплодов – отвальную перепахку (на 18-20 см) в сочетании с четырехкратной обработкой междурядий, что существенно повышает урожайность [61].

При выращивании капусты белокочанной с высокой кочерыгой можно почти полностью исключить ручные прополки, если использовать лапы-отвальники на культиваторах, изготовленные из односторонних лап-бритв. Лапы-отвальники засыпают сорняки в рядах при их высоте не более 3 см.

Для первой междурядной обработки столовых корнеплодов и других посевных культур очень эффективно применение фрезерных культиваторов. Рабочие органы культиваторов должны быть установлены таким образом, чтобы они уничтожали все сорняки в междурядьях, не допуская подрезания или засыпания землей культурных растений. Для этого культиваторы должны быть оборудованы защитными дисками.

Если сорняки стали слишком большими, необходима интенсивная и агрессивная подстройка орудий для борьбы с сорняками, и таким образом увеличивается риск серьезного повреждения урожая. Прекращение обработки почвы положительно влияет на популяции сорняков, поскольку может влиять на жизнеспособность и распространение семян сорняков, а также оказывает сильное влияние на появление сорняков путем захоронения сорняков в почве.

В целом, на окультуренных слабозасоренных почвах под овощные культуры проводят 2-3 междурядные обработки за вегетационный период, а на тяжелых, заплывающих и засоренных почвах - 3-4 культивации.

III. Управление дренажными и ирригационными системами

Тщательный выбор и техническое обслуживание дренажных и ирригационных систем являются важными профилактическими мерами по снижению зараженности поля сорняками. Периодическая очистка от сорной растительности вдоль канав препятствует их проникновению в поле. Там, где это экономически целесообразно, замена канав подземными дренажами устраняют потенциальный источник заражения сорняками. Использование локализован-

ных (капельных) ирригационных систем способствует развитию сельскохозяйственных культур в ущерб сорнякам [62]. В отличие от этого, ирригационные системы часто предпочитают сорняки, потому что большинство из них имеют более низкую эффективность использования воды (производство сухой биомассы на единицу воды, используемой для суммарного испарения), чем урожай. На сухую массу сорняков существенное влияние оказали методы борьбы с ними и количество доступной воды [63]. Оптимальное время и количество полива снижает плотность и биомассу сорняков [64].

IV. Биологические подходы борьбы с сорняками

Широкое использование синтетических гербицидов представляет серьезную угрозу как для окружающей среды, так и для здоровья населения. Как с точки зрения общественного здравоохранения, так и с точки зрения окружающей среды, «натуральные» гербициды будут намного безопаснее. Биоконтроль следует воспринимать как дополнительный инструмент для борьбы с сорняками, где он будет интегрирован с другими методами борьбы.

Микогербициды

Концепция микогербицида была введена Daniel et al. (1973), который продемонстрировал, что эндемичный патоген может быть полностью разрушительным для его слабого хозяина, применяя огромную концентрацию инокулята на особенно восприимчивой стадии роста [65]. Для достижения успеха возбудитель должен быть культивируемым в искусственных средах; инокулят способен к воспроизводству с использованием обычных методов, таких как жидкое брожение; конечный продукт генетически стабильным и специфичным для целевых сорняков; хранение (срок годности), обработка и методы применения совместимы с современной сельскохозяйственной практикой; и патогенный микроорганизм эффективен в условиях, достаточных для различных условий окружающей среды, чтобы обеспечить своевременное применение [66].

Для того, чтобы биологический контроль был успешным средством борьбы с сорняками, необходимо разработать среду, в которой будут поддерживаться агенты биологического контроля. Эта стратегия является прикладной технологией, которая усиливает или имитирует природу и может использоваться для поддержания популяций вредителей на оптимальном уровне, но не обязательно для их искоренения. Двумя основными типами стратегий борьбы с сорняками с помощью биологического контроля являются классический (прививочный) и затопляющий (усиливающий) подходы [64]. Классический подход предполагает высвобождение биотического агента (естественного врага) с последующим его созданием и распространением. Агент снижает популяцию сорняков ниже экономического или экологического порога и обеспечивает долгосрочный контроль без необходимости повторного введения агента. Микогербицидный подход при использовании грибов включает периодическое применение возбудителя для борьбы с сорняками. В этом последнем случае специфический для хозяина патоген вырабатывается искусственно в массовом порядке и применяется в высоких концентрациях к целевым сорнякам. Ожидается, что биоконтрольный агент не будет обеспечивать контроль после одного сезона после применения [67].

Биогербициды

По сравнению с длительно действующей, нецелевой токсичностью, загрязняющей, канцерогенной и мутагенной активностями синтетических гербицидов, натуральные растительные продукты являются биоразлагаемыми, в некоторой степени специфичными и могут быть переработаны в природе [68].

Кукурузная глютенная мука (CGM), уксусная и лимонная кислоты имеют многообещающие свойства в качестве несинтетических гербицидов для борьбы с сорняками [47]. Цинметилин, природный гербицид, производимый видами шалфея, контролирует многие однолетние травы и подавляет некоторые виды широколиственных сорняков [69]. Различные классы соединений известны для потенциального использования в качестве природных гербицидов. Хорошие кандидаты на природные гербициды должны иметь активность от 10^{-5} до 10^{-7} М. Однако многие фенольные соединения, алкалоиды и хинины имеют диапазон активности 10^{-2} - 10^{-5} М и, следовательно, являются плохими кандидатами на природные гербициды [68]. Одним из первых фитотоксичных соединений, которые были извлечены из высших растений, был 1,8-цинеол. Цинметилин был разработан в качестве гербицида, но никогда не использовался в коммерческих целях для борьбы с сорняками в сельскохозяйственных культурах. Он контролирует многие однолетние и подавляет некоторые широколиственные виды сорняков. Bingaman & Christians (1995) сообщили, что кукурузная глютенная мука в дозах 100, 200, 300 и 400 г/м² снижала степень засоренности на 53, 76, 85 и 83% соответственно, по сравнению с контролем [70]. Abouzienna et al. (2009) сообщили, что Alldown, примененный в фазе семядолей сорняков, оказал максимальное влияние на эффективность контроля широколиственных сорняков, за которым следует 30% уксусная кислота > лимонная кислота > бытовой уксус (5% уксусная кислота) [47].

Аллелопатия

Некоторые растения могут быть использованы в качестве природных гербицидов. Растения *Jasonia montana* обладали гербицидной предпосевной или послевсходовой активностью, где концентрация 10 г сухой массы на 100 мл полностью ингибировала прорастание *C. arvensis* и *C. inflata*. Водорастворимые экстракты из всех частей *Rottboellia cochinchinensis* оказывали ингибирующее действие на рост растений *Bidens pilosa*, *Mimosa pudica*, *Ageratum conyzoides*, *Echinochloa crus-galli*, *Oryza sativa* и *Lactuca sativa* [71].

В настоящее время аллелопатия играет важную роль в исследованиях, связанных с устойчивым сельским хозяйством, таких как биологическая борьба с сорняками и вредителями. Современная тенденция состоит в том, чтобы найти биологическое решение для минимизации предполагаемого опасного воздействия гербицидов и инсектицидов в сельскохозяйственном производстве. В этом отношении вредное воздействие аллелопатии можно использовать для контроля вредителей и сорняков. Химические вещества, ответственные за феномен аллелопатии, обычно называют аллелохимикатами или фитотоксинами. Аллелохимикаты обычно классифицируются как вторичные метаболиты и продуцируются как ответвления в первичных метаболических путях растений. Многие такие природные соединения обладают потенциалом

вызывать широкий спектр биологических эффектов и могут обеспечить сельское хозяйство в борьбе с сорняками [72].

Аллелопатия, как инструмент, может быть в значительной степени использована для борьбы с проблемами загрязнения окружающей среды и развития устойчивости к гербицидам. Подавление сорняков путем использования аллелопатического феномена входит в число важных инновационных методов борьбы с сорняками [73]. Исследования показали, что аллелопатические практики могут отвечать всем этим требованиям; следовательно, в будущем аллелопатия может послужить основой для устойчивого сельского хозяйства (органическое, альтернативное, регенеративное, биодинамическое, низкое потребление или экономия ресурсов). Для достижения целей устойчивого сельского хозяйства текущие исследования включают селекцию растений, плодородие почвы, обработку почвы, защиту урожая и соки посева. Аллелопатия, являясь важным явлением в сельском хозяйстве, также важна для устойчивого сельского хозяйства. Таким образом, для обеспечения устойчивости будущие методы борьбы с сорняками должны сводить к минимуму использование химических гербицидов и использовать аллелопатические стратегии и другие методы борьбы с сорняками [74].

Овес, рожь, сорго, рис, подсолнечник, рапс, ячмень и пшеница были зарегистрированы как важные аллелопатические культуры [75]. Эти культуры проявляют свой аллелопатический потенциал, высвобождая аллелохимические вещества, которые не только подавляют сорняки, но также способствуют подпочвенной микробной активности. Smeda и Weller (1996) сообщили, что остатки ржи, срезанные или высушенные гербицидом на основе глифосата, контролировали более 89% сорняков и не оказывали какого-либо вредного воздействия на урожай томата [76]. Сообщалось, что различные линии *Beta vulgaris*, *Cucumis sativus*, *Hordeum vulgare*, *Lupinus* sp., *Oriza sativa*, *Pisum sativum* и *Triticum aestivum* ингибируют различные виды сорняков, и различия между этими линиями были обнаружены биологически и на молекулярном уровне [77].

Han et al. (2007) оценивали компост рисовых отрубей для борьбы с сорняками при органическом выращивании шпината в концентрации 10, 20 и 30% почвы в теплице и 2 кг/м² на поле. Компост из рисовых отрубей значительно снижал численность сорняков и массу как в тепличных, так и в полевых экспериментах [47].

V. Термическая борьба с сорняками

Растительные ткани чувствительны к высоким температурам, когда большинство физиологических функций нарушается из-за разрыва мембраны, денатурации белка и инактивации ферментов. Это привело к разработке стратегий борьбы с сорняками с использованием высоких температур. Большинство растений погибают после воздействия температуры между 45 и 55°C [78]. Для борьбы с сорняками тепло можно использовать по-разному, включая прямое сжигание, водяной пар, соляризацию и микроволновую технологию [55], которые обеспечивают быстрый контроль над сорняками, не оставляя химических остатков в почве и воде. Селективные по отношению к сорнякам, они не нарушают почву, но его эффективность зависит от температуры, времени воздействия и расхода энергии [79]. Термическая обработка убивает надземные

части растений, но они могут регенерировать и могут потребоваться повторные обработки.

Прополка пламенем

Пламя – это уникальная техника уничтожения сорняков с помощью прямого нагрева в форме огня. Огненная прополка наиболее распространена в европейских странах. Температура около 55°C используется для уничтожения сорняков, разрушая структуру клеточной стенки. Требования к топливу и температуре зависят от стадии роста сорняков и биомассы. Однако для эффективной борьбы с сорняками часто требуется частое воспламенение. Как правило, пропан используется в качестве топлива, но также рассматриваются относительно возобновляемые альтернативы, такие как водород. Сорняки, имеющие тонкие и широкие листья, такие как крапива, легко сжигаются в пламени, тогда как пастушья сумка и мятлик однолетний не могут быть сожжены за одну операцию. Во многих регионах пожар – это не угроза, а инструмент снижения конкуренции и улучшения круговорота питательных веществ. Быстрый ответ и быстрые результаты также являются отличительными чертами прополки пламенем. Разработаны логистические модели для оценки эффективности прополки пламенем и реакции видов сорняков на пламя [79].

Обработка горячей водой и паром

Рекомендуется использовать горячую воду в качестве направленного метода борьбы с сорняками между рядами овощных культур. Воду нагревают до 99°C, наносят поверх сорняков в объеме до 4680 л/га однократно, что эффективно против однолетних сорняков, двукратно – против многолетних сорняков (SMEDA & Weston, 1995). Pinel et al. (2000) показали, что паровая обработка до 100°C с помощью самоходной машины для обработки почвы повысила температуру в верхнем 10 сантиметровом слое почвы. Эффективность достигла 95-98% на поверхности почвы. Отмечена гибель пяти почвенных патогенов и *Pythium* sp. на глубине до 10 см. На легкой почве эффективная глубина поражения увеличилась до 15 см [80]. Hansson & Svensson (2004) указали, что паровая обработка может контролировать *S. vulgaris* и *C. album*. Обработка паром позволила сократить рабочее время до 60 ч по сравнению с ручным рыхлением (110 ч) [81].

Глубокое пропаривание (6 или более минут при 99-100°C) значительно уменьшило как плотность (примерно до 5,3% необработанного), так и процент покрова (3,3%) сорняков и запас семян (примерно до 9%) в почве по сравнению с необработанным участком [82]. Увеличение урожайности не было последовательным. На глубину почвы в 10 см достигнутая температура составляла минимум 70°C за 6-9 минут. На глубине 20 см температура не всегда была удовлетворительной. Обработка паром (около 2 минут и более при 99-100°C) на посадках разных сортов салата и капусты китайской значительно снижала численность сорняков и количество семян. На глубине почвы 2 см температура достигала 70°C или более в течение 10 минут. Согласно литературным данным, летальная температура для семян сорняков составляет около 60...80°C.

Тепло также можно использовать для уничтожения сорняков с помощью горячей воды. Обработка горячей водой для борьбы с сорняками была успешно опробована во мно-

гих странах [83]. В 1990-х годах в США был разработан коммерческий инструмент Aqua Heat для применения горячей воды для борьбы с сорняками. Применение горячей воды оказалось эффективным против большинства однолетних и большого количества многолетних сорняков. Эффекты были даже сопоставимы с применением глифосата. Подобные виды оборудования были успешно использованы против сорняков в Новой Зеландии, где горячая вода оставалась в контакте с сорняками в течение более длительного периода времени. Оборудование для борьбы с сорняками с использованием горячей воды применяется в Дании и Нидерландах. Обработка горячей водой безопасна и не имеет побочных эффектов, таких как прополка пламенем или радиационные методы. Его эффективность выше в густых популяциях сорняков из-за повышенной способности проникновения. Из-за большей успешности этот метод рассматривается в стратегиях точного управления сорняками в европейских странах. Использование пара вместо горячей воды считается более эффективным, быстрым и устойчивым методом, особенно в тех случаях, когда борьба с сорняками происходит на относительно твердых поверхностях. Необходимы инженерные усилия для повышения эффективности и доступности оборудования и внедрения нового оборудования для управления сорняками в растениеводстве.

Микроволны и излучения

Использование микроволновой энергии для уничтожения сорняков приобрело популярность в недавнем прошлом. Оно основано на высокой энергии микроволн, которые могут очень эффективно убивать сорняки. Этот метод имеет высокую точность [84]. Микроволны были успешно использованы в Дании для борьбы с *Malva parviflora* L., *Conyza bonariensis* L. и *Cucumis myriocarpus*. Эта технология эффективна против многих сорняков, но расход необходимой энергии очень высок, что увеличивает стоимость производства. Тем не менее, его эффективность и энергетический баланс могут быть уменьшены за счет конфигурации индукции теплового потока на сорняках, что делает его сопоставимым с другими инструментами борьбы с сорняками по стоимости [85]. Точно так же лазерное излучение может эффективно использоваться для уничтожения сорняков [84]. В Соединенных Штатах лазерные лучи использовались, чтобы уничтожить водные растения гиацинта. Лазеры передают высокую энергию тканям растений и повышают температуру воды на клеточном уровне, что приводит к гибели клеток.

Было проверено использование ультрафиолетового излучения для борьбы с сорняками [86]. Отмечено, что ультрафиолетовая энергия оказывает сильное воздействие на ткани растений, убивает сорняки, как пламя; однако ограниченное развитие этой технологии связано с возможными опасностями для здоровья. В этом конкретном аспекте необходимы дальнейшие исследования для разработки экономически жизнеспособных вариантов.

В зависимости от дозы, микроволновая обработка может убить или стимулировать прорастание семян сорняков. Brodie et al. (2009) обнаружили, что всхожесть семян райграса в верхних 10 см почвы была снижена до 2,5% в сравнении с необработанными областями, когда почва была влажной, а время облучения составляло 8 минут. Непроросшие семена размещались в пределах 5 см от поверхности почвы во влажной почве. В сухом песке, если семена не были в пределах 2 см от поверхности почвы, существенного влияния на

проращение семян сорняков не было. На всхожесть также не было влияния до тех пор, пока облучение не проводилось в течение 12 минут в сухой почве. Облучение с такой скоростью снижало всхожесть до 2% от тех, что в необработанных областях. Высокие температуры могут убить семена, а микроволны могут нагреть почву или семена, содержащие воду. Более низкие дозы микроволн могут повлиять на целостность белка, что может увеличить или уменьшить всхожесть [85].

Прополка электрическим током

Практика борьбы с сорняками с помощью удара током называется поражением электрическим током. Хотя это менее изученная область, доказательства подтверждают тот факт, что сорняки могут быть уничтожены искровым разрядом или электрическим контактом. Сила поражения электрическим током, длительность контакта или воздействия, виды сорняков, морфологические особенности и стадия роста значительно влияют на успех поражения электрическим током. Серьезность повреждения усугубляется на засушливых почвах [87]. Однако из-за более высоких затрат, энергетических кризисов и опасностей для операторов его применение в сельском хозяйстве ограничено. В будущем этот конкретный метод может иметь практические последствия, особенно в устойчивом сельском хозяйстве.

Линза Френеля: инструмент, который концентрирует солнечное излучение в линию или точку. Линейная линза Френеля (0,91 x 1,52 м, фокусное расстояние 0,74 м, фокус на линии 0,01-1,52 м) была исследована в качестве метода борьбы с сорняками. Полевые эксперименты проводились для оценки влияния концентрированной солнечной радиации линзы Френеля при различных периодах времени облучения, стадиях роста растений и условиях влажности поверхности почвы. На сухой поверхности почвы время экспозиции от 1 до 10 с при 290°C привело к контролю многолетних корневищных сорняков: от 100% для экспозиции 1 с на стадии семядолей, до 89% для экспозиции 10 с на стадии 10 листьев. Эффективность была снижена на влажной почве по сравнению с сухой поверхностью почвы. Johnson et al. (1990) сообщили, что линза производила линейный фокус 1 x 150 см со средней температурой 309°C. Эффективность составила 100% против щетинника зеленого, кохии, портулака и дикой гречихи. Концентрированное солнечное излучение линзы Френеля обладает наибольшим потенциалом воздействия на семена сорняков на поверхности почвы [87]. Серия линз Френеля и/или более крупных линз может потребоваться для многих практических полевых применений.

Соляризация почвы

Соляризация почвы – это нехимический метод, который успешно используется во многих странах для борьбы с почвенными болезнетворными микроорганизмами, передающимися через почву, сорняками и нематодами. Соляризация включает использование прозрачного полиэтиленового покрытия для улавливания тепла от солнечного излучения и повышения температуры почвы до уровня, который смертелен для семян и ростков сорняков [78]. Перед соляризацией почву обычно орошают и на нее наносят пластиковую пленку для мульчирования. Эффект соляризации выше в верхнем слое (5-10 см) почвы, чем в нижнем.

На успех соляризации почвы влияет интенсивность и длительность воздействия солнечного света. В течение

следующих 12 месяцев после соляризации продолжительностью одного месяца наблюдалось значительное снижение всхожести семян сорняков [55]. В связи с этим Haidar & Sidahmed (2000) обнаружили, что соляризация в течение 2, 4 и 6 недель с куриным навозом увеличила среднюю массу растений капусты на 55, 70 и 75% соответственно по сравнению с контролем. Candido et al. (2011) обнаружили, что средняя товарная урожайность салата оказалась значительно выше в соляризованной почве, чем в необработанном контроле как в теплице, так и в поле [9].

Соляризация почвы является перспективным методом сокращения популяций почвенных вредителей и сорняков без использования пестицидов. Эффективность борьбы с сорняками зависит от влажности почвы, достаточно высоких температур воздуха и солнечной радиации, а также от адекватной продолжительности воздействия. Влажная почва необходима для теплопроводности и для сохранения семян в более восприимчивом, увлажненном состоянии. Соляризация является экономически эффективной практикой управления с низким уровнем риска для мелких фермеров и может повысить урожайность путем уменьшения числа сорняков до 36% на 1 м² [90].

Соляризация в сочетании с другими методами борьбы с сорняками контролирует однолетние сорняки, такие как *Poa annua*, *Portulaca oleracea*, *Amaranthus retroflexus* и *Echinochloa crusgalli* [91]. Stapleton et al. (2005) показали, что при соляризации количество сорняков снижается на 86-94%, а их биомасса уменьшается на 94-99%, урожайность петрушки листовой увеличивается 6,7-20 раз по сравнению с необработанным контролем [92]. Vito et al. (2000) сообщили, что соляризация почвы в течение 6-недельного периода эффективно контролировала как нематоды, так и сорняки, и, следовательно, увеличила урожайность товарной моркови по сравнению с несоляризованной [93].

Использование старого полиэтилена (т.е. ранее использованного) обеспечивает чрезвычайно недорогой метод соляризации. Удивительно, но использование старого полиэтилена оказалось даже более эффективным, чем новые материалы. Это связано с изменениями фотометрических свойств выдержанной мульчи. Чтобы сделать соляризацию почвы широко приемлемой для фермеров, может потребоваться усовершенствование процесса соляризации. Механическое применение и мульчирующие материалы нового поколения, такие как фоторазлагаемая и биоразлагаемая пленка, могут устранить проблему утилизации.

Мульчирование

Мульчирование широко используется в производстве овощей. Мульча может быть натуральной, такой как солома, опилки, сорняки, остатки бумаги и растений или синтетические (пластик) [94]. Покрытие почвы органическими или синтетическими материалами зарегистрировано как безопасный метод борьбы с сорняками по сравнению с применением гербицидов. Экономия воды при пластиковом мульчировании составляет более 50% по сравнению с гербицидами или ручной прополкой, а преимущества мульчирования увеличиваются при нехватке воды.

Мульчирование увеличивает урожайность капусты, томата, бамии, лука и других культур, подавляет сорняки за счет их физического присутствия на поверхности почвы (путем затенения, понижения температуры почвы, аллело-

патической активности и блокирования света, необходимого для прорастания мелких семян сорняков). Riley et al. (2004) обнаружили, что урожайность свеклы после мульчирования составляла 135% и 123%, капусты – 124% и 118% при ручной прополке и без нее, соответственно [95].

Применение мульчи дало более высокую раннюю и общую урожайность дыни и арбуза, чем в контроле – без применения мульчи. Ранний и максимальный общий урожай дыни получены при мульчировании: 53-90% и 37-63% в органическом земледелии и 59-100% и 35-59% в традиционном соответственно. Эти показатели выше при совместном применении минеральных удобрений и черной мульчи на 2,63 и 5,39 кг/м², соответственно. Ранний и общий урожай арбуза были увеличены при мульчировании на 16-38% и 14-30% в органическом и на 18-39% и 20-32% в традиционной технологии соответственно [96].

Ингибирующее действие органической мульчи на сорную растительность может быть обусловлено как физическим (уменьшенное прохождение солнечного излучения и температурного диапазона на поверхностном слое почвы) эффектом подавления появления всходов, так и возможными химическими эффектами, возникающими в результате выделения аллелохимикатов соломой. Кроме того, аллелопатическое взаимодействие и химические/биологические эффекты мульчирования включают изменения рН и динамики питательных веществ в почве.

Температура почвы обычно повышается от 1 до 3°C под черной и от 3 до 5°C под прозрачной пластиковой мульчей. Такое повышение температуры обеспечивает стимуляцию роста овощных культур в начале сезона, которые реагируют на повышенные температуры почвы (огурец, кабачок, арбуз, перец, томат и кукуруза сладкая). Только непрозрачная (коричневая или черная) пластиковая мульча обеспечивает высокую эффективность борьбы с сорняками, прежде всего за счет ограничения воды. Пластиковая мульча не должна использоваться там, где присутствуют ползучие многолетние сорняки, так как они могут проколоть пластик, доставляя свет для стимулирования прорастания дополнительной сорной растительности.

Abdul-Baki & Teasdale (1993) обнаружили, что черный полиэтилен превосходил органическую мульчу в повышении урожайности плодов томата, в то время как при применении в качестве мульчи вики посевной общий урожай плодов был в два раза выше, чем в контроле – без мульчи и значительно выше по сравнению с использованием черной полиэтиленовой мульчи [97]. Между тем, Hussein & Radwan (2004) сообщили, что черная пластиковая мульча давала наивысший урожай гороха, за ней следовала мульча из рисовой соломы, а третья – белая полиэтиленовая мульча [98]. McMillen (2013) показал, что в течение первых 3 дней слой мульчи по меньшей мере на 5 см уменьшал поверхностное испарение до 40% по сравнению с потерями воды из почвы без мульчи, и все типы мульчи были одинаково эффективными. Удваивая толщину мульчи с 5 см до 10 см, поддерживается влажность почвы на 10% выше по сравнению с вариантом без мульчи. Однако корневая система *C. arvensis* может проникать в мульчу высотой >15 см [99].

VI. Химический контроль сорняков

Основу борьбы с сорняками составляют шести-, восьмипольные севообороты, включающие культуры с высо-

кой конкурентоспособностью (люцерна, клевер, озимые зерновые) и ранние предшественники (викоовсяная смесь, картофель ранний и др.), позволяющие уничтожать однолетние и многолетние сорняки непосредственно в период вегетации культур или после их уборки с применением глифосатсодержащих препаратов, 2,4-Д, Банвела и их баковых смесей в зависимости от чувствительности многолетников к гербицидам [61].

Свекла столовая. Хорошие результаты в борьбе с сорняками на посевах свеклы столовой дает использование гербицидов в системе защитных мероприятий. При возделывании свеклы с минимальными затратами труда важно уничтожить сорные растения в посевах культур, предшествующих ей в севооборотах. Целесообразно размещать свеклу на полях, обработанных по типу полупара, хорошо очищенных от сорняков, где не применяли Стомп в больших нормах, к которому она особенно чувствительна. При средней и слабой засоренности поля проводят двух или трехкратную обработку посевов свеклы баковой смесью Бетанал макс Про + Карибу (1,25 л/га + 20 г/га) по первой, второй и третьей волнам сорняков, позволяющей максимально очистить их от однолетних двудольных сорняков и практически выращивать культуру без ручных прополок. Стоит отметить, что Карибу в России на столовой свекле не зарегистрирован.

Если в сорном агроценозе доминируют однолетние злаковые сорняки и при высокой засоренности лучше применять в течение 2-3 дней после посева свеклы Дуал Голд 1,3-2,0 л/га или Фронтьер Оптима в нормах 0,8-1,2 л/га. Для активации гербицида Фронтьер Оптима достаточно выпадения 10-16 мм осадков в течение 7 дней после применения, при этом гибель однолетних сорных растений варьирует от 64 до 85%. Для полного подавления сорняков применяют двухкратное послевсходовое опрыскивание посевов Бетанал Эксперт ОФ 1,5 л/га в фазы 2 и 4 листьев культуры [100].

Капуста, выращенная безрассадным способом, сильно засоряется сорняками в начале вегетации. Их трудно своевременно уничтожить механическими средствами. Для борьбы с сорняками в течение 3 дней после посева применяют Бутизан 400 1,5-2,0 л/га, Фист 3,0-4,5 л/га или Дуал Голд 1,3-1,6 л/га. Применение Бутизан 400 целесообразно до появления всходов сорняков и культуры, если в течение 7-10 суток после обработки выпадут осадки (15-25 мм) или проводят 1-2 полива дождеванием (100-150 м³/га). В регионах с недостаточным увлажнением и отсутствием возможности полива предпочтительнее применять Фист.

На посадках капусты против однолетних сорняков чаще применяют Бутизан 400 1,5-2,0 л/га через 1-3 дня после высадки под приживочный полив дождеванием (200 м³/га). При такой же технологии эффективность использования баковой смеси Бутизан 400 + Комманд (1,5+0,15 л/га) была на 10-15% выше эффективности отдельного внесения Бутизана 400 2,0 л/га, в основном за счет полного уничтожения таких вредоносных сорных растений как: марь белая, крестовник обыкновенный, галинсога мелкоцветковая, подмаренник цепкий. Если через 3-4 недели после внесения почвенных гербицидов появляются двудольные сорняки их уничтожают гербицидом Галион в нормах 0,27-0,31 л/га в ранних фазах развития (семядоли-2 листа) [101]. Стоит отметить, что Комманд на капусте в РФ не зарегистрирован.

Морковь – до всходов обрабатывают гербицидом Стомп Профессионал 3,0-3,5 л/га, Рейсером 2-3,0 л/га или Гезагардом 3,0 л/га. Внесение гербицидов в течение 3 дней после посева дадут высокий эффект, если в течение 7-10 дней после обработки выпадут осадки (20-30 мм) или провести 1-2 полива дождеванием (150-200 м³/га). Наиболее эффективно применение Гезагарда в норме 2,0-2,5 л/га в фазе 1-2 листьев моркови по вегетирующим сорным растениям в ясную солнечную погоду с температурой 20-25°C.

Гербицид Рейсер в значительной мере инактивируется в почве за 6-9 месяцев, однако в засушливые годы распадается медленно и может оказать отрицательное последствие на лук, томат, тыквенные и крестоцветные культуры. Это надо учитывать при размещении культур в севообороте на следующий год [102].

Лук репчатый, выращиваемый из семян, слабо конкурирует с сорняками и засоряется на протяжении всего периода вегетации. Для предотвращения высокой засоренности посевов, лук следует размещать на полях, обработанных по типу полупара, свободных от многолетних сорняков. Высокий эффект в борьбе с сорняками дает предпосевная фрезерная обработка почвы. Из гербицидов почвенного действия на луке разрешены только препараты, содержащие действующее вещество пендиметалин, применяемые чаще в течение 3 дней после посева (Стомп Профессионал 3,0 л/га). Непременным условием для проявления гербицидной активности его – достаточная влажность почвы. Поэтому при отсутствии дождей проводят поливы нормой 100-150 м³/га с интервалом 5-6 дней. Токсичное действие Стомп Профессионала на сорняки продолжается в течение 6-8 недель. Он хорошо очищает посевы лука от мари белой, проса куриного, щиряцы запрокинутой, горчицы полевой, горца почечуйного, но слабо действует на галинсогу мелкоцветковую и дымянку лекарственную. Сравнительно устойчивыми к гербициду были крестовник обыкновенный и осот огородный. Для борьбы с вновь появившимися сорняками используют Гоал в нормах 0,4-0,5 л/га и 0,5-0,6 л/га в фазах двух и 3-4 листов лука соответственно. Одно из важных условий для получения высокого эффекта от применения гербицида - ранняя стадия развития сорняков перед обработкой (до 4-х листьев), равномерное смачивание им листостебельной массы сорных растений и воздержание от рыхления почвы в междурядьях в течение 5-7 дней. Нежелательно вносить Гоал 2Е после дождя или полива, так как при этом усиливается действие гербицида на лук. В таком случае опрыскивание лука лучше проводить через 3-5 дней, когда на листьях лука восстановится восковой налет, и они станут более устойчивыми к гербициду. Дождь, прошедший через 5-6 часов после применения Гоал 2Е, не влияет на его эффективность. Наиболее благоприятная температура воздуха в период опрыскивания гербицидом 18-25°C. Теплая с осадками погода способствует более быстрому и активному действию Гоал 2Е, в тоже время как при длительной засухе и прохладной погоде он менее эффективен. Высокорослые сорняки, сформировавшиеся в жаркую погоду, устойчивы к Гоал 2Е в нормах, применяемых на луке. Высокий эффект в борьбе с сорняками и гарантируемая безопасность гербицида достигается в тех случаях, когда им обрабатываются активнорастущие, одинаковые по развитию растения лука нормальной густоты [103].

Чеснок хорошо очищается от сорняков после двукратной обработки гербицидами. Стомп Профессионал 3,0 л/га или Гезагард 3,0 л/га применяют в течение 3 дней после посадки осенью или весной. Чеснок осенней посадки в фазе 3-4 листь-

ев обрабатывают весной Гоал 2Е 0,4-0,5 л/га по взошедшим однолетним двудольным сорнякам (фаза семядоли- 4 листьев), весенней посадки – через 3-4 недели после первой обработки Гоал 2Е 0,5-0,6 л/га. Все послевсходовые обработки гербицидами должны обязательно завершаться не позднее фазы 4-5 листьев чеснока. Стоит отметить, что Стомп Профессионал в РФ на чесноке не зарегистрирован.

Защита овощных культур от однолетних злаковых сорняков в период вегетации успешно решается внесением высокоэффективных, избирательных гербицидов: Фюзилад Форте, Тарга Супер, Центурион Нео, Пантера и др., разрешенных к применению в России.

Одно из главных условий эффективного применения гербицидов – правильный выбор препарата, исходя из степени засоренности конкретного поля, сопоставления видового состава сорняков со спектром его действия, а для послевсходовых гербицидов и фазовой чувствительности сорняков в момент обработки. Также большое значение имеет безукоризненная работа опрыскивателя, точное соблюдение нормы применения гербицида, равномерность его распределения на обрабатываемой площади. Важно уточнить регламенты внесения гербицидов применительно к местным условиям, конкретному хозяйству, возделываемым культурам, орошению, способам полива и др. На почвах с высоким содержанием гумуса и при внесении больших доз органических удобрений, высокой засоренности, особенно трудноискореняемыми сорняками, нормы гербицидов должны быть максимальными, а на бедных, легких по механическому составу – минимальными. Их также уменьшают при возделывании ранних культур и сортов, в посевах и посадках с ослабленными растениями.

Экономически невыгодно обрабатывать гербицидами сильно изреженные посевы, даже если можно получить высокий эффект в борьбе с сорняками. В этом случае, как правило, затраты на химическую прополку не окупаются полученной продукцией.

Эффективность гербицидов почвенного действия во многом зависит от состояния поверхности поля перед обработкой и количества осадков, выпавших в первые семь дней после обработки. Чем лучше разделана почва, тщательно выравнено поле и с осадками (15-30 мм) произошло проникновение гербицида на глубину почвы 1-6 см, который из почвенного раствора будут поглощать прорастающие сорные растения, тем выше эффективность гербицида. Орошение позволяет наиболее полно реализовать потенциальные возможности гербицидов почвенного действия. Оно выполняет регулирующую роль – активизирует или снижает фитотоксичность, причем этот процесс при необходимости можно корректировать в определенных пределах, изменяя нормы и сроки поливов, особенно при капельном орошении, когда дневная норма составляет 80-100 м³/га и за период вегетации проводится 10-18 поливов.

Существенное внимание на активность гербицидов оказывают и погодные условия. Оптимальный диапазон температур для эффективного действия большинства гербицидов – 13-25°C, при низких температурах тормозится прорастание сорняков, гербициды на них слабо действуют. Погодные условия, характеризующиеся длительным периодом пониженных температур в сочетании с частыми осадками, неблагоприятны для сельскохозяйственных культур, выращиваемых на гербицидном фоне. При этом гербициды отрицательно действуют на культурные растения и особенно посеянных или высаженных с опозданием, когда после их внесения

температура почвы превышала 25°C. Высокие температуры активизируют действие многих гербицидов, но наряду с этим ускоряют их разложение.

В производственных условиях желательно применять гербициды, активное действие которых ограничено одним сезоном или годом, чтобы исключить возможность их отрицательного последствие на культуры севооборота. Во всех случаях применения гербицидов для контроля за их действием и эффективностью необходимо оставлять участок посева без химической обработки (20-100 м²). Иногда, вследствие превышения нормы применения или в связи с неблагоприятными погодными условиями, от действия гербицидов угнетаются культурные растения. Для уменьшения фитотоксичности культур, пострадавших от гербицидов, проводятся подкормки минеральными и органическими удобрениями, посевы обрабатывают микроэлементами, регуляторами роста.

Точное соблюдение зональных рекомендаций, разработанных с учетом почвенно-климатических особенностей земледелия, гарантирует высокий эффект от применения гербицидов в технологиях интенсивного выращивания овощных культур. Применять гербициды следует, прежде всего, в крупных овощеводческих хозяйствах с использованием передовых технологий и только в случаях, когда это диктуется производственной необходимостью (агротехнические приемы малоэффективны) при полной экологической безопасности.

Практика передовых агрохолдингов, специализирующихся на производстве овощей, и полевые опыты свидетельствуют, что даже самые радикальные приемы и методы при бессистемном их применении не дают высокого эффекта в снижении засоренности полей. Только планомерная, рассчитанная на ряд лет система защитных мероприятий в севооборотах с применением прогрессивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур до минимума уменьшает засоренность полей, значительно снижает затраты по уходу за посевами, предотвращает потери урожая от сорняков.

VII. Резистентность сорных растений к гербицидам

В течение десятилетий во всем мире производители все больше полагаются на гербициды для эффективного управления сорняками. Мировое применение гербицидов составляет 47,5% от 2 млн тонн пестицидов, используемых ежегодно. Это неудивительно, учитывая значительный успех как с экономической, так и с точки зрения эффективности гербицидов, начиная с их введения и широкого применения после Второй мировой войны [56]. Потенциальные проблемы, связанные с использованием гербицидов – это повреждение нецелевой растительности, фитотоксичность, остатки в почве и воде, токсичность по отношению к другим целевым организмам, проблемы для здоровья и безопасности человека и устойчивые к гербицидам популяции сорняков [104].

Быстроразвивающиеся биотипы сорняков, устойчивых к гербицидам, представляют серьезную угрозу для сельскохозяйственного производства. До настоящего времени было идентифицировано 392 биотипа сорняков, устойчивых к гербицидам. Перекрестная устойчивость быстро развивается у сорняков, они стали устойчивыми к тем химическим веществам, которые впервые применены или относятся к разным химическим классам [105]. Jabran et al. (2015) высказали мнение, что устойчивость или перекрестная резистентность среди сорняков представляет серьезную угрозу для гербицидной промышленности и практики борьбы с сорняками [106]. Поскольку современные гербицидные продукты теряют свою эффективность из-за развития устойчивости,

химический контроль над сорняками оказывается более сложным, а количество действующих веществ также сокращается из-за законодательных ограничений. Это усугубляется отсутствием инноваций, поскольку в течение 30 лет не было введено никаких новых механизмов действия гербицидов [103].

Устойчивые к гербицидам сорняки угрожают мировому производству сельскохозяйственных культур, и это требует продуманного подхода к управлению резистентностью. Для достижения этой цели борьба с сорняками должна основываться на основе эко-эволюционных отношений между сельскохозяйственными культурами и сорняками. Такая система снижает репродуктивность популяций сорняков. Критическим для производителя является понимание природы устойчивых сорняков и развитие связей между определенным поведением и появлением различных типов устойчивости к гербицидам.

Неселективные гербициды, такие как глифосат и глюфосинат, способствуют расширению спектра контролируемых сорняков, что особенно важно в системах с нулевой обработкой почвы. Глифосат является наиболее широко используемым гербицидом в мире, и литература о его применении и характеристиках обширна.

VIII. Роботы в контроле сорняков на овощных культурах

Овощные культуры составляют большую часть сельскохозяйственного производства. Существует большой разброс и ограниченная доступность специализированных гербицидов. Борьба с сорняками, включающая обнаружение и удаление сорняков, приобрела за последние годы значительную популярность в точном земледелии [108], в связи с его большим потенциалом для повышения эффективности прополки при снижении экологических и экономических затрат.

Машинное зрение отделяет овощную культуру от сорняков. Каждый сорняк в ряду обрабатывается точечным нанесением гербицида, не оказывая отрицательного влияния на культуру. Это приводит к значительному сокращению использования гербицидов и позволяет использовать те из них, которые могут повреждать культуру. Робот специально разработан для этой цели с учетом затрат, ремонтпригодности, эффективной работы и надежности. Испытания в горшках с четырьмя видами сорняков продемонстрировали, что система Drop-on-Demand (DoD) может контролировать сорняки: 7,6 мкг глифосата или 0,15 мкг йодосульфурона на одно растение. Полевые испытания с роботом были проведены на морковном поле, и все сорняки эффективно контролировались с помощью системы DoD. Применяя 5,3 мкг глифосата, экономия гербицида составила от 73 до 95% (снижение нормы расхода до 50 г/га). Более уместно сравнение с наиболее часто используемыми селективными гербицидами в моркови. Сочетание аклонифена и метрибузина – наиболее распространенное применение при стандартной гербицидной защите моркови, максимум 3 обработки с общей нормой 1050 г/га аклонифена и 106 г/га метрибузина [109].

Однако исследование (Kunz et al., 2018) указывает на то, что комбинация тактик может максимизировать эффективность прополки [110], названная интегрированной борьбой с сорняками [111]. Такая система по своей сути позволяет использовать альтернативно уничтожение сорняков в зависимости от конкретных видов сорняков в поле, что дополнительно повышает эффективность прополки.

В ближайшем будущем робототехника и дроны могут улучшить своевременный мониторинг полей за счет использова-

ния электронного оборудования, программного обеспечения и датчиков, которые могут различать культурные растения от сорняков. Тем не менее, эти инструменты ограничены для текущего сельскохозяйственного производства, потому что по-прежнему существует много проблем в борьбе с сорняками на больших полях, особенно из-за низкой автономности дронов.

IX. Агро-нанотехнологии

Если действующее вещество препарата контролируется постепенным высвобождением из нанокапсулированных препаративных форм, то повторное применение гербицидов в полевых условиях будет сведено к минимуму, а также может быть уменьшено неблагоприятное воздействие на растения и окружающую среду [112]. Недавно Zhao et al. (2018) подчеркнули важность наноразмерных экологически чистых препаративных форм пестицидов, которые могут отвечать требованиям биосовместимости и биодоступности [113], позволяя включать различные стратегии интегрированной борьбы с сорняками и вносить вклад в разработку и внедрение зеленых нанотехнологий [114]. Однако прежде чем эти инструменты можно будет коммерциализировать, необходимы дополнительные исследования и дальнейшие разработки.

X. Комплексное управление сорняками

Одно из определений комплексного управления сорняками подразумевает методы борьбы с сорняками, которые не требуют гербицидов или рационального их использования. Комплексное управление сорняками включает в себя более одного метода контроля, а именно: чистоту семян, сорта культур, сроки и способы посадки, культивирования, соляризации почвы, совместимость, севооборот, управления водными ресурсами, внесения навоза, биологического контроля и гербицидов.

XI. Преимущества устойчивого управления сорняками

Преимущества рассматриваются в контексте окружающей среды, общества и экономики: улучшение сохранения почвы и воды, смягчение последствий глобального потепления, улучшение биоразнообразия, сокращение стойкого загрязнения, увеличение концентрации пищевых питательных веществ, снижение токсической нагрузки у взрослых и детей, которые едят органические продукты, улучшение условий для сельскохозяйственных рабочих, конкурентоспособный урожай, надбавки к цене, каналы прямого маркетинга для потребителей, более низкие входные затраты, более высокий доход, улучшенная устойчивость или более низкая волатильность, экономия энергии и доход от углеродных рынков.

Выводы и необходимость в будущем

Фермеры имеют в своем арсенале ряд профилактических и агротехнических методов, которые они могут объединить для выработки хорошей стратегии борьбы с сорняками. Выбор метода зависит от наличия денег и рабочей силы, доступа к техническим средствам (например, семена, удобрения, гербициды), экологических, социальных и экономических характеристик, которые могут ограничивать диапазон возможного агрономического выбора (например, продолжительность вегетационного периода, распределение осадков и температуры, степень минерализации почвы, структура фермы и рынка, наличие консульта-

тивных услуг и т.д.). Тем не менее, самая высокая диверсификация системы земледелия (то есть последовательности культур и связанных с ней культурных практик), основанная на агроэкологических принципах, является ключом к эффективному долгосрочному управлению сорняками в любых ситуациях. В этом отношении всегда должно осуществляться систематическое включение профилактических, агротехнологических и других возможных методов борьбы с сорняками. Это, очевидно, подразумевает, что фермеры должны получать образование, чтобы приобретать более высокий уровень знаний и технических навыков. Простые решения, такие как монокультура и использование гербицидов как единственного метода прямого контроля над сорняками, могут быть успешными в краткосрочной перспективе, но никогда не принесут пользы в долгосрочной перспективе. Способы борьбы с сорняками, такие как обработка почвы и применение органических удобрений могут изменить засоренность посевов, а также конкуренцию сообщества сорняков в долгосрочном управлении, если не будут найдены другие эффективные альтернативные методы борьбы. Разнообразные севообороты с тщательным контролем над сорняками являются основополагающими для устойчивых и экологических систем выращивания сельскохозяйственных культур.

Неправильное использование химических гербицидов наносит ущерб окружающей среде и здоровью человека, способствует появлению устойчивости к гербицидам у сорняков. Таким образом, в преобладающих условиях необходим набор альтернативных инструментов управления сорняками. Все методы защиты растений от сорной растительности направлены на защиту окружающей среды, практическую жизнеспособность, совместимость для интегрированных программ и экологическую стабильность. Правильный выбор одной или нескольких из этих стратегий в соответствии с географическими, сельскохозяйственными и социально-экономическими условиями может обеспечить эффективный контроль над сорняками. Ни один из них не способен полностью заменить химический контроль сорняков. Однако комплексный подход может привести к успеху. Разнообразная природа этих стратегий может быть очень полезна против проблемных и устойчивых сорняков. Необходимы дальнейшие исследования для оптимизации этих инструментов для повышения эффективности и практической пригодности. В долгосрочной перспективе единая мера по борьбе с сорняками может оказаться неэффективной, и, таким образом, комплексное управление сорняками на основе передовых нетрадиционных стратегий будет прагматичным вариантом в современном интенсивном устойчивом сельском хозяйстве.

Если целью следующего поколения борьбы с сорняками является снижение общей зависимости от гербицидов, то борьба с сорняками должна рассматриваться как эволюционная проблема. В настоящее время актуально снижение устойчивости сорняков к гербицидам посредством интеграции биохимического, агрономического, экологического контроля над ними и социальных наук. Наконец, можно сделать вывод, что успешные и устойчивые системы управления сорняками - это те, которые используют интеграцию между различными методами, а не зависят от одного метода. Необходимы дальнейшие исследования новых технологий и методов борьбы с сорняками в сельском хозяйстве, в том числе в овощеводстве.

Об авторах:

Алексей Васильевич Солдатенко – доктор с.-х. наук, чл.-корр. РАН, гл.н.с., alex-soldat@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9492-6845>
Александр Михайлович Менших – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и инноваций, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>
Александр Юрьевич Федосов – младший научный сотрудник отдела технологий и инноваций, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>
Иван Иванович Ирк – кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-1256-7621>
Мария Ивановна Иванова – доктор сельскохозяйственных наук, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, автор для переписки, ivanova_170@mail.ru

About the authors:

Alexey V. Soldatenko – Doc. Sci. (Agriculture), corresponding member of RAS, Chief Scientist, Director, alex-soldat@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-9492-6845>
Alexander M. Menshikh – Cand. Sci. (Agriculture), Leading Researcher, Technology and Innovation Department, <https://orcid.org/0000-0001-7254-8487>
Alexander Yu. Fedosov – Junior Researcher, Technology and Innovation Department, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>
Ivan I. Irkov – Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-9492-8667>
Maria I. Ivanova – Doc. Sci. (Agriculture), Professor of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher of the Department of Breeding and Seed Production, <https://orcid.org/0000-0001-7326-2157>, Correspondence Author, ivanova_170@mail.ru

• Литература / References

- Sopeña F.M.C., Morillo E. Controlled release formulations of herbicides based on micro-encapsulation, Literature Review. *Cien. Invas. Agr.* 2009;35(1):27-42.
- Kraehmer H., Baur P. Weed anatomy. London: Wiley-Blackwell, 2013. 504 p.
- Rao S. Principles of weed science. 2ed. New York: Science Publishers, 2000. 526 p.
- Hussein H.F. Estimation of critical period of crop-weed competition and nutrient removal by weeds in onion (*Allium cepa* L.) in sandy soil. *Egypt. J. Agron.* 2001;24(1):43-62.
- Oerke E.C. Crop losses to pests. *J. Agric. Sci.* 2006;144(1):31-43.
- Sharma A.R. Weed management in conservation agriculture systems-problems and prospects. In *National Training on Advances in Weed Management*, held at DWSR, Jabalpur on 14–23 January, 2014. P.1–9.
- Bahadur S., Verma S.K., Prasad S.K., Madane A.J., Maurya S.P., Verma V.K. and Sihag S.K. Eco-friendly weed management for sustainable crop production - A review. *J Crop and Weed.* 2015;11(1):181–189.
- Спирidonov Ю.А., Шестаков В.Г. Рациональная система поиска и отбора гербицидов на современном этапе. М., ВНИИФ, РАСХН, 2006. 266 с. [Spiridonov Yu.A., Shestakov V.G. Rational system of search and selection of herbicides at the present stage. Moscow, VNIIF, RAAS, 2006. 266 p.]
- Candido V. Weed control and yield response of soil solarization with different plastic films in lettuce. *Sci. Hortic.* 2011;130(3):491-497.
- Filizadeh Y., Rezaazadeh A. and Younessi Z. Effects of crop rotation and tillage depth on weed competition and yield of rice in the paddy fields of northern. *Iran J Agric Sci Tech.* 2007;(9):99–105.
- Marshall E.J.P., Brown V.K., Boatman N.D., Lutman P.J.W., Squire G.R. and Ward L.K. The role of weeds in supporting biological diversity within crop fields. *Weed Res.* 2003;(43):77–89.
- Garrison A.J., Miller A.D., Ryan M.R., Roxburgh S.H. and Shea K. Stacked crop rotations exploit weed-weed competition for sustainable weed management. *Weed Sci.* 2014;(62):166–176.
- Baker B.P. and Mohler C.L. Weed management by upstate New York organic farmers: strategies, techniques and research priorities. *Renew. Agric Food Syst.* 2014. <http://dx.doi.org/10.1017/S1742170514000192>.
- Gonzalez-Diaz L., Van Den Berg F., Van Den Bosch F. and Gonzalez-Andujar J.L. Controlling annual weeds in cereals by deploying crop rotation at the landscape scale: *Avena sterilis* as an example. *Ecol Appl.* 2012;(22):982–992.
- Feizabady A.Z. Effects of crop rotation and residue management on bread wheat. *African J Plant Sci.* 2013;7(5):176–184.
- Davis A.S. and Liebman M. Cropping system effects on giant foxtail (*Setaria faberi*) demography: green manure and tillage timing. *Weed Sci.* 2003;(51):919–929.
- Buhler D.D. Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Sci.* 2002;(50):273–280.
- Chamanabad H.R.M., Ghorbani A., Asghari A., Tuliokov A.M. and Zargarzadeh F. Long-term effects of crop rotation and fertilizers on weed community in spring barley. *Turk J Agric.* 2009;(33):315–323.
- Arentoft B.W., Ali A., Streibig J.C. and Andreassen C. A new method to evaluate the weed-suppressing effect of mulches: a comparison between spruce bark and cocoa husk mulches. *Weed Res.* 2013;(53):169–175.
- Yeganehpour F., Salmasi S.Z., Abedi G., Samadiyan F. and Beyginiya V. Effects of cover crops and weed management on corn yield. *J Saudi Society of Agric Sci.* 2015;14(2):178–181.
- Talebbeigi R.M. and Ghadiri H. Effects of cowpea living mulch on weed control and maize yield. *J Biol Env Sci.* 2012;6(17):189–193.
- Mirsky S.B., Gallandt E.R., Mortensen D.A., Curran W.S. and Shumway D.L. Reducing the germinable weed seed bank with soil disturbance and cover crops. *Weed Res.* 2010;(50):341–352.
- Altieri M.A., Lana M.A., Bittencourt H.V., Kieling A.S., Comin J.J. and Lovato P.E. Enhancing crop productivity via weed suppression in organic no-till cropping systems in Santa Catarina. *Brazil J Sustain Agric.* 2011;(35):855–869.
- Haramoto E.R. and Gallandt E.R. Brassica cover cropping for weed management: a review. *Renew. Agric. Food Syst.* 2004;(19):187–198.
- Dube E., Chiduzo C., Muchaonyerwa P., Fanadzo M. and Mthoko T. Winter cover crops and fertiliser effects on the weed seed bank in a low-input maize-based conservation agriculture system. *South Afr J Plant Soil.* 2012;(29):195–197.
- Graglia E., Melander B. and Jensen R.K. Mechanical and cultural strategies to control *Cirsium arvense* in organic arable cropping system. *Weed Res.* 2006;(46):304–312.
- Liebman M. and Davis A.S. Integration of soil, crop, and weed management in low external-input farming systems. *Weed Res.* 2000;(40):27–47.
- Jordan N.R., Zhang J. and Huerd S. Arbuscular-mycorrhizal fungi: potential roles in weed management. *Weed Res.* 2000;(40):397–410.
- Thorsted M.D., Olesen J.E. and Weiner J. Width of clover strips and wheat rows influence grain yield in winter wheat/white clover intercropping. *Field Crops Res.* 2006;(95):280–290.
- Yousefi A.R. and Rahimi M.R. Integration of soil-applied herbicides at the reduced rates with physical control for weed management in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Crop Prot.* 2014;(63):107–112.
- Jamshidi K., Yousefi A.R. and Oveisi M. Effect of cowpea intercropping on weed biomass and maize yield. *New Zeal. J Crop Hort.* 2013;41(4):180–188.
- Steinmaus S., Elmore C.L. and Smith R.J. Mulched cover crops as an alternative to conventional weed management systems in vineyards. *Weed Res.* 2008;(48):273–281.
- Hollander N.G., Bastiaans L. and Kropff M.J. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design. I. Characteristics of several clover species. *Eur J Agron.* 2007;26(2):92–103.
- Yadollahi P., Borjibad A.R., Khaje M., Reza M., Asgharipour and Amiri A. Effect of intercropping on weed control in sustainable agriculture. *Int J Agric and Crop Sci.* 2014;7(10):683–686.
- Saady H.S. Maize-cowpea intercropping as an ecological approach for nitrogen-use rationalization and weed suppression. *Archives of Agron Soil Sci.* 2015;(61):1–14.
- Mason H.E. and Spaner D. Competitive ability of wheat in conventional and organic management systems: A review of the literature. *Can J Plant Sci.* 2006;(86):333–343.
- Matloob A., Khaliq and Chauhan B.S. Weeds of rice in Asia: problems and opportunities. *Adv. Agron.* 2014. P. 130. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron>.
- Khaliq A. and Matloob A. Weed crop competition period in three fine rice cultivars under direct seeded rice culture. *Pak J Weed Sci Res.* 2011;(17):229–243.
- Abdolraheem S. and Saadedipour S. Influence of seeding rate and reduced doses of super gallant herbicide on weed control, yield and component yield of mungbean. *Research J Env Sci.* 2015;(9):241–248.
- Olsen J.M., Griepentrog H.W., Nielsen J. and Weiner J. How important are crop spatial pattern and density for weed suppression by spring wheat. *Weed Sci.* 2012;(60):501–509.
- Kristensen L., Olsen J. and Weiner J. Crop density, sowing pattern, and nitrogen fertilization effects on weed suppression and yield in spring wheat. *Weed Sci.* 2008;(56):97–102.
- Mahajan G. and Chauhan B.S. The role of cultivars in managing weeds in dry seeded rice production systems. *Crop Prot.* 2013;(49):52–57.
- Krikland K.J., Holm F.A. and Stevenson F.C. Appropriate crop seeding rate when herbicide rate is reduced. *Weed Tech.* 2000;(14):692–698.
- Fanadzo M., Chiduzo C. and Mkeni P.N.S. Effect of inter-row spacing and plant population on weed dynamics and maize yield at Zanyokwe irrigation scheme, Eastern Cape, South Africa. *African J Agric Res.* 2010;5(7):518–523.
- Drews S., Neuhoft D. and Kopke U. Weed suppression ability of three winter wheat varieties at different row spacing under organic farming conditions. *Weed Res.* 2009;(49):526–533.
- Борисов В.А. Система удобрения овощных культур. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. 392 с. [Borisov V.A. Fertilization system for vegetable crops. M.: FGBNU "Rosinformagrotech", 2016. 392 p. (In Russ.).]
- Abouziya H.F., Hafez O.M., El-Metwally I.M., Sharma S.D. Comparison of weed suppression and mandarin fruit yield and quality obtained with organic mulches, synthetic mulches, cultivation, and glyphosate. *Hort Sci.* 2008;(43):795–799.
- Major J., Steiner C., Ditommaso A., Falcao N.P. and Lehmann J. Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: compost, fertilizer, manure and charcoal applications. *Weed Biol Manag.* 2005;(5):69–76.
- Blackshaw R.E., Molnar L.J. and Janzen H.H. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. *Weed Sci.* 2004;(52):614–622.
- Dahal, Saugat and Tika B.K. Conservation agriculture based practices affect the weed dynamics in spring maize. *World J Agric Res.* 2014;2(6A):25–33.
- Feizabady A.Z. Effects of crop rotation and residue management on bread wheat.

- African J Plant Sci.* 2013;7(5):176–184.
52. Khankhane P.J., Barman K.K. and Varshney J.G. Effect of rice residue management practices on weed density, wheat yield and soil fertility in a swell-shrink soil. *Ind J Weed Sci.* 2009;(41):41–45.
53. Brar A.S. and Walia U.S. Rice residue management and planting techniques on herbicidal efficiency in relation to wheat productivity. In National Symposium on Integrated Weed Management in the Era of Climate Change, held at NAAS, New Delhi on 21–22 August, 2010. P. 7.
54. Chauhan B.S. Weed ecology and weed management strategies for dry-seeded rice in Asia. *Weed Tech.* 2012;(26):1–13.
55. Singh R. Weed management in major kharif and rabi crops. In National Training on Advance in Weed Management, held at DWSR, Jabalpur, on 14–23 January, 2014. pp. 31–40.
56. Gianessi L.P., Reigner N.P. Review: the value of herbicides in U.S. Crop Production. *Weed Technol.* 2007;21(2):559–566.
57. Carr P.M., Gramig G.G. and Liebig M.A. Impacts of organic zero tillage systems on crops, weeds, and soil quality. *Sustainability.* 2013;5:3172–3201.
58. Han H., Ning T. and Li Z. Effects of tillage and weed management on the vertical distribution of microclimate and grain yield in a winter wheat field. *Plant Soil Env.* 2013;59(5):201–207.
59. Sharma V. and Angiras N. Effect of row orientations, row spacing and weed control methods on light interception, canopy temperature and productivity of wheat. *Ind J Agron.* 1996;(41):390–396.
60. Sans F.X., Berner A., Armengot L. and Mader P. Tillage effects on weed communities in an organic winter wheat–sunflower–spelt cropping sequence. *Weed Res.* 2011;(51):413–421.
61. Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства. М., ВНИИО, РАСХН, 2008. 771 с. [Litvinov S.S. Scientific foundations of modern vegetable growing. M., VNIIO, RAAS, 2008. 771 p. (In Russ.).]
62. Peter J.D., Monks W. and Katherine M.J. Effect of drip-applied herbicides on yellow nutsedge in plasticulture. *Weed Tech.* 2012;26(2):243–247.
63. Towa J.J. and Xiangping G. Effects of irrigation and weed control methods on growth of weed and rice. *Int J Agric and Biol Eng.* 2014;7(5):22–33.
64. Verma S.K. Enhancing sustainability in wheat production through irrigation regimes and weed management practices in eastern Uttar Pradesh. *The Ecoscan*, Special Issue. 2014;(6):115–119.
65. Daniel J.T., Templeton G.M., Smith R.J. and Fox W.T. Biological control of northern jointvetch in rice with an endemic fungal disease. *Weed Sci.* 1973;21(4):303–307.
66. Gnanavel I. Eco-friendly weed control options for sustainable agriculture. *Sci International.* 2015;3(2):37–47.
67. Kumar M., Ghorai A.K., Majumdar B., Mitra S. and Kundu D.K. Integration of Stale Seedbed with Herbicides for Weed Management in Jute and their Impact on Soil Microbes. *J Agri Search.* 2015;2(1):24–27.
68. Inderjit, Keating, K.I. Allelopathy: principles, procedures, processes, and promises for biological control. *Adv. Agron.* 1999;(67):141–231.
69. Grossman K., Hutzler J., Tresch S., Christiansen N., Looser R., Ehrhardt T. On the mode of action of the herbicides cinmethylin and 5-benzylloxymethyl-1,2-isoxazolinones: putative inhibitors of plant tyrosine aminotransferase. *Pest Manag. Sci.* 2012;68(3):482–491.
70. Bingaman B.R., Christians N. E. Greenhouse screening of corn gluten meal as a natural control product for broadleaf and grass weeds. *HortScience.* 1995;30(6):1256–1259.
71. Meksawat S., Pornprom T. Allelopathic effect of itchgrass (*Rottboellia cochinchinensis*) on seed germination and plant growth. *Weed Biol. Manage.* 2010;10(1):16–24.
72. Sodaeizadeh H. and Hossein Z. Allelopathy an Environmentally Friendly Method for Weed Control. International Conference on Applied Life Sciences (ICALS 2012), Turkey, September 10–12, 2012. Pp. 387–392.
73. Zeng R.S. Allelopathy - the solution is indirect. *J Chem Ecol.* 2014;(40):515–516.
74. Farooq M., Jabran K., Cheema Z.A., Wahid A. and Siddique K.H.M. Role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Manag Sci.* 2011;(67):494–506.
75. Narwal S.S. and Haouala R. Role of allelopathy in weed management for sustainable agriculture. Allelopathy, Current Trends and Future Application Ed. Cheema, Farooq M and Wahid A. 2013. Pp 217–250.
76. Smeda R.J. and Weller S.C. Potential of rye for weed management in transplanted tomatoes. *Weed Sci.* 1996;(44):596–602.
77. Wu H. Molecular approaches in improving wheat allelopathy. In: Harper J.D.I., An M., Wu H., Kent J.H. (eds.), Proceedings of fourth world congress on allelopathy. 2005.
78. Zimdahl R.L. Fundamentals of weed science. Waltham MA: Academic Press, 2013. Pp. 295–344.
79. Ascard J., Hatcher P.E., Melander B. and Upadhyay M.K. Thermal weed control. (Eds M. K. Upadhyaya & R.E. Blackshaw). Non-chemical weed management. Principles, Concepts and technology. CABI, London, UK. 2007.
80. Pinel M.P.C., Bond W. and White J.G. Control of soil-borne pathogens and weeds in leaf salad monoculture by use of a self-propelled soil-steaming machine. *Acta Hort.* 2000;532(14):125–130. DOI: 10.17660/ActaHort.2000.532.14
81. Hansson D., Svensson S.E. Steaming soil in narrow strips for intra-row weed control in sugar beet. In: EWRS workshop on physical and cultural weed control, 6, Lillehammer, 2004.
82. Sjursen H., Netland J. Thermal weed control by steaming in vegetable crops. In: 6th EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, 6., Lillehammer, 2004. Proceedings... Lillehammer: 2004. P. 179.
83. De-cauwer B., Bogaert S., Claerhout S., Bulcke R. and Reheul D. Efficacy and reduced fuel use for hot water weed control on pavements. *Weed Res.* 2015;(55):195–205.
84. Rask A.M., Kristofferssen P. and Andreassen C. Controlling grassy weeds on hard surface: effect of time intervals between flame treatments. *Weed Tech.* 2012;(26):83–88.
85. Brodie G., Ryan C. and Lancaster C. Microwave technologies as part of an integrated weed management strategy: a review. *Int J Agron.* 2011. doi:10.1155/2012/636905.
86. Andreassen C., Hansen L. and Streibig J.C. The effect of ultraviolet radiation on the fresh weight of some weeds and crops. *Weed Tech.* 1999;(13):554–560.
87. Diprose M.F. and Benson F.A. Electrical methods of killing plants. *J Agric Eng Res.* 1984;(29):197–209.
88. Johnson W.C., Benjamin G. and Mullinix J.R. Weed management in peanut using stale seedbed techniques. *Weed Res.* 1995;43(2):293–297.
89. Haidar M.A., Sidahmed M.M. Soil solarization and chicken manure for the control of *Orobanche crenata* and other weeds in Lebanon. *Crop Protec.* 2000;19(1):169–173.
90. Culman S.W., Duxbury J.M., Lauren J.G. and Thies J.E. Microbial community response to soil solarization in Nepal's rice-wheat cropping system. *Soil Biol Biochem.* 2006;(38):3359–3371.
91. Benloglu S., Boz O., Yildiz A., Kaskavalci G. and Benlioglu K. Alternative soil solarization treatments for the control of soil-borne diseases and weeds of strawberry in the Western Anatolia of Turkey. *J Phytopathol.* 2005;(153):423–430.
92. Stapleton J.J. Soil solarization in various agricultural production systems. *Crop Prot.* 2000;(19):837–841.
93. Vito M.D., Zaccheo G., Catalano F., Campanelli R. Effect of soil solarization and low doses fumigants control of the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. *Acta Hort.* 2000;532(1):171–173.
94. Silva P.V., Monquero P.A., Silva F.B., Bevilacqua N.C., Malardo M.R. Influence of sugarcane straw and sowing depth on the emergence of weed species. *Planta Daninha.* 2015;33(3):405–412.
95. Riley H., Brandsæter L.O., Danielsberg G. Mulching compared to physical weed control measures in organically grown vegetables. In: EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, 6., 2004, Lillehammer. Proceedings... Lillehammer: 2004.
96. Kurtar E.S., Çyvelek C. Influences of organic and conventional fertilizing and mulching on yield and quality of melon and watermelon under protected cultivation. In: International conference on organic agriculture in scope of environment problems, 2010, Famagusta. Proceedings... Famagusta: 2010. P. 51–54.
97. Abdul-Baki A.A., Teasdale J.M. A non-tillage tomato production system using hairy vetch and subterranean clover mulched. *Hortic. Sci.* 1993;28(2):106–108.
98. Hussein H.F., Radwan S.M.A. Associative action between bio-organic farming & safety weed control methods on pea productivity. In: Symposium on scientific research and technological development outlook in the arab world, 3, 2004, Cairo. Proceedings... Cairo: 2004.
99. McMillen M. The effect of mulch type and thickness on the soil surface evaporation rate. San Luis Obispo: Horticulture and Crop Science Department/California Polytechnic State University, 2013. P.1-14.
100. Берназ Н.И., Дунаева Ю.С. Перспективная система защиты свеклы от сорняков. *Картофель и овощи.* 2008;3:34–35. [Bernaz N.I., Dunaeva Yu.S. A promising beet weed protection system. Potatoes and vegetables. 2008; 3: 34–35].
101. Берназ Н.И., Ирков И.И. Гербициды на капусте при безрассадном способе выращивания. *Картофель и овощи.* 2018;8:17–18. [Bernaz N.I., Irkov I.I. Herbicides on cabbage with seedless cultivation. Potatoes and vegetables. 2018; 8: 17–18].
102. Берназ Н.И. Эффективность гербицидов в посевах моркови. *Вестник овощевода.* 2012;4:25. [Bernaz N.I. The effectiveness of herbicides in carrot crops. Vegetable grower bulletin. 2012; 4:25].
103. Ирков И.И., Берназ Н.И., Баргов Р.А., Алексеева К.Л. Защита лука. *Картофель и овощи.* 2016;7:14–17. [Irkov I.I., Bernaz N.I., Bagrov R.A., Alekseeva K.L. Bow protection. Potatoes and vegetables. 2016; 7: 14–17].
104. Pot V., Benoit P., Menn M.L., Eklo O.-M., Sveistrup T., Kværner J., Metribuzin transport in undisturbed soil cores under controlled water potential conditions: experiments and modeling to evaluate the risk of leaching in a sandy loam soil profile. *Pest Management Sci.* 2011;67(4):397–407.
105. Kewat M.L. Improved weed management in Rabi crops. National Training on Advances in Weed Management, 2014. Pp. 22–25.
106. Jabran K., Mahajan G., Sardana V. and Chauhan B.S. Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protec.* 2015;(72):57–65.
107. Duke S. Why have no new herbicide modes of action appeared in recent years? *Pest Management Science.* 2012;(68):505–512.
108. Bechar A. and Vigneault C. Agricultural robots for field operations. part 2: Operations and systems. *Biosystems Engineering.* 2017;(153):110–128.
109. Utstumo T., Urdal F., Brevik A., Dorum J., Netland J., Overskeid O., Berge T.W., Gravidahl J.T. Robotic in-row weed control in vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture.* 2018;(154):36–45. DOI: 10.1016/j.compag.2018.08.043.
110. Kunz C., Weber J.F., Peteinatos G.G., Sokefeld M., and Gerhards R. Camera steered mechanical weed control in sugar beet, maize and soybean. *Precision Agriculture.* 2018;19(4):708–720.
111. Young S. L. Beyond precision weed control: A model for true integration. *Weed Technology.* 2018;32(1):7–10.
112. Wang P., Lombi E., Zhao F.J., Kopittke P.M. Nanotechnology: a new opportunity in plant science. *Trends Plant Sci.* 2016;(21):699–712.
113. Zhao X., Cui H., Wang Y., Sun C., Cui B., Zeng Z. Development Strategies and Prospects of Nano-based Smart Pesticide Formulation. *J. Agric. Food Chem.* 2018;(66):6504–6512.
114. de Oliveira J.L., Ramos C.E.V., Fraceto L.F. Recent Developments and Challenges for Nanoscale Formulation of Botanical Pesticides for Use in Sustainable Agriculture. *J. Agric. Food Chem.* 2018;(66):8898–8913.