

УФ-технологии в сельскохозяйственном растениеводстве: когда свет становится агроприёмом

Как УФ-излучение разной длины волны воздействует на растения?

Ключевой момент — спектр. Разные участки ультрафиолета дают различный биологический отклик, и это нужно учитывать уже на этапе постановки задачи. Из диапазона УФ-А указывают длины волн 330—340 нм; они не демонстрируют ярко выраженного радикального действия на нуклеиновые кислоты. При определённых сочетаниях с интеркалирующими веществами возможны однонитевые и двунитевые разрывы ДНК, что помимо мутагенного эффекта имеет и рекомбиногенное значение — но как самостоятельный фактор такие длины волн «мягче» по отношению к ДНК.

Зона УФ-В (280—315 нм) — один из сильных стресс-факторов среды для растений. На уровне морфологии и физиологии отмечают изменения: у пшеницы замедляется линейный рост стебля, снижается коэффициент кущения и число колосоносных побегов; у проростков картофеля — уменьшаются высота стебля и площадь листьев. Это типичный ответ на стресс-нагрузку УФ-В.

Диапазон УФ-С (220—280 нм) выделяется отдельно: обычно его действие описывается как положительное по отношению к агротехнологическим задачам. Причина в бактерицидных свойствах этих длин волн и их влиянии на мембранные и биохимические реакции. Поэтому УФ-С рассматривают при обработке зерна и иной продукции перед хранением: обеззараживание семян и растений этим излучением может повышать их устойчивость к стрессу за счёт роста активности пероксидазы, усиления перекисного окисления липидов (ПОЛ) и увеличения концентрации антиоксидантов.

Зачем облучать семена перед посевом?

У предпосевной обработки — две базовые цели: обеззараживание и повышение посевных качеств с последующей прибавкой урожайности. Материал семян часто поражён грибковыми патогенами, и обеззараживание — обязательная технологическая стадия. Вместе с тем

именно здесь УФ-излучение способно взять на себя часть «химической нагрузки», поскольку бактерицидный спектр УФ-С работает на инактивацию микрофлоры на поверхности семени.

Отмечается, что правильно подобранная доза УФ-облучения повышает физиологическую активность зародыша: энергия прорастания возрастает на 20—30 %, а лабораторная всхожесть — на 15—25 % относительно контроля. Такой результат подчёркивает важность дозирования: при недостатке дозы стимуляции может не быть, при чрезмерной — наблюдается угнетение.

Предпосевная УФ-обработка рассматривается и как средство оптимизации энергетики процесса. По сравнению с традиционным тепловым прогревом отмечают снижение потребления электроэнергии более чем в 10 раз, при одновременном росте урожайности пшеницы на 21—29 г/м². Эти данные увязывают УФ-метод с критерием энергоэффективности подготовки посевного материала.

Влияет ли УФ-облучение семян на рост и устойчивость растений?

Собранные наблюдения показывают, что УФ-облучение семян меняет водный режим растений: водный дефицит вдвое ниже по сравнению с контролем, что трактуют как признак повышения засухоустойчивости. Дополнительно сообщается о росте содержания незаменимых аминокислот в зелёной массе — то есть о качественных изменениях метаболизма, сопровождающих последующую вегетацию.

С практической стороны важны и технологические параметры предпосевной обработки. Для установок, совмещающих ИК- и УФ-излучение, указывают производительность до 0,5 т/ч при потребляемой мощности 6—18 кВт, при этом температура семян на выходе составляет 30—35 °С. Такие режимы позволяют вести непрерывную подготовку посевного материала с контролируемым тепловым воздействием.

Что известно о воздействии УФ-излучения на растения в процессе вегетации?

Тема облучения в период роста выходит за рамки предпосевной стадии. Отмечаются сообщения о положительном эффекте при обработке растений УФ-излучением в ходе вегетации. Приводится, в частности, утверждение об увеличении урожайности яровой пшеницы не менее чем на 20 % при обработке в течение вегетации, а также о сохранении прибавки у следующего поколения без дополнительного облучения. Эти

даные относят к ранним результатам и подчёркивают необходимость аккуратного выбора режимов и контроля биологического отклика.

В закрытом грунте (теплицы) описывают практику передвижных облучательных систем, которые проходят вдоль рядов культур и работают в бактерицидном диапазоне, ориентируясь на инактивацию патогенов на поверхности листа. Конструктивно это мобильные тележки с набором ламп и автоматикой движения, обеспечивающие выдержку дозы за счёт постоянной скорости прохода. Применение связывают с культурами закрытого и открытого грунта, однако общий вывод остаётся сдержанным: подход требует точной дозиметрии и проверки на конкретной культуре.

Можно ли УФ-излучением повысить урожайность картофеля?

Для семенного картофеля приведены данные полевых испытаний: обработка бактерицидным УФ-излучением ассоциируется с увеличением урожайности на 10—40 %. При этом подчёркивается, что доза велика — по оценкам 7—30 Дж/см². Такие величины уже выходят далеко за пределы профилактических «малых» доз и требуют строгого соблюдения технологий обработки. Тем не менее сам факт повышения урожайности при грамотном применении фиксируется.

В отдельном описании установки для обработки клубней оценивают дозу расчётным путём из мощности и времени выдержки: при интенсивности порядка 10—15 мВт/см² и времени около 145 с доза составит ориентировочно 1,5—2 Дж/см². Эти оценки подчёркивают важность привязки дозы к реальной оптической схеме — источнику, расстоянию и времени.

Насколько заменимы химические проправители при вводе УФ-этапа?

Указывается, что при обработке посевного материала зерновых и при подготовке к хранению УФ- и ИК-облучение, выполненное непосредственно перед посевом, позволяет на 70—80 % снизить или полностью исключить химическую предпосевную обработку. Практический эффект — экономия материальных ресурсов и уменьшение химической нагрузки при сохранении (и даже улучшении) фитосанитарного состояния семян.

При этом важен баланс. Отмечается чувствительность семян к дозе как УФ-, так и ИК-излучения. Недобор дозы не даёт стимулирующего эффекта, передозировка — подавляет ростовые процессы. При

корректном дозировании сообщают о целой серии «полевых» показателей: более ранние на 2—3 дня всходы, увеличение густоты на 5—10 %, рост кустистости на 15—20 %, усиленное развитие корневой системы и утолщение стебля на 7—12 % с ростом площади листового аппарата.

Что с точки зрения практики: хранение, переработка, логистика?

Сегмент хранения — одна из первых областей применения УФ-излучения. В режиме бактерицидных длин волн обрабатывают зерно, плоды и овощи перед закладкой на хранение для снижения потерь. Логика проста: поверхностная микрофлора и спорообразующие формы — фактор порчи; УФ-С на поверхности продукции позволяет уменьшить биологическую нагрузку на начальном этапе цепочки хранения. Подчёркивается, что в разных странах этот блок исследований активно ведётся, хотя в целом он всё ещё оценивается как начальный этап.

Для непрерывных линий переработки важен контроль температуры материала. В приводимых параметрах интегрированных ИК-/УФ-установок температура семян на выходе удерживается в диапазоне 30—35 °C — это ограничивает тепловой стресс и позволяет сфокусироваться на фотобиологической составляющей обработки.

Какие ограничения и предосторожности необходимо учитывать?

Три ключевых фактора определяют результат: спектр, доза, режим. Во-первых, спектральная селективность: УФ-А (330—340 нм) «мягче» к ДНК, УФ-В (280—315 нм) запускает стресс-реакции, УФ-С (220—280 нм) даёт выраженный бактерицидный эффект и влияет на мембранны и биохимию. Во-вторых, дозирование: при недостатке — нет стимуляции, при избытке — угнетение и снижение продуктивности. В-третьих, стадия применения: предпосевная обработка и обработка перед хранением преследуют разные цели, поэтому их режимы не взаимозаменямы. Все эти выводы в тексте сопровождаются примерами и оценками доз, и каждый раз акцент делается на подбор параметров под конкретную культуру и задачу.

Наконец, важно помнить, что многие из описанных решений находятся на стадии активных исследований и pilotных внедрений. Отсюда — необходимость лабораторной и стендовой проверки режимов, прежде чем переносить их в поток. Эта оговорка повторяется и в сводных комментариях к теме обработки зерна и семян