

3. https://www.sinref.ru/000_uchebniki/04600_raznie_2/752_promishlennie_absorberi_2013/006.htm.

УДК 633.521:581.13:575.22:543.544.5.068.7:57.087:519.67:519.688
**ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННОСТИ
КОРНЕВЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ У ПОТОМКОВ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ
ЛЬНА-ДОЛГУНЦА, ПОЛУЧЕННЫХ ПОСЛЕ ИНОКУЛЯЦИИ
РОДИТЕЛЬСКИХ ЛИНИЙ БИОПРЕПАРАТОМ АГРОФИЛ**

*Носевич Мария Анатольевна, доцент кафедры Растениеводства
имени И.А. Стебута, ФГБОУ ВО СПбГАУ*

*Пухальский Ян Викторович, м.н.с. ИНОЗ РАН - СПб ФИЦ, агроэколог
ГАОУ ВО ЛО ЛГУ имени А.С. Пушкина*

*Воробьев Николай Иванович, с.н.с., руководитель группы
Биоинформатики и математического моделирования, ФГБНУ ВНИИСХМ*

*Лоскутов Святослав Игоревич, с.н.с., ВНИИПД – филиал ФГБНУ
«ФНЦ пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН, директор НОЦ
инновационного растениеводства «Зимний сад» ГАОУ ВО ЛО ЛГУ
имени А.С. Пушкина*

***Аннотация.** Изучен количественный и качественный состав корневых экссудатов трех сортов льна-долгунца и их потомков, полученных при инокуляции родительских форм биопрепаратом Агрофил. Выявлена специфичность между изменениями биомассы растений и индексом когерентности экссудации. Наибольший эффект по последствию биопрепарата на увеличение биомассы и корневых экссудатов аминокислот в потомстве проявился у сорта Альфа.*

***Ключевые слова:** лен-долгунец, экзометаболиты, фрактальный индекс экссудация, микробиологический препарат, потомки.*

Подбор биопрепаратов, на основе штаммов полезных ризосферных бактерий, обладающих комплексным полифункциональным действием под различные по скороспелости сорта льна-долгунца, является перспективным направлением. Основным легкодоступным питательным субстратом для ризосферных микроорганизмов являются корневые выделения растений. Они служат детерминантами, влияющими на рост и активность сообществ почвенной микрофлоры, которая, в свою очередь, регулирует потоки поступления биофильных элементов в растения. Таким образом, происходит формирование целостной микробно-растительной симбиосистемы и здоровья почв.

В связи с этим, целью исследований являлось проанализировать качественный и количественный состав корневых экзометаболитов у различных сортов льна-долгунца, а также оценить посевные качества,

биомассу и изменения в уровне структурной когеренции корневых выделений у их потомков, выращенных из семян первого поколения, полученных при обработке родительских линий биопрепаратом Агрофил (ООО «Экос»), содержащим в основе своего действующего начала штаммы бактерии *Agrobacterium radiobacter*.

Растительными объектами для исследований послужили три сорта льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.), селекции института льна – филиала ФГБНУ ФНЦ ЛК, различающиеся по скорости созревания: Зарянка (раннеспелый), Альфа (среднеспелый) и Росинка (позднеспелый). Семена первого поколения были получены в 2017 г. на опытном поле кафедры растениеводства им. И.А. Стебута ФГБОУ ВО СПбГАУ.

Эксперименты проводили на базе научно-производственного объединения ООО «БиоЭкоТех» (СПб). Растения культивировали в пластиковых гнотобиотических сосудах, содержащих стерильный питательный раствор, приготовленный на основе среды Мурасиге-Скуга без добавления сахарозы (1660 мг NH_4NO_3 , 1920 мг KNO_3 , 170 мг KH_2PO_4 на 1 л дистиллированной воды). Исходные значения питательного раствора на начало эксперимента для каждого варианта составляли: рН=5,28; ррm=247,0; Re-dox=233,0.

Семена перед закладкой опыта стерилизовали 70% этиловым спиртом в течение 2 мин, а затем 1,3% раствором гипохлорида натрия дважды по 10 мин. Пророщенные и стерилизованные семена высевали по 30 штук на сосуд. Норму посева определяли исходя из работ [1; 2]. Опыт проводили в климатической камере с LED-освещением (SpecLED). Повторность в эксперименте составила 3 сосуда на каждый вариант. Количественный анализ экзометаболитов в пробах, полученных после их концентрации и экстракции, проводили с использованием ВЭЖХ, согласно ранее разработанной методике [3]. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью статистических программ Statistica v.6 (StatSoft, США) и Excel 2007 (Microsoft Corp., США). Фрактальные индексы экссудации аминокислот рассчитывали, используя фрактальные портреты экссудации, построенные с помощью оригинальной программы для ЭВМ [4].

Изучаемые сорта продемонстрировали высокий суммарный выход органических кислот и сахаров. Преобладающей фракцией являлись сахара. Наиболее ярко выражено соотношение доли выхода сахаров к органическим кислотам у контрольных растений сорта Альфа. На втором месте – Росинка и на третьем Зарянка. Инокуляция Агрофилом изменила степень ранжирования между Росинкой и Альфой в пользу позднеспелости. Градация сортов по суммарному выходу органических кислот в контроле и у полученных потомков совпали: первое место занимал Росинка, второе – Зарянка и третье – Альфа.

Наименьшая по выходу фракция низкомолекулярных веществ представлена аминокислотами. Распределение доли выхода аминокислот у всех сортов родительских линий примерно одинаковое и по местам

суммарного выхода составило: Росинка→Альфа→Зарянка. Инокуляция биопрепаратом, трехкратно увеличила долю выхода аминокислот у сорта Альфа – Альфа→Росинка→Зарянка.

Увеличение общей суммарной доли выхода органических кислот, способствовало снижению и поддержанию кислотности питательного раствора до оптимальных его значений – 5,4-5,5 в вариантах с применением Агрофила. Это обусловлено снижением уровня минерализации, за счет лучшего усвоения питательных солей при подкислении раствора. Статистически достоверных изменений в показателях Re-dox отмечено не было.

Использование метода главных компонентов (РСА) позволило выявить общий вклад двух основных факторов на влияние вариации в составе профилей корневых экзометаболитов, равный 82 % от общего числа дисперсии. Наибольшее суммарное расхождение потомков от родительских линий льна-долгунца 83% (48,9+33,1) отмечено у сорта Альфа. По другим сортам этот процент был менее выражен.

По количественному составу корневых экзометаболитов сорт Росинка в большей степени схож с составом экзометаболитов сорта Альфа. Данное сходство проявилось в количестве выделяемых сахаров и аминокислот. Однако же, кластерный анализ показал, что в один кластер по сходным концентрациям аминокислот были определены контрольные варианты сортов Альфа и Зарянка.

Фрактальные индексы, построенные на основе логарифмических расчётов всех трех фракций корневых экзометаболитов, позволили обнаружить закономерности в изменении их структурной когерентности и биомассы растений. Наиболее организованными стали процессы у потомков двух сортов Альфа и Зарянка. У сорта Росинка после инокуляции наоборот, отмечена дезорганизация. Фрактальные портреты показали снижение индексов детерминированности выделения корневых экзометаболитов у сорта Росинка – с 0,31 до 0,14. Возможно, это является следствием либо усиления потребления корневых выделений бактериями, либо их дезорганизующим воздействием в отношении макросимбионта, связанного с возвратом части экссудатов обратно в растения, при недостатке питательных веществ в ризосфере для увеличения растением надземной массы. У потомков сортов Альфа и Зарянка отмечен обратный эффект – с 0,24 до 0,30 и 0,14 до 0,24.

Сопоставляя изменения значений расчётных индексов с изменениями энергии прорастания, биомассы растений и коэффициентами вариации биомассы растений льна-долгунца сорта Альфа, удалось показать, что у полученных потомков последние снижаются. Можно предположить, что потомки данного сорта растут и развиваются быстрее, чем их родительские линии. У потомков сортов отмечено резкое увеличение роста не только побегов, но и корневой системы. Повышение и снижение индекса

детерминированности у сортов Зарянка и Росинка никак не повлияло на изменение их биомассы.

Индекс детерминированности энергии прорастания имел такую же закономерность. У потомков сорта Альфа отмечено резкое увеличение числа проросших семян: с 38,5% у родительских форм, до 81,7%. Это указывает на симбиотическое взаимодействие микроорганизмов с растениями уже на раннем этапе онтогенеза.

Таким образом, инокуляция семян льна-долгунца увеличивает суммарный выход экссудации фракций и изменяет соотношение компонентов корневых выделений, способствует большей организованности процессов гомеостаза в растении. А это в свою очередь улучшает питание растений.

Авторы благодарят Шапошникова А.С., за помощь в проведении анализов.

Библиографический список

1. Кузьменко, Н.Н. Реакция сортов льна-долгунца разных групп спелости на нормы высева семян / Н.Н. Кузьменко, В.И. Ильина // Земледелие №2. – 2016. – С. 33-35.

2. Рожмина, Т.А. Производство льна-долгунца на семенные цели в условиях Поволжья / Т.А. Рожмина, В.П. Понажев, А.И. Рыжов, В.Н. Бражников // Достижения науки и техники АПК. №4. – 2014. – С. 51-53.

3. Методика изучения корневой экссудации для оценки эффективного функционирования и интеграции микроорганизмов с растениями. Методические рекомендации. Под ред. Тихоновича И.А. СПб: Информ-навигатор, 2015. – 32 с.

4. Программа ЭВМ вычисления фрактального индекса экссудации растениями сахаров, органических кислот и аминокислот. / Н.И. Воробьев, Я.В. Пухальский, О.В. Свиридова, В.Н. Пищик, А.А. Белимов; Свидетельство №2018614119 от 02.04.2018.

УДК 631.811.1/2/3:633.16

ПОТРЕБЛЕНИЕ ЯЧМЕНЕМ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ ИЗ ПАХОТНОГО И ПОДПАХОТНОГО ГОРИЗОНТОВ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Гусева Юлия Евгеньевна, доцент кафедры Агрономической, биологической химии и радиологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Кидин Виктор Васильевич, профессор кафедры Агрономической, биологической химии и радиологии, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева