

УДК 631.4

СТРЕССЫ РАСТЕНИЙ И АЛЛЕЛОТОКСИЧНОСТЬ ПОЧВ

© 2022 г. Академик РАН Б. И. Сандухадзе¹, Г. Н. Федотов², Н. В. Давыдова¹, Р. З. Мамедов¹, В. А. Нардид¹, И. В. Горепекин², М. С. Крахмалёва¹, Д. И. Потапов², А. О. Казаченко¹, Е. В. Савинов¹, Т. А. Грачева^{2,*}

Поступило 15.02.2022 г.
После доработки 14.04.2022 г.
Принято к публикации 15.04.2022 г.

Известно, что стрессы при выращивании сельскохозяйственных растений снижают урожайность, однако определять величину и продолжительность стрессов по потере урожая достаточно сложно. Также хорошо известно, что возникновение стрессовых воздействий приводит к выделению растениями в почву, в которой они вегетируют, аллелотоксинов. В работе предложено использовать в качестве диагностического параметра суммарного стрессового воздействия на выращиваемые сельскохозяйственные растения аллелотоксичности почв после вегетации растений. Для проверки выдвинутого предположения было проведено изучение влияния подкормки трех сортов озимой пшеницы разными количествами азотных удобрений на изменение аллелотоксичности почв. Установлено, что сорта “Немчиновская 85”, “Московская 39” и “Лютесценс 982/08” реагируют на подкормки по-разному. Для сортов “Немчиновская 85” и “Лютесценс 982/08” увеличение дозы азотных удобрений приводит к снижению стрессовой реакции, которая заметно проявляется при недостатке в почве азота. Для сорта “Московская 39” высокие дозы азотных удобрений вызывают негативную реакцию усиления выделения аллелотоксинов. Это позволяет сделать вывод о том, что подкормку этого сорта азотом для предотвращения замедления развития растений следует проводить в несколько приемов. Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность использования аллелотоксичности почв после выращивания на них растений в качестве индикатора стрессов, вызываемых условиями выращивания и применением различных сельскохозяйственных приемов.

Ключевые слова: вегетация растений, факторы среды, мелкоделяночные опыты, подкормка азотными удобрениями, взаимосвязь урожайности и аллеловоздействия почв

DOI: 10.31857/S2686738922040138

В процессе вегетации растения испытывают влияние факторов среды, которые практически постоянно изменяются. Такие изменения нередко достигают опасных амплитуд и могут выступать в роли факторов, вызывающих состояние угнетения – стрессоров [1].

Ныне большинство исследователей сходятся во мнении [1], что стресс-реакция выполняет оперативную кратковременную защиту растительного организма от гибели в неблагоприятных условиях, а также инициирует формирование или

мобилизацию механизмов специализированной адаптации. С одной стороны, происходит ингибирование активных генов, которые в норме контролируют основные функции растительного организма – рост, развитие, фотосинтез и пр., а с другой – активируется система генов стрессовых белков и генов, контролирующих синтез специфических адаптогенов и протекторов. При этом большинство стрессовых реакций относят к неспецифическим, поскольку они мало зависят от природы стрессора и начинаются с повышения концентрации в клетках элиситоров [1].

В ответных реакциях на стресс растения перестраивают метаболизм, что отражается в замедлении вегетации. Следует отметить, что при стрессе происходит также выделение растениями в почву веществ, ингибирующих их вегетацию – аллелотоксинов [2–6].

¹ Федеральный исследовательский центр “Немчиновка”, Московская область, Россия

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

*e-mail: tanyadunaeva12@mail.ru

Таким образом, для борьбы с последствиями действия стресс-факторов нужна энергия, и растения освобождают ее, замедляя вегетацию, что приводит к хорошо известному снижению урожайности сельскохозяйственных культур под влиянием стресса [7–9].

Можно предположить, что в результате накопления стрессовой нагрузки на вегетирующие растения (увеличения силы и продолжительности стрессов) количество аллелотоксинов в почве и, как следствие, ее аллелотоксичность (негативное влияние на растения) должны возрасти.

На основе изложенного выше можно указать два фактора, которые должны являться индикаторами суммарной стрессовой нагрузки – урожайность растений и аллелотоксичность почв.

Однако контроль действия стресс-факторов на растения по урожайности не может быть очень точным, во-первых, из-за большой ошибки определения урожайности в мелко-деляночных опытах. Во-вторых, урожайность отражает совокупность влияния на растения всех факторов на протяжении всего периода вегетации. В результате достаточно сложно оценить вклад какого-либо фактора в развитие растений на конкретном этапе между посевом и сбором урожая. С этих позиций аллелотоксичность почв, возникающая в процессе вегетации растений, может выступать в качестве легко определяемого параметра, способного характеризовать воздействие различных стресс-факторов на сельскохозяйственные культуры на любом этапе их развития.

Такая информация может быть весьма полезной с точки зрения выбора условий, при которых следует проводить выращивание сельскохозяйственных растений – способов полива, внесения удобрений, выбора пестицидов, порядка их использования и т.д.

Целью работы являлось изучение влияния подкормки разных сортов озимой пшеницы азотными удобрениями на проявление аллелотоксичности почв, а также проверка корреляции между урожайностью яровой пшеницы разных сортов и аллелотоксичностью почв после уборки урожая.

Объектами исследования выступали сорта яровой пшеницы (*Triticum L.*) “РИМА”, “Лиза”, “Агрос”, “Л459/3-15”, “Л460/2-15”, “Московская-35”, “Лада”, “Приокская”, “Эстер”, а также сорта озимой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) “Немчиновская 85”, “Московская 39”, “Лютесценс 982/08”.

Мелкоделяночные опыты проводили на базе ФГБНУ “ФИЦ “Немчиновка”, деревня Соколово, Новомосковского административного округа г. Москвы. Почва в районе проведения испытаний дерново-подзолистая среднесуглинистая на мореном суглинке.

Агрохимические свойства пахотного слоя для почв в опыте с яровой пшеницей: содержание гумуса – 1.91–2.00%, pH_{KCl} – 5.5–5.6; гидролитическая кислотность (H_T) – 1.53–1.84 ммоль/100 г; содержание P_2O_5 – 250–280 мг/кг; K_2O – 75–89 мг/кг. Перед посевом в почву вносили азофоску из расчета 300 кг/га. В период вегетации проводили подкормку аммиачной селитрой из расчета 150 кг/га, а также разовую обработку инсектицидами баковой смеси.

Агрохимические свойства пахотного слоя для почв в опыте с озимой пшеницей: содержание гумуса 1.8–2.0%, pH_{KCl} – 5.3, содержание K_2O – 146 мг/кг, содержание P_2O_5 – 229 мг/кг. Агротехника возделывания озимой пшеницы в опыте – общепринятая для зоны. Предшественником озимой пшеницы служил чистый пар. Изучали 4 уровня азотного питания: N_0 , N_{60} , N_{120} , N_{180} кг/га д. в. аммиачной селитры (N 34.4%) ГОСТ 2-85. Удобрения вносили вручную 2 раза: первый раз – после схода снега в фазу кушения – 60 кг/га д. в. (в вариантах N_{60} , N_{120} , N_{180}). Второй раз – перед выходом в трубку вносили 60 кг/га д. в. (в варианте N_{120}) и 120 кг/га д. в. (в варианте N_{180}).

Исследуемые сорта высевали селекционной сеялкой “Wintersteiger”.

Площадь делянок на яровой пшенице составляла 12 м², на озимой пшенице 10 м², повторность четырехкратная.

Уборку растений проводили селекционным комбайном “Wintersteiger”. Урожайность определяли путем взвешивания с учетом влажности образца. Данные урожайности приводили к 14% влажности и 100% чистоте.

Для определения аллелотоксичности почв проводили сравнительные испытания по развитию проростков семян тест культуры – яровой пшеницы сорт Лиза – в песке и почвах, отобранных после уборки урожая. При проведении этих экспериментов за 100% принимали развитие семян в песке и рассчитывали замедление или ускорение развития проростков семян почвой экспериментальных делянок.

Оценивали изменение интегральной длины проростков 7.5 г семян (~200 шт), которую определяли, используя экспресс-метод биотестирования, основанный на существовании линейной зависимости между насыпным объемом семян с проростками в воде и длиной их проростков [10].

При проведении экспериментов на дно чашки диаметром 95 мм помещали 30 г почвы или песка, затем ровным слоем размещали 7.5 г семян, а сверху – 30 г почвы или песка соответственно. После этого в чашку равномерно добавляли воду из мерной пипетки.

Семена, проросшие в песке/почве, отмывали от субстрата и помещали порциями в мерный ци-

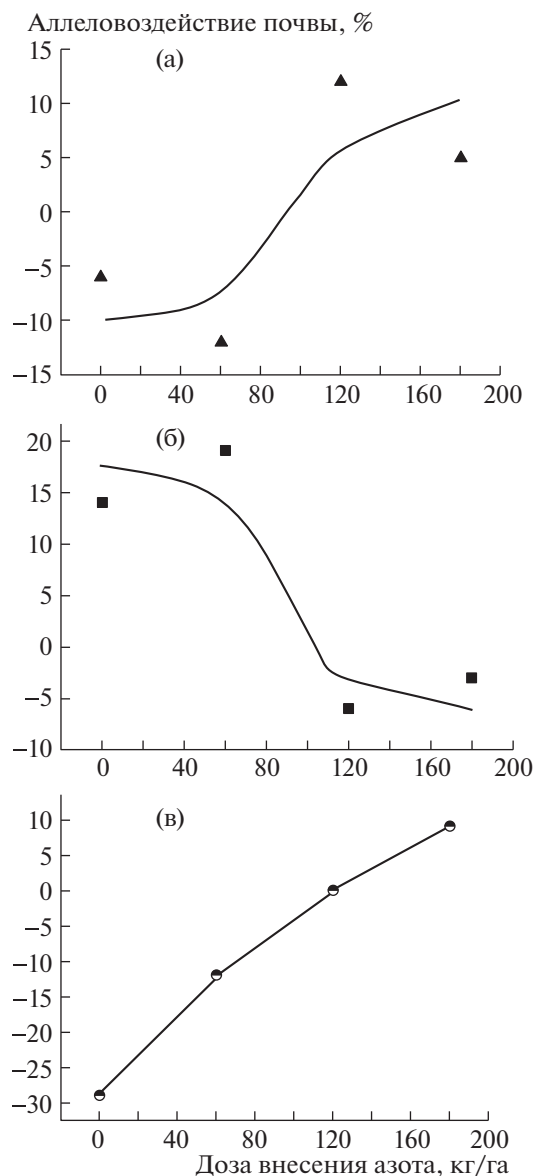


Рис. 1. Аллеловоздействие образцов дерново-подзолистой почвы на прорастание семян яровой пшеницы сорт "Лиза" после выращивания на этих почвах озимой пшеницы сортов "Немчиновская 85" (а), "Московская 39" (б) и линии "Лютесценс 982/08" (в), удобряемых различными дозами азота.

линдр на 100 мл с водой, размещенный на вибростол, колеблющемся с частотой 50 Гц. После помещения каждой порции проросших семян в цилиндр, которые создавали ажурную пористую структуру на них на 15–20 с, помещали небольшой грузик массой 8 г в виде резиновой пробки, что приводило к уплотнению структуры. После помещения всех проросших семян в цилиндр на них клали грузик и проводили дополнительное уплотнение структуры легкими постукиваниями (30–40) цилиндра с семенами о стол. Эти опера-

ции позволяли создать однородную структуру, а нижняя граница груза позволяла определять насыпной объем с точностью до 0.5 мл.

Применяли шестикратную повторность с последующей статистической обработкой результатов. Использование в одном опыте 1000–1200 семян позволяло рассчитывать доверительные интервалы с величиной, не превышающей 15%.

На первом этапе работы в мелкоделяночных опытах было изучено влияние внесения в почвы различных доз азотных удобрений на аллелотоксичность почв при выращивании на них различных сортов озимой пшеницы (рис. 1).

Из полученных данных хорошо видно, что все сорта по-разному реагируют на внесение азотных удобрений. Пшеница сорта "Немчиновская 85" хорошо отзывается на увеличение дозы азотных удобрений (рис. 1а), уменьшая выделение в почву аллелотоксинов. Конечная аллелотоксичность почв снижается с –10% (слабое угнетение) без внесения удобрений до +10% (слабая стимуляция) при внесении 180 кг/га. Похожим образом, но значительно сильнее, на внесение в почву удобрений реагирует озимая пшеница "Лютесценс 982/08" (рис. 1в). Без внесения азотных удобрений конечная аллелотоксичность почвы составляет –30% (среднее угнетение), т.е. отсутствие удобрений при выращивании этого сорта пшеницы является достаточно сильным стрессом для растений. При внесении азота в количестве 180 кг/га наблюдается заметное снижение выделения аллелотоксинов до слабой стимуляции (+10%).

Сорт озимой пшеницы Московская 39 (рис. 1б) реагирует несколько иначе. При малых дозах внесения азота количество выделяемых в почву аллелотоксинов весьма мало – почва обладает слабой стимулирующей способностью, а при росте дозы внесения азота начинает наблюдаться слабое угнетение. Если исходить из того, что выделение аллелотоксинов в почву характеризует реакцию растений на воздействие, то этот сорт желательно подкармливать малыми дозами несколько раз, так как в этом случае снизится величина стресс-фактора, возникающего за счет внесения в почву азота.

На втором этапе исследования было проведена проверка корреляции между урожайностью разных сортов яровой пшеницы и конечным аллеловоздействием¹ почв, на которых эти сорта выращивали, поскольку и урожайность, и конечное аллеловоздействие почв должны определяться суммарным действием стресс-факторов за период вегетации растений.

¹ Аллелотоксичность почв отражает только угнетающее воздействие почв на растения, в то время как аллеловоздействие может включать в себя и стимулирующее влияние.

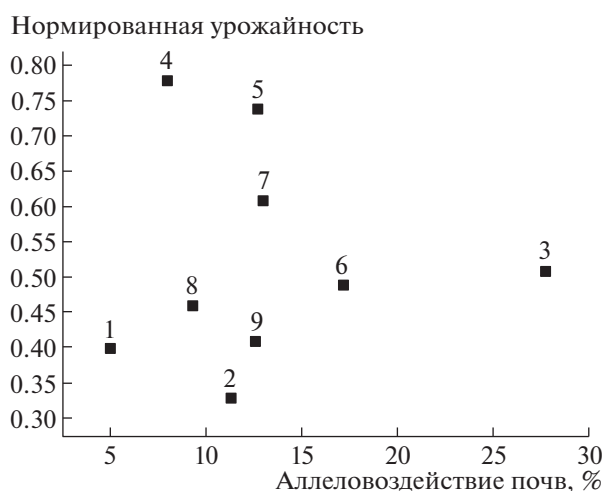


Рис. 2. Корреляция нормированной урожайности яровой пшеницы разных сортов в полевых испытаниях с конечным аллеловоздействием дерново-подзолистой почвы. Сорта пшеницы: 1 – “РИМА”; 2 – “Лиза”; 3 – “Агрос”; 4 – “Л459/3-15”; 5 – “Л460/2-15”; 6 – “Московская-35”; 7 – “Лада”; 8 – “Приокская”; 9 – “Эстер”.

Отметим, что в связи с разными генетическими особенностями сортов проводить сравнение их урожайности можно, только используя нормированную урожайность: т.е. текущую урожайность, отнесенную к потенциальной урожайности сорта в данном регионе.

Из полученных данных (рис. 2) хорошо видно, что корреляция между нормированной урожайностью и конечным аллеловоздействием почв не прослеживается, что, по-видимому, связано с узким диапазоном изменения аллеловоздействия и большой ошибкой при определении урожайности в мелколдьяночных опытах.

Представленные результаты свидетельствуют, что использование конечной аллелотоксичности (аллеловоздействия) почв в качестве параметра, характеризующего суммарное воздействие стресс-факторов на вегетирующие растения, может оказаться весьма полезным при определении стрессовых характеристик различных приемов, применяемых в сельском хозяйстве.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 122011800459-3 “Почвенные биомаркеры: идентификация, устойчивость, активность, возможность использования для мониторинга”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колупаев Ю.Е., Карпец Ю.В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. // Киев: Основа. 2010. 352 с.
2. *Allelopathy: a physiological process with ecological implications* // Eds. M.J. Reigosa, N. Pedrol, L. González. The Netherlands: Springer Science & Business Media. 2006. 637 p.
3. *Allelopathy: current trends and future applications* // Eds. Cheema Z.A., Farooq M., Wahid A. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media. 2013. 513 p.
4. *Einhellig F.A.* Interactions involving allelopathy in cropping systems // *Agronomy Journal*. 1996. V. 88. № 6. P. 886–893.
5. *Inderjit, Moral D.R.* Is separating resource competition from allelopathy realistic? // *The Botanical Review*. 1997. V. 63. № 3. P. 221–230.
6. *Treutter D.* Significance of flavonoids in plant resistance: a review // *Environmental Chemistry Letters*. 2006. V. 4. № 3. P. 147–157.
7. *Путина О.В., Беседин А.Г.* Абиотические стресс-факторы и их влияние на накопление ассимилятов растениями и урожайность овощного гороха // *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019. Т. 180. № 2. С. 51–59.
8. *Lipiec J. et al.* Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review // *International Agrophysics*. 2013. V. 27. № 4. P. 463–477.
9. *Gholinezhad E. et al.* Study of the effect of drought stress on yield, yield components and harvest index of sunflower hybrid Iroflor at different levels of nitrogen and plant population // *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2009. V. 37. № 2. P. 85–94.
10. *Федотов Г.Н. и др.* Влияние аллелотоксичности почв на прорастание семян зерновых культур // *Почвоведение*. 2019. № 4. С. 489–496.

PLANT STRESSES AND ALLELOTOXICITY OF SOILS

Academician of the RAS **B. I. Sandukhadze^a, G. N. Fedotov^b, N. V. Davydova^a, R. Z. Mamedov^a, V. A. Nardid^a, I. V. Gorepekin^b, M. S. Krakhmaleva^a, D. I. Potapov^b, A. O. Kazachenko^a, E. V. Savinov^a, and T. A. Gracheva^{b,#}**

^a Federal Research Center "Nemchinovka", Moscow region, Russian Federation

^b Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

[#]e-mail: tanyadunaeva12@mail.ru

It is known that stresses during the cultivation of agricultural plants reduce yields, but it is rather difficult to determine the magnitude and duration of stresses due to crop loss. It is also well known that stress factors lead to the release of allelotoxins by plants into the soil in which they vegetate. It is proposed to use allelotoxicity of soils after vegetation as a diagnostic parameter of the total stress effect on agricultural plants. To verify this assumption, change in soil allelotoxicity was studied after vegetation of three cultivars of winter wheat fed with different amounts of nitrogen fertilizers. It was established that cultivars "Nemchinovskaya 85", "Moskovskaya 39" and "Lutescens 982/08" react to fertilizing in different ways. For cultivars "Nemchinovskaya 85" and "Lutescens 982/08", an increase in the dose of nitrogen fertilizers leads to a decrease in the stress reaction. It is noticeably manifested when there is a lack of nitrogen in the soil. For the "Moskovskaya 39" cultivar, high doses of nitrogen fertilizers cause an adverse reaction of increased release of allelotoxins. It allows us to conclude that fertilizing this cultivar with nitrogen to prevent slowing down the development of plants should be carried out in several steps. Thus, the conducted studies have confirmed the possibility of using the allelotoxicity of the soil after growing plants on them as an indicator of stresses caused by growing conditions and the use of various agricultural techniques.

Keywords: vegetation of plants, environmental factors, small-scale experiments, fertilizing with nitrogen fertilizers, the relationship of yield and alleloeffects of soils