Максимальной усредненной урожайностью обладал сорт Зуша черная, равной 280,3 г; минимальная урожайность, равная 67,9 г выявлена у сорта Зуша белая. Средняя урожайность по образцам составила 163,4 г/м², что меньше стандарта 1,62 раза. Стандартное отклонение составило 67,777 с коэффициентом вариации, равным 41 %.

Заключение. В ходе изучения образцов фасоли обыкновенной зернового направления с целью повышения продуктивности были выделены образцы-источники хозяйственно-ценных признаков:

- число семян в бобе: Красно-пестрая, Stringless, Мечта хозяйки, Brunot;
- число семян с растения: сорта Нерусса и Зуша черная;
- масса 1000 семян (с учетом оптимальной массы 1000 семян для механизированного возделывания): Золотистая, Пестрая, Bomba, Пестрая Романово, Canario, Stringless, Мечта хозяйки, Бийчанка пестрая, Veenoorl, Katia, Лукерья, Brunot.

По комплексу хозяйственно-ценных признаков выделился образец Красно-пестрая.

Список литературы

1. Маракаева Т.В. Сравнительная оценка хозяйственно-ценных признаков фасоли (*Phaseolus vulgaris* L.) и создание на их основе нового селекционного материала для условий южной лесостепи Западной Сибири: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Омск, 2014. – 180 с.
2. Методические указания по изучению коллекции зерновых бобовых культур. – Санкт-Петербург, 1975. – 60 с.
3. Методические указания. Методика проведения испытаний на отличимость, однородность и стабильность (Фасоль обыкновенная *Phaseolus vulgaris* L.). – М.: 1995. – 14 с.

DOI 10.18699/GPB2020-38

Влияние полиморфных вариантов CAD (ЕС 1.1.1.195) на устойчивость пшеницы к грибным инфекциям

Коновалов А.А.^{1*}, д.б.н., с.н.с.; Орлова Е.А.², к.с.-х.н., в.н.с.; Карпова Е.В.³, к.х.н., с.н.с.; Шундрин И.К.³, к.х.н., с.н.с.

¹ Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия;

² Сибирский научно-исследовательский институт растениеводства и селекции – филиал ИЦиГ СО РАН, пос. Краснообск, Россия;

³ Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия.

* e-mail: konov@bionet.nsc.ru

Полиморфизм по спектрам CAD (cinnamil alcohol dehydrogenase, дегидрогеназа коричневого спирта; EC 1.1.1.195) обнаружен в сортообразцах яровой мягкой пшеницы, различающихся по устойчивости к грибным инфекциям. Получены гибриды между контрастными образцами, потомства F_4 с различными генотипами по CAD оценивали на устойчивость к бурой ржавчине и мучнистой росе. Генотипы различались по устойчивости, наибольший вклад в устойчивость придает ген CAD^{im+} . Изучены микроморфологические и химические показатели пораженных и устойчивых растений. Обнаружены различия в содержании компонентов лигнина, повышено содержание компонентов с альдегидными группами.

Ключевые слова: мягкая пшеница, дегидрогеназа коричневого спирта, устойчивость, бурая ржавчина, химический состав.

Influence of polymorphic variants of cad (ec 1.1.1.195) on resistance of wheat to fungal infections

Konovalov A.A.¹, Orlova Ye.A.², Karpova Ye.V.³, Shundrina I.K.³

¹Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

²Siberian Research Institute of Crop Production and Selection – branch of ICG SB RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

³N.N. Vorozhtsov Novosibirsk Institute of Organic Chemistry of the Siberian Branch of Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia
konov@bionet.nsc.ru

CAD polymorphism (cinnamil alcohol dehydrogenase, cinnamon alcohol dehydrogenase; EC 1.1.1.195) is found in the cultivars of spring bread wheat, differing on resistance to fungal infections. Hybrids between contrast samples were obtained, F_4 progeny with different genotypes by CAD were evaluated for resistance to brown rust and powdery mildew. Genotypes varied in resistance, with the CAD^{im+} gene giving the greatest contribution to resistance. Micromorphological and chemical indicators of affected and resistant plants have been studied. Differences in the content of lignin components were found, and the content of aldehyde group components was increased.

Key words: bread wheat, cinnamil alcohol dehydrogenase, brown rust, chemical composition.

Защитные реакции растений от грибных инфекций могут быть двух типов: индуцированные патогенной атакой и присутствующие в тканях конститутивно. Последние основаны на структурных особенностях тканей растений и содержании в них тех или иных метаболитов, оказывающих защитное действие. В ряде исследований отмечается участие в защитных механизмах продуктов фенилпропаноидного пути метаболизма – лигнина, лигнанов

и ароматических гликозидов. В нашем предыдущем исследовании обнаружена связь между устойчивостью растений яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. к бурой ржавчине (возбудитель *Puccinia triticina* Erikss.) и содержанием в тканях различных метаболитов и минеральных веществ [1]. В этой работе использованы образцы, полиморфные по изоферментным спектрам CAD (cinnamyl alcohol dehydrogenase, дегидрогеназа коричневого спирта; ЕС 1.1.1.195), фермента, катализирующего последнюю реакцию фенилпропаноидного пути. У многих видов растений обнаружен полиморфизм по генам, кодирующим CAD [2]. Влияние генотипов CAD на устойчивость к грибным инфекциям обнаружено на китайских сортах пшеницы [3], а также на двухдольных [4–6].

В нашей работе были использованы сортообразцы яровой мягкой пшеницы, полиморфные по спектрам CAD и различающиеся по устойчивости к грибным инфекциям: устойчивый к мучнистой росе и бурой ржавчине сорт яровой пшеницы Новосибирская 61 (СибНИИРС) и три восприимчивых образца: сорт Скала, популяция Хакасская (СІММУТ 2167) и образец спельты к-53660 из коллекции ВИРа. Гибриды F₁ были получены зимой 2017/18 гг. в теплице и высеяны на инфекционном поле весной 2018 года. Зимой 2018/19 гг. получены потомства F₃, которые использовались для лабораторной оценки устойчивости к бурой ржавчине, и потомства F₄, которые высевались на инфекционном поле летом 2019 г. Тип поражения растений бурой ржавчиной определяли по методике Mains, Jackson (1926) [7]. Генотипы CAD определяли методом гель-электрофореза, обнаружен полиморфизм по трем генам, обозначенным CAD-5A, CAD-5D и CAD-im, всего 8 гомозиготных фенотипов.

Большинство растений F₁ были устойчивы, потомства F₃ и F₄ различались по устойчивости. В таблице приведены данные по потомствам F₃. Из полученных данных следует, что ген CAD^{im+} вносит наибольший вклад в устойчивость. Данные по F₄, полученные летом на инфекционном поле, в основном совпадали с данными по F₃. Образцы с генотипами CAD^{im+} и CAD^{im-} были использованы для анализа микроморфологических и химических показателей тканей. Растения, выращенные на поле, отличаются толщинами клеточных стенок. Для генотипа 9-65 (CAD-im: +/+) средняя толщина клеточной стенки составляет 2,82 мкм, для генотипа 9-1 (CAD-im: –/–) – 1,80 мкм.

Таблица – Лабораторная оценка устойчивости к бурой ржавчине

Генотипы CAD	Тип реакции
1	2
CAD-5A: +/+ CAD-5D: +/+ CAD-im: +/+	1
CAD-5A: –/– CAD-5D: –/– CAD-im: +/+	0–1
CAD-5A: +/+ CAD-5D: –/– CAD-im: +/+	0
CAD-5A: –/– CAD-5D: +/+ CAD-im: +/+	0–1

1	2
CAD-5A: +/- CAD-5D: +/- CAD-im: -/-	2-3
CAD-5A: -/- CAD-5D: -/- CAD-im: -/-	3
CAD-5A: +/- CAD-5D: -/- CAD-im: -/-	1-2
CAD-5A: -/- CAD-5D: +/- CAD-im: -/-	2

Препараты диоксанлигнина были изучены методами ИК-спектроскопии, протонного магнитного резонанса, ядерного магнитного резонансы по изотопу ^{13}C , а также методом 2D-ЯМР. Обнаружено повышенное содержание карбонильных групп у генотипа CAD^{im+} (повышенное содержание альдегидных групп). Содержание других структурных фрагментов в образцах примерно одинаково. Также по данным ^{13}C -ЯМР и 2D-ЯМР обнаружены значительные различия по коричневым мономерам лигнина. Можно предположить, что повышенное содержание альдегидов в тканях листа оказывает защитное действие.

Благодарности: Работа поддержана бюджетными проектами № 0324-2019-0039 (ИЦИГ СО РАН) и 0302-2020-0005 (НИОХ СО РАН), а также проектом РФФИ 19-44-540003 p_a.

Список литературы

1. Коновалов А.А., Шундрин И.К., Карпова Е.В., Ельцов И.В., Орлова Е.А., Гончаров Н.П. Влияние лигнификации и минерализации тканей листа на устойчивость к бурой ржавчине растений мягкой пшеницы. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(6):686-693. DOI 10.18699/VJ17.286
2. Коновалов А.А., Шундрин И.К., Карпова Е.В. Полиморфизм ферментов лигнификации у растений: функциональное значение и прикладные аспекты // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135. № 5. С. 496–513.
3. Rong W, Luo M, Shan T, Wei X, Du L, Xu H, Zhang Z. A Wheat Cinnamyl Alcohol Dehydrogenase TaCAD12 Contributes to Host Resistance to the Sharp Eyespot Disease. Front Plant Sci. 2016. November 2016 | Volume 7 | Article 1723. eCollection 2016. PMID: 27899932. DOI: 10.3389/fpls.2016.01723
4. Somssich I.E., Wernert P., Kiedrowski S., Hahlbrock K. Arabidopsis thaliana defense-related protein ELI3 is an aromatic alcohol:NADP+ oxidoreductase // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 1996. V. 93. No. 14199–14203. DOI: 10.1073/pnas.93.24.14199
5. Tronchet M., Balagué C., Kroj T., Jouanin L., Roby D. Cinnamyl alcohol dehydrogenases-C and D, key enzymes in lignin biosynthesis, play an essential role in disease resistance in Arabidopsis. Molecular Plant Pathology. 2010;11:83-92. DOI 10.1111/j.1364-3703.2009.00578.x.
6. Новаковский Р.О., Повхова Л.В., Краснов Г.С., и др. Семейство генов дегидрогеназ коричневого спирта вовлечено в ответ устойчивых и восприимчивых генотипов льна на заражение *Fusarium oxysporum*. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(7):896-901. DOI 10.18699/VJ19.564
7. Mains E.B., Jackson H.S. Physiological specialization in the leaf rust of wheat, *Puccinia triticina* Erikss // Phytopathology. 1926. V. 16. P. 89–120.