

Научная статья
УДК 633.111.1/632.4/57.04
doi: 10.28983/asj.y2023i5pp16-23

**Фитопатологическая оценка влияния желтой ржавчины на генотипы мягкой пшеницы
(*Triticum aestivum* L.) азербайджанского происхождения**

Айнур Магаммед Каримова

Институт генетических ресурсов НАНА, г. Баку, Азербайджан, e-mail: mehdiyeva0089@mail.ru

Аннотация. Желтая ржавчина (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) на мягкой пшенице (*Triticum aestivum* L.) привела к значительному снижению качества и потере урожая зерна пшеницы. Определение степени заражения 90 изученных нами генотипов мягкой пшеницы желтой ржавчиной и оценку величины SPAD проводили в естественных условиях на Апшеронском полуострове, на Апшеронской научно-экспериментальной базе Института генетических ресурсов НАН Азербайджана (С. 40°24.001', В. 49°49.001', В. = 50 м) в течение 2017–2020 гг. Степень заражения желтой ржавчиной составляла 0–100 %. Исследуемый показатель значения SPAD между генотипами менялся от 28,9 до 83,5. Средний показатель этого признака составил 50,5. Среди исследованных генотипов мягкой пшеницы образцом с наибольшим значением SPAD оказался генотип к9530 сорта *Erythrospermum*, с показателем 83,5. Степень заражения этого образца желтой ржавчиной 0 %, он показал иммунную реакцию. Как видно из степени устойчивости к желтой ржавчине и оценки значения SPAD, разновидности мягкой пшеницы имели разные степени заражения и значения SPAD. Несколько генотипов были устойчивы к желтой ржавчине, а также обладали высокими значениями SPAD. Кластерный анализ построен на индексе евклидова расстояния методом WARD пакета статистических программ PAST. В соответствии с указанными признаками исследуемые нами генотипы были сгруппированы в 6 основных кластеров. Согласно индексу евклидова расстояния, самыми дальними генотипами кластера были генотип к9530 разновидности *Erythrospermum* и генотип к7252 разновидности *Milturum* (54,63).

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L.; *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*; желтая ржавчина; чувствительность; SPAD.

Для цитирования: Каримова А. М. Фитопатологическая оценка влияния желтой ржавчины на генотипы мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) азербайджанского происхождения // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 16–23. [http: 10.28983/asj.y2023i5pp16-23](http://10.28983/asj.y2023i5pp16-23).

AGRONOMY

Original article

**Phytopathological assessment of azerbaijan origin bread wheat
(*Triticum aestivum* L.) genotypes against yellow rust**

Ainur M. Karimova

Genetic Resources Institute ANAS, Baku, Azerbaijan, e-mail: mehdiyeva0089@mail.ru

Abstract. Yellow rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on bread wheat (*Triticum aestivum* L.) has resulted in significant reductions in the yield losses and wheat grain quality. Infection rate to yellow rust disease and evaluation of the SPAD value of 90 soft wheat genotypes we studied has been implemented in the conditions of the Absheron Peninsula, the territory of the Absheron Experimental Base of ANAS (С. 40°24.001', В. 49°49.001', В. = 50 m.) in 2017–2020 years. Infection rate to yellow rust disease was 0–100 S. An indicator of the SPAD value we studied has changed from 28.9 to 83.5 between genotypes. The average indicator of this symptom was 50.5. The sample with the highest SPAD value of the soft wheat genotypes we studied was genotype k9530 belonging to the *Erythrospermum* variety, which had an indicator of 83.5. Infection rate to the yellow rust of this sample was 0 and showed an immune reaction. Different variety, as can be seen from the appreciation of resistance rate for the yellow rust and the value of the SPAD had different infection rates and SPAD values. As a result of this evaluation, although there was partial conformity, full sameness was not observed. Some genotypes had high SPAD values as resistance to the yellow rust. The cluster analysis is based on the Euclidean distance index of the WARD method of the PAST statistical software package. The genotypes we studied have grouped into 6 main clusters according to indicated tokens. According to the euclidean distance index, the farthest genotypes of the cluster were genotype k9530 from the *Erythrospermum* variety and genotype k7252 from the *Milturum* variety (54.63). It can be explained by the fact that they belong to different variety.





Keywords: *Triticum aestivum* L.; *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*; yellow rust; susceptible; SPAD.

For citation: Karimova A. M. Phytopathological assessment of Azerbaijan origin bread wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes against yellow rust. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(5): 16–23. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i5pp16-23](http://10.28983/asj.y2023i5pp16-23).

Введение. Биотрофный гриб *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* вызывает болезнь желтой ржавчины у пшеницы. Эта культура является наиболее масштабно выращиваемым злаком в мире и служит основой питания для 4,5 млрд человек в 95 развивающихся странах. Пшеница – один из важнейших продуктов питания в мире, обеспечивающая около одной пятой потребности людей в калориях и белках, а также восполняющая их дневные запасы витаминами и энергией. Ожидается, что к 2050 г. спрос на пшеницу увеличится на 60 %, а урожайность ее из-за климатических факторов, болезней и вредителей снизится на 29 % [18]. В Азербайджане в производстве продуктов питания пшеница занимает большую долю.

Болезни ржавчины пшеницы являются одними из самых серьезных в мире и оказывают негативное влияние на глобальную продовольственную безопасность [8, 11]. В Азербайджанской Республике было создано много высокоурожайных сортов пшеницы, но со временем у них появляется чувствительность к желтой ржавчине. Поражение возбудителем желтой ржавчины приводит к снижению продуктивности и качества зерна. Заражение флагового листа пшеницы вызывает более заметное снижение урожайности, чем заражение листьев нижнего яруса [5]. Высокая зараженность вызывает септориоз (усыхание) зерна и отрицательно влияет на физиологические процессы пшеницы. Такие зерна снижают качество и массу. Воздействие желтой ржавчины на растение зависит от чувствительности генотипа растения-хозяина, периода начала эпидемии, количества инокулюма и температуры во время начала инфицирования [21]. Как и другие виды ржавчины, желтая ржавчина имеет альтернативных видов-хозяев и сложный жизненный цикл, охватывающий несколько стадий развития. Из-за высокой способности возбудителя ржавчины к мутациям и короткому циклу размножения у них постоянно появляются новые патотипы.

Понимание угрозы ржавчины и способности инфицирования пшеницы, а также идентификация и характеристика генов устойчивости помогут разработке схем селекции в будущем. Желтая ржавчина может серьезно повредить мировому производству пшеницы [10], потери урожая могут увеличиться на 10–70 %, что приведет к снижению качества зерна и кормов [3, 20]. Полосатая ржавчина (англ. – stripe rust) была доминирующим заболеванием пшеницы в странах Центральной Азии в конце 1990-х – начале 2000-х гг., что привело к потерям 20–40 % урожая в 1999 и 2000 гг. [12]. Контроль над желтой ржавчиной осуществляют фунгицидами или устойчивыми сортами [3, 10, 12]. Желтая ржавчина влияет на многие физиологические свойства пшеницы, которые тесно связаны с потерей урожая зерна [6, 16, 17]. Среди них снижение функции хлоропластов приводит к уменьшению хлорофилла листа с последующим снижением индекса площади зеленого листа и соотношения фотосинтеза [2, 9, 14]. Потенциальное воздействие желтой ржавчины на пшеницу и другие культуры было предсказано путем оценки площади зеленого покрова, фотосинтеза, содержания хлорофилла в листьях [4, 19]. Генотипическая изменчивость образцов мягкой пшеницы по содержанию хлорофилла в листе может резко возражать при инфицировании возбудителем желтой ржавчины.

Целью данного исследования – иммунологическая и фитопатологическая оценка генотипов мягкой пшеницы, отбор устойчивых форм и выработка рекомендаций по их применению в дальнейших селекционных исследованиях, проводимых в этом направлении.

Методика исследований. Исследуемые генотипы были взяты из Национального Генбанка Института генетических ресурсов НАН Азербайджана, которые имели селекционную ценность и принадлежали к 12 разновидностям мягкой пшеницы. Образцы высевали методом экспериментального дизайна в двух повторностях в течение трех лет (25.11.2017; 30.11.2018; 27.11.2019). Для создания искусственно-инфекционного фона был взят сорт Морокко, который высевали через каждые 10 номеров, контролем служил устойчивый сорт Баба-75. Степень заражения желтой ржавчиной и оценку значения SPAD у 90 исследованных нами генотипов мягкой пшеницы проводили в естественных условиях на Апшеронском полуострове (Апшеронская научно-экспериментальная база Института генетических ресурсов НАН Азербайджана (С. 40°24.001', В. 49°49.001', В. = 50 м)).

В табл. 1 представлены показатели средней температуры воздуха и количества осадков в инкубационный период развития желтой ржавчины в годы проведения исследования.

Таблица 1

Среднесуточная температура воздуха и количество осадков (2018–2020 гг.)

| Годы | Месяц | Температура, °С | Количество осадков, мм |
|------|-------|-----------------|------------------------|
| 2018 | Май | 17 | 85 |
| | Июнь | 24 | 65 |
| 2019 | Май | 19 | 80 |
| | Июнь | 25 | 68 |
| 2020 | Май | 18 | 85 |
| | Июнь | 25 | 60 |

С целью выявления генетических различий по содержанию хлорофилла у исследуемых образцов мягкой пшеницы проводили измерение значения SPAD хлорофилла. Количество хлорофилла в листе измеряли с помощью прибора SPAD-502. Состав хлорофилла измеряли в неповрежденных грибком частях листа, с помощью портативного измерителя у основания середины и кончика 5 основных листьев каждого образца. Измерения проводили в промежутке времени 10:00 и 14:00 ч в солнечный день, через 2 недели после цветения.

Для оценки устойчивости исследуемых образцов к возбудителю желтой ржавчины в естественных условиях использовали модифицированную шкалу Peterson et al. и шкалу Roelfs et al.:

0 – иммунный: заболевание не наблюдается;

R – устойчивый: вместо пустул на листьях явно заметные некротические пятна, пораженность листьев 5–10 %;

MR – средней устойчивости: на листьях наблюдаются мелкие пустулы, окруженные зоной хлороза, пораженность листьев 11–30 %;

MS – средней чувствительности: пустулы мелкие, пораженность листьев 31–50 %;

S – чувствительный: пустулы крупные, пораженность листьев до 75–100 % [13, 15].

Статистический анализ данных был выполнен с помощью статистической компьютерной программы PAST. Кластерный анализ построен на индексе евклидова расстояния методом WARD пакета статистических программ PAST [7].

Результаты исследований. В ходе исследований были даны оценки устойчивости к желтой ржавчине 90 генотипов мягкой пшеницы азербайджанского происхождения в полевых условиях и значения SPAD (является физиологическим показателем).

Следует отметить, что исследованные образцы мягкой пшеницы принадлежали к 12 разновидностям (табл. 2). Степень заражения желтой ржавчиной составляла 0–100 %. Исследуемое нами значение SPAD между генотипами варьировало от 28,9 до 83,5. Средняя оценка этого признака составила 50,5.

Таблица 2

Заражение образцов мягкой пшеницы и оценка значения SPAD

| № п/п | Генотип | Разновидность | Место происхождения генотипа | СУЖР* | SPAD |
|-------|---------------------|-----------------|------------------------------|-------|------|
| 1 | <i>YBRFS014K-5</i> | <i>Graecum</i> | Апшерон | 20MR | 52.5 |
| 2 | <i>YBRFS014K-12</i> | <i>Milturum</i> | Апшерон | 20S | 52.7 |
| 3 | <i>YBRFS014K-13</i> | <i>Milturum</i> | Апшерон | 30MR | 49.1 |
| 4 | <i>YBRFS014K-14</i> | <i>Milturum</i> | Апшерон | 5R | 50 |
| 5 | <i>YBRFS014K-15</i> | <i>Milturum</i> | Апшерон | 20S | 49.1 |
| 6 | <i>YBRFS014K-16</i> | <i>Milturum</i> | Апшерон | 100S | 48,6 |
| 7 | <i>YBRFS014K-19</i> | <i>Milturum</i> | Апшерон | 80MS | 51.4 |
| 8 | <i>YBRFS014K-20</i> | <i>Milturum</i> | Апшерон | 90S | 47.7 |



| | | | | | |
|----|---------------|------------------------|----------|------|------|
| 9 | YBRFS014K-21 | <i>Milturum</i> | Апшерон | 40S | 51.6 |
| 10 | YBRFS014K-24 | <i>Milturum</i> | Апшерон | 20MR | 51.8 |
| 11 | YBRFS014K-25 | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 90S | 48.8 |
| 12 | YBRFS014K-26 | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 20S | 42.5 |
| 13 | YBRFS014K-29 | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 5R | 34.1 |
| 14 | YBRFS014K-33 | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 50S | 51.1 |
| 15 | YBRFS014K-36 | <i>Ferruginum</i> | Апшерон | 30S | 50.8 |
| 16 | YBRFS014K-37 | <i>Ferruginum</i> | Апшерон | 40S | 37.8 |
| 17 | YBRFS014K-40 | <i>Ferruginum</i> | Апшерон | 30MR | 50.7 |
| 18 | YBRFS014K-45 | <i>Ferruginum</i> | Апшерон | 90S | 49.5 |
| 19 | YBRFS014K-48 | <i>Sub.Ferruginum</i> | Апшерон | 40MS | 34.6 |
| 20 | YBRFS014K-49 | <i>Sub. Ferruginum</i> | Апшерон | 100S | 38.6 |
| 21 | YBRFS014K-50 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 20MR | 39.3 |
| 22 | YBRFS014K-55 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 0 | 39 |
| 23 | YBRFS014K-58 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 20S | 37.6 |
| 24 | YBRFS014K-59 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 30S | 44.9 |
| 25 | YBRFS014K-60 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 0 | 54.2 |
| 26 | YBRFS014K-68 | <i>Erythroleucon</i> | Апшерон | 10R | 45.9 |
| 27 | YBRFS014K-80 | <i>Alborubrum</i> | Апшерон | 50MR | 51.4 |
| 28 | YBRFS014K-84 | <i>Alborubrum</i> | Апшерон | 20S | 53.8 |
| 29 | YBRFS014K-88 | <i>Alborubrum</i> | Апшерон | 30MR | 50.7 |
| 30 | YBRFS014K-90 | <i>Barbarossa</i> | Апшерон | 60MS | 43.8 |
| 31 | YBRFS014K-93 | <i>Barbarossa</i> | Апшерон | 30MS | 46.8 |
| 32 | YBRFS014K-107 | <i>Albidium</i> | Апшерон | 30MR | 47.4 |
| 33 | YBRFS014K-112 | <i>Albidium</i> | Апшерон | 60S | 44 |
| 34 | YBRFS014K-116 | <i>Albidium</i> | Апшерон | 40S | 53 |
| 35 | YBRFS014K-118 | <i>Hostianum</i> | Апшерон | 40S | 46 |
| 36 | YBRFS014K-120 | <i>Hostianum</i> | Апшерон | 40S | 50 |
| 37 | YBRFS014K-122 | <i>Hostianum</i> | Апшерон | 60S | 46.2 |
| 38 | YBRFS014K-127 | <i>Hostianum</i> | Апшерон | 60MR | 56.9 |
| 39 | YBRFS014K-131 | <i>Velutinum</i> | Апшерон | 30MS | 50.9 |
| 40 | YBRFS014K-133 | <i>Velutinum</i> | Апшерон | 10MS | 57.6 |
| 41 | YBRFS014K-134 | <i>Velutinum</i> | Апшерон | 30MR | 51.1 |
| 42 | YBRFS014K-148 | <i>Leucospermum</i> | Апшерон | 30S | 51.8 |
| 43 | YBRFS014K-17 | <i>Milturum</i> | Апшерон | 50S | 53.1 |
| 44 | 6167 | <i>Lutescens</i> | Татар | 10MS | 45.3 |
| 45 | 6264 | <i>Lutescens</i> | Шеки | 20MR | 55.9 |
| 46 | 6278 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 50S | 54.3 |
| 47 | 6279 | <i>Ferrugineum</i> | Апшерон | 80MS | 47.4 |
| 48 | 6280 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 30MR | 53.2 |
| 49 | 6290 | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 60MR | 52.5 |
| 50 | 6300 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 30S | 45.8 |
| 51 | 6920 | <i>Graecum</i> | Самух | 40S | 50.7 |
| 52 | 6927 | <i>Graecum</i> | Масаллы | 80MS | 52.1 |
| 53 | 6928 | <i>Graecum</i> | Газах | 10S | 49.5 |
| 54 | 6930 | <i>Milturum</i> | Ханкенди | 20S | 51 |
| 55 | 6931 | <i>Milturum</i> | Апшерон | 0 | 49.4 |



| | | | | | |
|----|--------------|-----------------------|------------|------|------|
| 56 | 6932 | <i>Milturum</i> | Шемахы | 10R | 48.3 |
| 57 | 7246 | <i>Graecum</i> | Нахичевань | 80S | 44 |
| 58 | 7247 | <i>Milturum</i> | Масаллы | 20MR | 46.5 |
| 59 | 7248 | <i>Milturum</i> | Шабран | 10MR | 51.7 |
| 60 | 7249 | <i>Milturum</i> | Апшерон | 40S | 42.5 |
| 61 | 7250 | <i>Milturum</i> | Апшерон | 40MS | 37.1 |
| 62 | 7252 | <i>Milturum</i> | Апшерон | 10MR | 28.9 |
| 63 | 7253 | <i>Milturum</i> | Нахичевань | 60MR | 30 |
| 64 | 7254 | <i>Erythrospermum</i> | Шемахы | 0 | 32.1 |
| 65 | 7255 | <i>Erythrospermum</i> | Геранбой | 10MR | 35.3 |
| 66 | 7256 | <i>Erythrospermum</i> | Шеки | 20MR | 41.1 |
| 67 | 7319 | <i>Meridionale</i> | Нахичевань | 30MR | 48.5 |
| 68 | 7320 | <i>Meridionale</i> | Лерик | 60MR | 53.8 |
| 69 | 7321 | <i>Barbarossa</i> | Апшерон | 20MR | 42.7 |
| 70 | 7323 | <i>Barbarossa</i> | Нахичевань | 50S | 62.6 |
| 71 | 8738 | <i>Velutinum</i> | Апшерон | 20MS | 51.9 |
| 72 | 9526 | <i>Erythrospermum</i> | Гарязи | 0 | 50.9 |
| 73 | 9528 | <i>Erythrospermum</i> | Барда | 0 | 53.2 |
| 74 | 9530 | <i>Erythrospermum</i> | Шеки | 0 | 83.5 |
| 75 | 9531 | <i>Erythrospermum</i> | Шеки | 5R | 70.4 |
| 76 | 9533 | <i>Erythrospermum</i> | Огуз | 60MR | 74 |
| 77 | 9542 | <i>Lutescens</i> | Гобустан | 30S | 73.9 |
| 78 | Карабах | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 20MR | 43.3 |
| 79 | Зардаби | <i>Graecum</i> | Апшерон | 0 | 58.1 |
| 80 | Безостая-1 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 20S | 49.9 |
| 81 | Мирбашир 128 | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 60MR | 58.2 |
| 82 | Азери | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 30MS | 62.1 |
| 83 | Зирве 85 | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 80MR | 54 |
| 84 | Азаметли 85 | <i>Graecum</i> | Апшерон | 20S | 70.6 |
| 85 | Шафаг | <i>Graecum</i> | Апшерон | 10MR | 75.9 |
| 86 | Угур | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 30S | 61.2 |
| 87 | Муров 2 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 10MR | 47.2 |
| 88 | Гызылбугда | <i>Ferrugineum</i> | Апшерон | 40MS | 65.6 |
| 89 | Лаягатли 80 | <i>Erythrospermum</i> | Апшерон | 5R | 58.5 |
| 90 | Баба 75 | <i>Lutescens</i> | Апшерон | 0 | 59.8 |

* СУЖР – степень устойчивости к возбудителю желтой ржавчины.

Среди исследованных нами генотипов мягкой пшеницы обладателем наибольшего значения SPAD оказался генотип к9530 разновидности *Erythrospermum* с показателем 83,5. Этот образец показал иммунную реакцию с уровнем инфицирования желтой ржавчиной равной 0. Другой генотип с высоким значением SPAD к9531, той же разновидности, имел значение SPAD 70,4. Уровень инфицирования образца желтой ржавчиной был оценен как 5R и выбран как устойчивый генотип. Хотя значение SPAD (59,8) сорта Баба 75, принадлежащего к разновидности *Lutescens*, было ниже, чем у двух других образцов, он показал иммунную реакцию на желтую ржавчину 0. Сорт Зардаби, принадлежащий к разновидности *Graecum*, также не заражался желтой ржавчиной и показал иммунную реакцию, значение SPAD составило 58,1. SPAD другого генотипа образца YBRFS014K-60 разновидности *Lutescens*, который показал иммунную реакцию на желтую ржавчину, составил 54,2. Несмотря на то, что у генотипа к9533, который относится к разновидности *Erythrospermum*, значение SPAD было довольно высоким (74), он показал среднюю устойчивость (60MR) к желтой





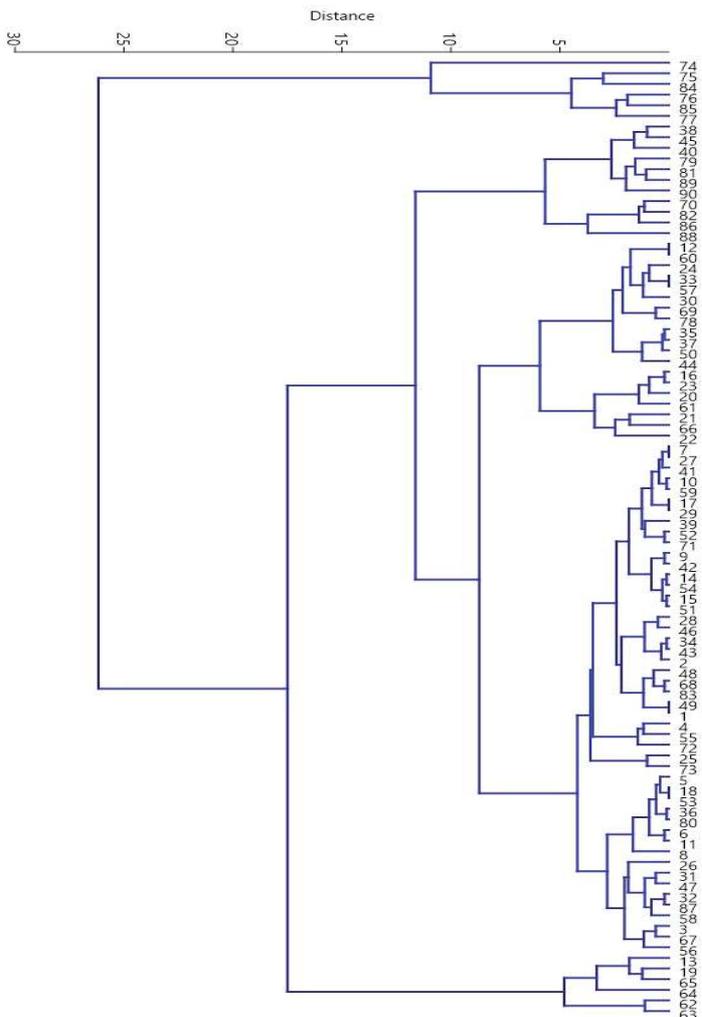
ржавчине. Значение SPAD для генотипа к9526, принадлежащего к разновидности *Erythrospermum*, равно среднему показателю всех генотипов, уровень заражения желтой ржавчиной равнялся 0. Степень заражения желтой ржавчиной генотипа YBRFS014K-14 разновидности *Milturum* была равна 0, а значение SPAD было равно среднему показателю. Значение SPAD генотипа к6931, принадлежащего к разновидности *Milturum*, было низким, но он показал иммунную реакцию к желтой ржавчине. Степень заражения желтой ржавчиной сорта Гызылбугда разновидности *Ferrugineum* и сорта Азери разновидности *Lutescens* с высоким значением SPAD оценивалась как 40MS и 30MS. Несмотря на то, что у генотипа к9542, принадлежащего к разновидности *Lutescens*, значение SPAD было высоким, степень заражения желтой ржавчиной равнялась 30S.

Как видно из данных фитопатологической оценки степени устойчивости к желтой ржавчине и значения SPAD, образцы мягкой пшеницы разных разновидностей имели различные уровни заражения и значения SPAD. В результате этих оценок, несмотря на частичное соответствие, между степенью устойчивости к желтой ржавчине и значениями SPAD точной идентичности не наблюдалось. Некоторые генотипы, обладая высокими значениями SPAD, были устойчивы к желтой ржавчине, а некоторые нет.

Кластерный анализ: Кластерный анализ построен на индексе евклидова расстояния методом WARD пакета статистических программ PAST. Известно, что кластерный анализ позволяет идентифицировать генотипы и выявлять сходство и различие у растений [1]. Поскольку изученные нами генотипы сгруппированы в 6 основных кластеров в соответствии с указанными характеристиками, дендрограмма будет разделена на 6 частей и проанализирована соответствующим образом (см. рисунок).

Генотипы были сгруппированы в соответствии со значением SPAD. Отметим, что кластерный анализ позволяет визуально видеть и группировать генотипы по нескольким характеристикам.

Первый кластер дендрограммы содержал только один генотип разновидности *Erythrospermum*, имеющий наивысшее значение SPAD и иммунную реакцию к желтой ржавчине. Во второй кластер вошли 5 генотипов, имеющих высокие значения SPAD. Степень заражения желтой ржавчиной в образцах варьировала от 5R до 10S. Третий кластер дендрограммы состоял из 11 генотипов. Здесь значение SPAD сгруппированных генотипов (58,1–68,1) было выше средних показателей всех генотипов. Степень заражения желтой ржавчиной варьировала от 0 до 50S. Четвертый кластер, включающий 20 генотипов, был оценен как низкоэффективный генотип по значениям SPAD, при этом большинство образцов были чувствительны и высокочувствительны к желтой ржавчине. В пятом кластере дендрограммы был 21 генотип мягкой пшеницы. Генотипы, сгруппированные в этот кластер, имели средние показатели значения SPAD. Показатели устойчивости к желтой ржавчине у этих генотипов были оценены как чувствительные и высокочувствительные в интервале от 30MS до 100S. В шестой кластер были сгруппированы 12 генотипов, у которых показатели значения SPAD наименьшие. Степень заражения этих образцов желтой ржавчиной была разной. В этот кластер во-



Дендрограмма генотипов мягкой пшеницы, построенная на основе индекса евклидова расстояния



шли иммунные, устойчивые и чувствительные генотипы. Это можно объяснить тем, что определение фотосинтетических пигментов методом SPAD у образцов мягкой пшеницы проводили на ранних стадиях поражения желтой ржавчиной, поэтому между содержанием хлорофилла и поражением желтой ржавчиной наблюдалась неопределенная корреляционная зависимость. Согласно индексу евклидова расстояния, наиболее отдаленными генотипами этого кластера оказались генотипы к9530 разновидности *ErythrospERMum* и к7252 разновидности *Milturum*. Показатели кластерного анализа позволяют визуально наблюдать взаимосвязь между образцами.

Заключение. Образец с самым высоким значением SPAD среди изученных нами генотипов – к9530 разновидности *ErythrospERMum*, его показатель составлял 83,5. Этот образец показывал иммунную реакцию с уровнем заражения желтой ржавчиной равной 0. Согласно индексу евклидова расстояния, наиболее отдаленными генотипами оказались генотип к9530 разновидности *ErythrospERMum* и генотип к7252 разновидности *Milturum*. Отметим, что генотип к7252 разновидности *Milturum* показал среднюю устойчивость (10MR) к желтой ржавчине. При гибридизации этих генотипов можно получить форму, которая устойчива к желтой ржавчине и имеет высокое значение SPAD.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаджиева С. В. Изучение генетического разнообразия генотипов дикого граната (*Punica grana-tum* L.) Азербайджана с использованием маркеров ISSR // Вестник КрасГАУ. 2020. № 3. С. 20–28.
2. Quality indicators of various durum wheat (*T. Durum* Desf.) Samples and determination of their tolerance to abiotic stresses (salinity and drought) / R. T. Aliyev et al. // European Journal of Natural History. 2020. No. 4. P. 3–8.
3. Chen X. M. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*) on wheat // Can J PlantPathol. 2005. No. 27. P. 314–337.
4. Devadas R., Lamb D. W., Simpfendorfer S., Backhouse D. Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves // PrecisionAgric. 2009. No. 10. P. 459–470.
5. Eversmeyer M., Kramer C. Survival of *Puccinia recondita* and *P. graminis suredinio* spores as affected by exposure to weather conditions at one meter // Phytopathology. 1994. No. 84(4). P. 332–334.
6. Gooding M. J., Dimmock J.P.R.E., France J., Jones S. A. Green leaf area decline of wheat flag leaves: the influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield // Ann. Appl. Biol. 2000. 136. P. 77–84.
7. Hammer O., Harper D. A., Ryan P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontol. Electron. 2001. Vol. 4. P. 1–9.
8. Hovmoller M. S., Walter S., Justesen A. F. // Escalating threat of wheat rusts. Science. 2010. No. 29(5990). P. 369–369.
9. KuckenberG J., Tartachnyk I., Noga G., Detection and differentiation of nitrogen-deficiency, powdery mildew and leaf rust at wheat leaf and canopy level by laser-induced chlorophyll fluorescence // Biosyst. Eng. 2009. No. 103. P. 121–128.
10. Line R. F. Stripe rust of wheat and barley in North America: A retrospective historical review // Annu Rev Phytopathol. 2002. No. 40. P. 75–118.
11. Genotyping by Sequencing and Rust Resistance of Azerbaijani Durum Wheat Germplasm / M. Abbasov et al. // Journal of Plant Physiology & Pathology. J. PlantPhysiolPathol. 2021. Vol. 9. Is. 2. P. 1–9.
12. Morgounov A., Yessimbekova M., Rsaliev S., Baboev S., Mumindjanov H. High-yielding winter wheat varieties resistant to yellow and leaf rust in Central and Asia. In: Proceeding of the 11th International cereal rusts and powdery mildew conference. 22-27 August, John Innes Centre, Norwich, UK. European and Mediterranean Cereal Rust Foundation, Wageningen, Netherlands, Cereal rusts, and powdery mildews Bull. 2004. P. 52.
13. Peterson R. F., Campbell A. B., Hannah A. E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereal // Can. J. Res. 1948. No. 26. P. 496–500.
14. Robert C., Bancal M. O., Ney B., Lannou C. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status // New Phytol. 2005. No.165. P. 227–241.
15. Roelfs A. P., Singh R. P., Saari E. E. Rust Diseases of Wheat: Concepts and methods of disease management. Mexico, 1992. 81 p.
16. Leaf tip necrosis, molecular markers and Lr46/Yr29 / G. M. Rosewarne et al. // Theor. Appl. Genet. 2006. No. 112. P. 500–508.
17. Singh R. P., Nelson J. C., Sorrells M. E. Mapping Yr28 and other genes for resistance to stripe rust in wheat // CropSci. 2000. No. 40. P. 1148–1155.
18. Disease impact on wheat yield potential and prospects of genetic control / R. P. Singh et al. // Annu Rev Phytopathol. 2016. 54(1). P. 303–322.

19. Teena M., Manickavasagan A. Thermal Infrared Imaging. In: Manickavasagan A., Jayasuriya H. (Eds.), *Imaging with Electromagnetic Spectrum*. Springer, Heidelberg, Berlin, Germany, 2014. P. 147–173.

20. Effectiveness of wheat yellow rust resistance genes in different parts of Iran / M. Torabi et al. // *Cereal Rusts Powdery Mildews Bull.* 1995. No. 23. P. 9–12.

21. High-temperature adult plant (HTAP) stripe rust resistance gene Yr36 from *Triticum turgidum sp. dicocoides* is closely linked to the grain protein content locus *Gpc-B1* / C. Uauy et al. // *Theoretical and Applied Genetics*. 2005. No. 112. P. 97–105.

REFERENCES

1. Hajiyeva S.V. The study of genetic diversity of wild pomegranate (*Punica granatum L.*) genotypes of Azerbaijan using ISSR markers. *Bulletin of KrasGAU*. 2020;(3):20–28 (in Russ.)

2. Quality indicators of various durum wheat (*T. Durum* Desf.) Samples and determination of their tolerance to abiotic stresses (salinity and drought) / R. T. Aliyev et al. *European Journal of Natural History*. 2020;(4):3–8.

3. Chen X. M. Epidemiology and control of stripe rust (*Puccinia striiformis f. sp. tritici*) on wheat. *Can J Plant Pathol.* 2005;(27):314–337.

4. Devadas R., Lamb D.W., Simpfendorfer S., Backhouse D., Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. *Precision Agric.* 2009;(10):459–470.

5. Eversmeyer M., Kramer C. Survival of *Puccinia recondita* and *P. gramini soredinio* spores as affected by exposure to weather conditions at one meter. *Phytopathology*. 1994;84(4):332–334.

6. Gooding M. J., Dimmock J.P.R.E., France J., Jones S. A. Green leaf area decline of wheat flag leaves: the influence of fungicides and relationships with mean grain weight and grain yield. *Ann. Appl. Biol.* 2000;(136):77–84.

7. Hammer O., Harper D. A., Ryan P. D. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol. Electron.* 2001;4:1–9.

8. Hovmoller M. S., Walter S., Justesen A. F. Escalating threat of wheat rusts. *Science*. 2010;29(5990):369–369.

9. Kuckenberk J., Tartachnyk I., Noga G., Detection and differentiation of nitrogen-deficiency, powdery mildew and leaf rust at wheat leaf and canopy level by laser-induced chlorophyll fluorescence. *Biosyst. Eng.* 2009;(103):121–128.

10. Line R. F. Stripe rust of wheat and barley in North America: A retrospective historical review. *Annu Rev Phytopathol.* 2002;(40):75–118.

11. Genotyping by Sequencing and Rust Resistance of Azerbaijani Durum Wheat Germplasm / M. Abbasov et al. *Journal of Plant Physiology & Pathology. J. PlantPhysiolPathol.* 2021; 9. (2):1–9.

12. Morgounov A., Yessimbekova M., Rsaliev S., Baboev S., Mumindjanov H. High-yielding winter wheat varieties resistant to yellow and leaf rust in Central and Asia. In: Proceeding of the 11th International cereal rusts and powdery mildew conference. 22-27 August, John Innes Centre, Norwich, UK. European and Mediterranean Cereal Rust Foundation, Wageningen, Netherlands, Cereal rusts, and powdery mildews Bull. 2004. P. 52.

13. Peterson R.F., Campbell A.B., Hannah A.E. A diagrammatic scale for estimating rust intensity on leaves and stems of cereal. *Can. J. Res.* 1948;(26):496–500.

14. Robert C., Bancal M.O., Ney B., Lannou C. Wheat leaf photosynthesis loss due to leaf rust, with respect to lesion development and leaf nitrogen status. *New Phytol.* 2005;(165):227–241.

15. Roelfs A. P., Singh R. P., Saari E. E. Rust Diseases of Wheat: Concepts and methods of disease management. Mexico; 1992. 81 p.

16. Leaf tip necrosis, molecular markers and Lr46/Yr29 / G. M. Rosewarne et al. // *Theor. Appl. Genet.* 2006;(112):500–508.

17. Singh R. P., Nelson J. C., Sorrells M. E. Mapping Yr28 and other genes for resistance to stripe rust in wheat. *CropSci.* 2000;(40):1148–1155.

18. Disease impact on wheat yield potential and prospects of genetic control / R. P. Singh et al. *Annu Rev Phytopathol.* 2016;54(1):303–322.

19. Teena M., Manickavasagan A. Thermal Infrared Imaging. In: Manickavasagan A., Jayasuriya H. (Eds.), *Imaging with Electromagnetic Spectrum*. Springer, Heidelberg, Berlin, Germany; 2014. P. 147–173.

20. Effectiveness of wheat yellow rust resistance genes in different parts of Iran / M. Torabi et al. *Cereal Rusts Powdery Mildews Bull.* 1995;(23):9–12.

21. High-temperature adult plant (HTAP) stripe rust resistance gene Yr36 from *Triticum turgidum sp. dicocoides* is closely linked to the grain protein content locus *Gpc-B1* / C. Uauy et al. *Theoretical and Applied Genetics*. 2005;(112):97–105.

Статья поступила в редакцию 18.04.2022; одобрена после рецензирования 17.06.2022; принята к публикации 24.06.2022.

The article was submitted 18.04.2022; approved after 17.06.2022; accepted for publication 24.06.2022.

