

МЕЛАНОЗ КАК ФАКТОР НИЗКОГО КАЧЕСТВА ЗЕРНА ПРОСА ПОСЕВНОГО (*PANICUM MILIACEUM* L.) (ОБЗОР)

DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-186-192

УДК 633.171:631.524.86

Поступление/Received: 31.05.2019

Принято/Accepted: 29.11.2019

Т. В. КУЛЕМИНА

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44;
✉ kku@ya.ru

MELANOSIS AS A FACTOR REDUCING GRAIN
QUALITY IN PROSO MILLET (*PANICUM MILIACEUM* L.)
(A REVIEW)

Т. В. КУЛЕМИНА

N.I. Vavilov All-Russian Institute
of Plant Genetic Resources (VIR),
42, 44 Bolshaya Morskaya Street,
St. Petersburg 190000, Russia;
✉ kku@ya.ru

В течение длительного времени исследуются причины заболевания проса меланозом, осуществляется селекция устойчивых сортов к отдельным патогенам, обуславливающим меланоз, но так и не созданы источники высокой устойчивости к этой болезни. Цель данной статьи – обзор наиболее значимых результатов исследований природы меланоза проса, внешне не проявляющегося на растениях и зерне, и определение способов снижения его вредности. Инфекционный характер болезни подтверждается всеми исследователями, однако возбудитель заболевания все еще не установлен. Предполагается, что источником меланоза могут быть как бактерии, так и грибы, а также их комплексное воздействие на растение. Не определены и погодные условия, способствующие распространению инфекции. По одним данным, сухая и теплая погода повышает риск инфицирования и распространения болезни, по другим – более влажная и теплая. Четко не выяснено возможное влияние формы зерна проса на степень проявления болезни, однако установлено, что степень плотности смыкания цветковых пленок и их толщина, а также размер зерна оказывают влияние на механическую защиту семени от инфекции. При плотном смыкании пленок грубопленчатые мелкие зерна максимально защищены от инфицирования, что, возможно, обеспечивает защиту растения от инфекции. Отбор растений с более развитыми, хорошо закрывающими зерно пленками позволит создавать сорта проса, устойчивые к меланозу. Инфекция может переноситься как насекомыми, так и ветром, дождем с посевов любых сельскохозяйственных культур, пораженных микрофлорой, вызывающей данное заболевание. Возбудители болезни специфичны для конкретной зоны возделывания проса, что определяется температурным режимом и косвенно подтверждается противоречивыми данными о влиянии температуры воздуха и количества осадков на развитие меланоза. Длительность вегетационного периода растения, в свою очередь, тоже может сказаться на развитии подпленочного поражения зерна проса. Скороспелые образцы наиболее устойчивы к болезни.

Ключевые слова: инфекция, болезнь, возбудитель, *Panicum miliaceum* L., подпленочное поражение зерна, устойчивость.

Possible causes of melanosis in millet have been studied for a long time, and numerous efforts have been made to breed resistant cultivars, but still there are no sources of high resistance to this disease. The purpose of this article is to provide an overview of the most important results of research into the nature of melanosis in millet, a disease without outward manifestation on plants or seeds, and search for ways to reduce its harmfulness. Although the disease's infectious nature has been confirmed by all researchers, no one has succeeded in identifying the causative agent of melanosis. It is assumed that melanosis may be provoked by both bacteria and fungi as well as through their complex effect on a plant. Weather conditions conducive to a spread of infection have not been identified either. According to some reports, dry and warm weather increases the risk of infection and spreading of the disease; according to others, more humid and warm conditions are to blame. A possible effect of millet grain shape on the level of disease manifestation has not been clearly explained, but there is evidence that the degree of floral scale closeness and thickness as well as the grain size do enhance mechanical protection of seed from infection. When floral scales are tightly closed, coarse-hulled fine grains are as much protected from exposures as possible, which may add to the plant's defense against the infection. Selecting plants with better developed grain-enclosing scales would help to breed proso millet cultivars resistant to melanosis. The infection can be transmitted by insects, wind or rain from any crop fields infested with the microflora that causes the disease. Its causative agents are specific to a definite area of millet cultivation, which is determined by the temperature regime and indirectly confirmed by conflicting data concerning the effect of air temperature and precipitation on the development of melanosis. The duration of the growing season, in its turn, can also have an impact on the development of damage under the husk of millet grain. Early-ripening millet forms are more resistant to the disease.

Key words: infection, disease, pathogen, *Panicum miliaceum* L., blackening of the grain under the husk, resistance.

Просо обыкновенное, или посевное (*Panicum miliaceum* L.), используют в пищевой промышленности, животноводстве, птицеводстве, а также в ряде технических производств. Просо, по сравнению с другими зерновыми культурами, в меньшей степени подвержено различным заболеваниям, но существует проблема подпленочного поражения ядра (зерна) – меланоз, или подпленочный некроз, некротический меланоз (рис. 1 и 2). Меланоз значительно снижает урожайность, сортность зерна, качество и товарный вид крупы, что в свою очередь негативно сказывается на потребительской и пищевой ценности культуры. Это наиболее распространенное инфекционное заболевание проса, вторая по экономической значимости болезнь (Тихонов, 2014) после пыльной головни. Единственной эффективной защитой от болезней является применение комплекса мероприятий, направленных на соблюдение

севооборота и пространственной изоляции между полями проса и других культур, уничтожение сорняков, своевременную уборку урожая, тщательную очистку, просушку и протравливание семян, глубокую заделку пожнивных остатков в почву. Эти мероприятия ведут к дополнительным экономическим затратам, так что оптимальным решением данной проблемы, как и для всех полевых культур, будет ведение селекции проса на устойчивость к отдельным патогенам, обуславливающим заболевание. Поэтому в настоящее время большую актуальность имеет поиск образцов и создание сортов проса с высокой устойчивостью к отдельным патогенам, вызывающих меланоз.

Цель данной статьи – обзор наиболее значимых результатов исследований природы меланоза проса, внешне не проявляющегося на растениях и зерне, и определение методов снижения его вредности.

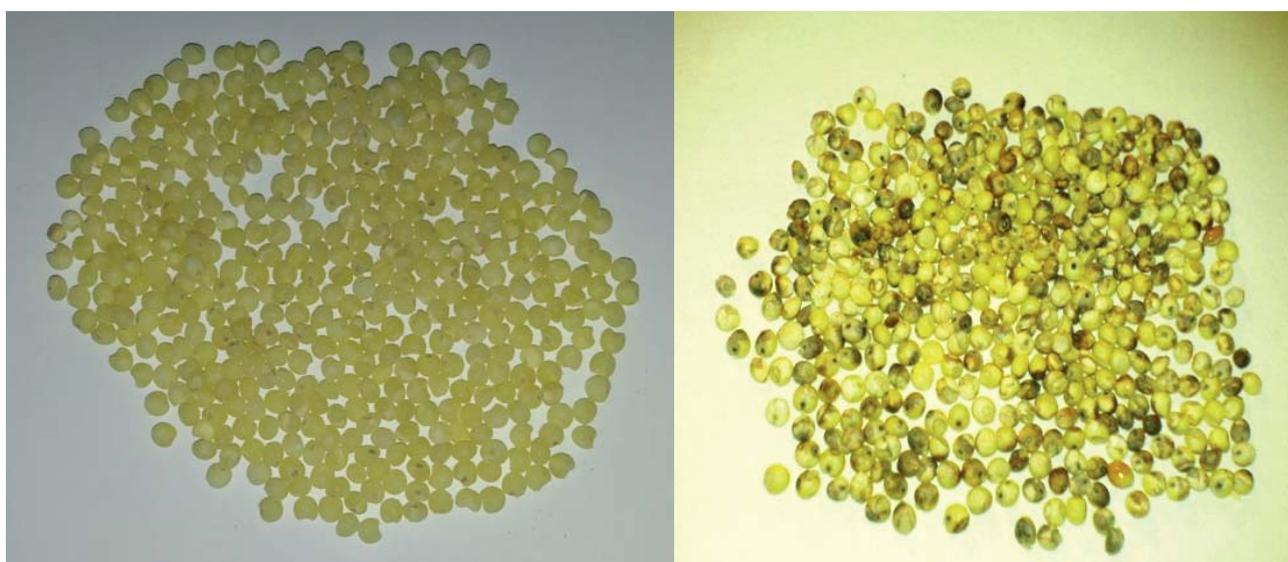


Рис. 1. Здоровое зерно (обрушенное) проса обыкновенного (*Panicum miliaceum* L.) (слева) и пораженное меланозом (справа)

Fig. 1. Healthy (dehulled) grain of proso millet (*Panicum miliaceum* L.) (left), and grain affected by melanosis (right)

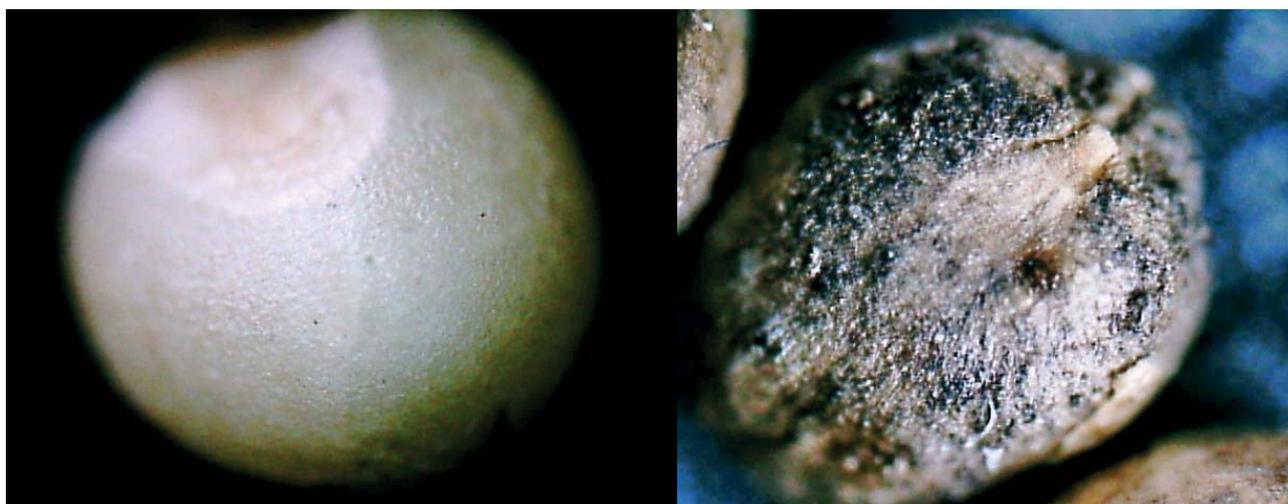


Рис. 2. Поверхность зерновки проса без поражения (слева) и пораженная (справа) меланозом. Увеличено в 600 раз

Fig. 2. The surface of a millet kernel not affected (left) and affected (right) by melanosis. Magnified $\times 600$

На потребительском рынке товаров предпочтительнее высококачественное зерно проса с высоким выходом крупы (пшена) и высокими органолептическими свойствами при минимальном содержании или отсутствии пораженных меланозом зерен (Zolotukhin et al., 2004); по ГОСТ 22983-2016, содержание сильно пораженных ядер не должно превышать 0,5%. По данным «Широкого унифицированного классификатора СЭВ вида *Panicum miliaceum* L.» (Agafonov et al., 1982), различают пять степеней поражения зерна проса посевного: 1) очень слабое – менее 0,5%, 2) слабое – 0,6–1,0%, 3) среднее – 1,1–5,0%, 4) сильное – 5,1–10,0%, 5) очень сильное – более 10%. По данным ряда крупозаводов, пшено первого сорта с высоким выходом крупы можно получать при содержании некондиционных зерен до 1,0%, а третьего сорта – до 1,5%. Каша, сваренная из пшена, содержащего более 1,5% пораженных зерен, горькая на вкус и внешне «грязная». При наличии в пшенице более 2–3% поврежденных меланозом ядер цвет пшенной каши становится сероватым, вкус значительно ухудшается, а мука приобретает темный цвет. Все это значительно снижает потребительское качество зерна проса и негативно сказывается на его закупочной цене (Antimonov, 2004; Gagkaeva et al., 2012; Kotlyar et al., 2013, 2014).

Н. П. Тихонов выделяет степени поражения меланозом поверхности зерна проса: а) слабое повреждение ядер – мелкие пятна, точки, не более 1 мм в диаметре, в различных его частях – в верхней (чаще всего) или нижней (в районе зародыша и/или вокруг «плацентного» пятна); б) среднее повреждение – хорошо видимые пятна, чаще бурой окраски, различных размеров от 1 мм и более, но не превышающие 40% поверхности ядра; в) сильно испорченные ядра – существенные дефекты, от частично бурых до полностью поврежденных зерен (включая сморщенные, «обугленные»). При этом ядра со слабым подпленочным повреждением по прочности приближаются к неповрежденным, и их наличие в реализуемом «пшенице шлифованном» не наносит существенного урона его качеству и товарному виду (Tikhonov, 2014).

При среднем и сильном поражении ядер меланозом на четверть снижается масса зерна, резко снижается качество продукции, всхожесть падает в 2–3 раза (Koyshibaev, 1998); при сильной степени поражения зерно плесневеет и загнивает в почве, а при слабом – всходы появляются, в фазе 2–3 листочков желтеют, засыхают и погибают. Больные семена, оставаясь в почве, являются дальнейшим источником распространения инфекции (Nikitina, Kurtseva, 1984), которая может вызывать корневую гниль и другие заболевания проса (Nikiforova, Kadyrova, 2015).

Любое заболевание растения представляет собой сложный процесс взаимодействия патогена и растения-хозяина. Патологический процесс может развиваться только при наличии следующих условий:

- восприимчивого к определенному патогену растения-хозяина;
- патогенного организма и достаточного количества инфекционного материала;
- факторов, обеспечивающих передачу возбудителей от зараженного организма здоровому;
- соответствующих условий внешней среды.

Просо в основном возделывается и представляет интерес в Китае, РФ и на Украине, поэтому в нашем обзоре представлены литературные данные отечественных ученых, а исследования зарубежных специалистов, в том чи-

сле китайских, по данной проблеме мы, к сожалению, не обнаружили. В отечественной литературе есть информация о различных факторах, вызывающих данное заболевание. По мнению Е. В. Никитиной и А. Ф. Курцевой (Nikitina, Kurtseva, 1984), причиной некротического меланоза является грибок *Helminthosporium panici-miliacei* Y. Nisik. (= *Bipolaris panici-miliacei* (Y. Nisik.) Shoemaker. В условиях высокой влажности на зерне преобладают грибы рода *Fusarium* Link, которые значительно различаются по характеру взаимоотношений с растениями – от слабопатогенных до высоко агрессивных (Bostanova, Spabek, 2013), и грибы рода *Helminthosporium* Link, которые разрушают зародыш и резко снижают всхожесть зерна уже в период его уборки (Gagkaeva et al., 2012). Другие авторы считают, что причиной заболевания являются бактерии из родов *Pseudomonas* Migula и *Xanthomonas* Dowson (Nabiyaremye et al., 2017). Бактерии рода *Pseudomonas* способны вызывать у растений пятнистости, некрозы, опухоли и гнили, которые обусловлены изменением метаболизма растительной клетки под влиянием веществ (ферменты, гормоны, токсины), выделяемых патогенами, а бактерии рода *Xanthomonas*, которые являются строго аэробными грамотрицательными подвижными палочками, характеризуются образованием вязких слизистых колоний на агаризованной среде и продукцией особого желтого пигмента – ксантомонадина, нерастворимого в воде. А. К. Антимонов с соавторами уточняют, что первопричиной меланоза являются бактерии вида *Xanthomonas campestris* pv. *holcicola* Dey. (= *X. holcicola* Elliott), и уже в местах поражения этими бактериями поселяются различные грибы и микроорганизмы, которые вызывают дальнейшее разрушение зерна (Antimonov et al., 2018).

Существует точка зрения, что в качестве основного возбудителя меланоза может преобладать либо бактерия *Pseudomonas holci* Kendrick, либо грибок *Helminthosporium panici-miliacei*, в зависимости от почвенно-климатических зон возделывания проса. Ученые-селекционеры из ВНИИЗБК (Орловская область) считают, что меланоз – комплексное бактериальное и грибное заболевание, где источником инфекции являются бактерии родов *Pseudomonas* и *Xanthomonas*, а также грибы родов *Cladosporium* Link, *Aspergillus* P. Micheli ex Haller и *Alternaria* Nees (относятся к спорообразующим плесневым грибам) (Kotlyar et al., 2013), среди которых преобладают виды *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link и *Alternaria alternata* (Fr.) Keissl. В поле вид *A. alternata* способен проявить более агрессивные свойства и может снизить всхожесть семян проса на 5% (Bostanova, Spabek, 2013). Грибы из рода *Aspergillus* не способны заражать растения в поле, но попадая на зерно в период уборки или хранения, при влажности зерна более 12–14% начинают активно размножаться и проникать в зародыш зерна (Gagkaeva et al., 2012). Подобное развитие характерно для многих возбудителей заболеваний, поэтому для предотвращения роста патогенной микрофлоры на зерне и его порчи при хранении необходимо контролировать критическую влажность зерна, не допуская ее превышения.

Есть данные, что меланоз развивается при поражении любым грибным патогеном (фузариум, альтернария, пенициллиум, фомы и др.) и в любую фазу – от начала цветения до созревания зерна (Shumkova, Sagdieva, 1976).

Следует обратить внимание на требования к температуре воздуха у предполагаемых возбудителей меланоза, они различны. Оптимальная температура для развития бактерий – 28–30°C, минимальная – 4°C, максималь-

ная – 36–37°C; для развития грибов рода *Helminthosporium* – 26°C, для *Aspergillus alternata* – 24–26°C (Bostanova, Spabek, 2013).

Есть данные, что в одной и той же метелке имеются как пораженные меланозом зерна, так и здоровые, что, может быть связано с передачей болезни не от большого зерна здоровому, а каким-то иным путем (Shumkova, Sagdieva, 1976). Этот путь, скорее всего, связан с насекомыми-переносчиками, в основном клопиками и цикадками, которые могут переносить патогенную микрофлору от одного растения к другому. Кроме того, во время вегетации проса возбудители могут распространяться с помощью ветра и с каплями дождя (Tikhonov, 2014).

По данным ряда ученых, инфекция способна проникать через неплотно сомкнутые цветочные пленки, при этом с увеличением крупности зерна проса процент зерен с неплотно сомкнутыми пленками возрастает, что приводит к поражению зерен (Dunin, Kan, 1974; Elagin, 1976; Vedeneeva, 1981). Кроме того, есть данные, что у многих растений при закрывании цветка после цветения тычинки защемляются пленками и остаются снаружи, что создает условия для проникновения бактерий и поражения ядра. Изолирование метелок проса в период цветения специальными пакетами позволило почти полностью предотвратить подпленочное заражение зерна (Elagin, 1976).

А. И. Котляр с соавторами считают, что крупность зерна положительно коррелирует с поражением ядра проса возбудителями меланоза и это, по их мнению, указывает на то, что инфекция может попадать в ядро как через повреждения насекомыми, так и через неплотно сомкнутые цветочные пленки (Kotlyar et al., 2013, 2014).

Есть сведения, что просо с шаровидным зерном поражается меланозом в меньшей степени, чем с вытянутым (Antimonov et al., 2004). По другим сведениям, наиболее устойчивыми оказались образцы проса с удлинено-овальной формой зерна, высокой пленчатостью и плотным смыканием цветковых пленок.

Степень поражения меланозом может зависеть и от толщины пленок зерна. При этом белозерные линии (более тонкопленчатые) поражаются в наибольшей степени. Наиболее устойчивыми по этому показателю оказались линии с красным и кремовым зерном (более грубопленчатые) (Kotlyar et al., 2013). В наших исследованиях в Центрально-Нечерноземном регионе (Орловская область) тонкопленчатые (белозерные) образцы поражаются меланозом сильнее, чем грубопленчатые (с более темной окраской зерна). Например, среднее по трем годам поражение тонкопленчатых образцов составило 30,3 (к-10389); 26,1 (к-10407); 24,1 (к-9699) и 13,3% (к-9626), а грубопленчатых – 1,1 (к-59, к-10389) и 1,9% (к-550) (Kulemina, 2009). К сожалению, высокая устойчивость по данным трех лет у образцов не выявлена. При оценке большого числа образцов коллекции проса ВИР выявили различную степень поражения зерен, причем наиболее устойчивыми оказались образцы с высокой пленчатостью и плотным смыканием цветковых пленок, что, по нашему мнению, обеспечивает защиту растения от инфекции.

В литературе встречаются противоречивые мнения и относительно условий, необходимых для развития болезни.

И. Н. Елагин считает, что проявление заболевания зависит от устойчивости сорта и условий произрастания проса, а также от качества питания растения и применения гербицидов (Elagin, 1979). Многие авторы сходятся

во мнении, что степень поражения проса меланозом зависит от осадков, выпадающих в июле и августе, когда проходят цветение, налив зерна и уборка проса (Vesna, 1969; Dunin, Kan, 1974; Elagin, 1979; Lysov, 1979; Kotlyar et al., 2013). Прохладная погода с обильными осадками в период формирования зерна способствует сильному поражению растения, а сухая и жаркая препятствует развитию болезни (Kotlyar et al., 2014). На это указывает и И. Ю. Никифорова, поясняя, что в «критический» период поражение меланозом проса увеличивается с уменьшением среднесуточной температуры и с увеличением относительной влажности воздуха и числа дней с осадками (Nikiforova, 2013). Это подтверждается также и нашими исследованиями, когда в год с более влажным периодом выметывания и созревания зерна проса поражаются меланозом в большей степени, чем в годы с более сухой погодой в указанный период. Длительное пребывание скошенного проса в валиках, особенно во влажную погоду, способствует усилению развития болезни, так как пораженная бактериями ткань зерна проса является благоприятной средой для развития сапрофитных грибов и других микроорганизмов, которые вызывают дальнейшее разрушение зерна.

М. Н. Шумкова, Л. Г. Сагдиева полагают, что развитию болезни способствуют высокие среднесуточные температуры и низкая относительная влажность воздуха в период плодообразования и налива зерна проса. (Shumkova, 1974; Shumkova, Sagdieva, 1976).

Кроме того, И. Ю. Никифорова указывает, что более длительный период «всходы – выметывание» и «всходы – созревание» увеличивает количество пораженных меланозом зерен, а более короткий, соответственно, уменьшает (Nikiforova, 2013; Nikiforova, Kadyrova, 2015). Возможно, это связано с тем, что возбудители болезни за длительный период развития проса успевают размножиться и нанести более существенный ущерб растению, чем при коротком. Меланоз интенсивнее развивается на поздних посевах проса, чем на ранних. Иного мнения придерживаются С. И. Константинов и Л. В. Григорашенко, поясняя, что на степень поражения меланозом не влияет продолжительность межфазного периода «всходы – созревание» (Konstantinov, Grigorashchenko, 1987).

Другие исследователи, не отрицая связи проявления подпленочного поражения зерна с погодными условиями, утверждают, что погодные условия и сроки уборки не являются определяющим фактором: часто заражение зерна происходит задолго до уборки урожая. Поэтому поражение зерна бывает одинаковым как в засушливые годы, так и в условиях обильного выпадения дождей во время уборки (Antimonov, 1979; Khodyrev, 1979; Vedeneeva, 1981 Nikitina, Kurtseva, 1984; и др.).

Селекционеры из НИИСХ Юго-Востока (г. Саратов) указывают, что степень развития заболевания в значительной степени зависит от погодных условий (Zolotukhin et al., 2004). Несмотря на зависимость от погодных условий, меланоз на зерне проявляется ежегодно, однако распространенность и степень его развития часто зависят от зоны возделывания культуры. Более значительное проявление болезни встречается в Центрально-Черноземной и Нечерноземной зонах РФ, менее – в Алтайском, Поволжском регионах РФ, в Западной Сибири. Поражение меланозом зависит и от принадлежности образца к определенной эколого-географической группе проса. Например, образцы, принадлежащие к монголо-бурятской и к дальневосточной группам, поражаются болезнью в меньшей степени, чем образцы степной укра-

инской или степной казахстанской группы (Nikitina, Kurtseva, 1984). Возможно, на это повлияли «входные ворота» неплотно сомкнутых цветочных пленок, способствующих более легкому проникновению инфекции в зерно, у последних двух групп, которые характеризуются более крупным размером зерна, чем первые две.

Исследования, проводимые отечественными и зарубежными учеными, неоспоримо доказывают, что в наибольшей степени самым действенным и экономически выгодным методом защиты растения от инфекционных заболеваний является создание и возделывание сортов сельскохозяйственных культур, высокоустойчивых (Shestakova, 1970) к определенным патогенам, вызывающим заболевание.

Поскольку точный источник поражения семян проса меланозом не установлен, создание инфекционных и провокационных фонов для селекции на устойчивость к возбудителям подпленочного поражения зерна невозможно. Селекционеры включают в гибридизацию максимально устойчивые к предполагаемым возбудителям меланоза образцы и отборы из гибридных популяций наиболее устойчивых генотипов, осуществляют их многократную оценку в ряде поколений на фоне проявления инфекции в естественных неконтролируемых условиях. При этом создание сортов, устойчивых к возбудителям заболевания, путем использования в гибридизации наименее восприимчивых («устойчивых», «наиболее устойчивых») к болезни сортов не является «гарантией» успешной селекции проса на меланозоустойчивость, прежде всего по причине непредсказуемого «поведения» скрещиваемых сортов, что указывает на полигенную (и потому «распыляющуюся» при рекомбинации) «конструкцию» признака (Tikhonov, 2014).

Заключение

Степень развития меланоза зависит от толщины цветочных пленок: тонкопленчатые (белозерные) образцы сильнее поражаются возбудителями меланоза, чем грубопленчатые (с более темной окраской зерна), но эта связь не абсолютна. Плотное смыкание цветочных пленок, по нашему мнению, обеспечивает защиту растения от инфекции. Отбор растений с более развитыми, хорошо закрывающими зерно пленками позволит создавать сорта проса, устойчивые к патогенам, вызывающим подпленочное поражение зерна. Инфекция может переноситься как насекомыми, так и ветром и дождем с посевов любых сельскохозяйственных культур, пораженных микрофлорой, вызывающей меланоз зерна проса.

Возбудители болезни, по нашему мнению, специфичны для конкретной зоны возделывания проса, что косвенно подтверждается противоречивыми данными по влиянию температуры воздуха и количества выпадающих осадков на развитие меланоза. В Центрально-Черноземном регионе (Орловская область) в год с более влажным периодом выметывания и созревания, зерна проса поражались меланозом в большей степени, чем в годы с более сухой погодой в указанный период. В Средневолжском регионе (Республика Татарстан) развитию болезни способствовали высокие среднесуточные температуры и низкая относительная влажность воздуха.

Длительность вегетационного периода растения, в свою очередь, тоже может сказаться на величине развития подпленочного поражения зерна. Скороспелые образцы проса наиболее устойчивы к патогенам, обуславливающим развитие болезни.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

References/Литература

- Agafonov N.P., Kurtseva A.F., Korneychuk V.A., Banjai L. Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for *Panicum miliaceum* L. (Shirokiy unifikirovanny klassifikator SEV i mezhdunarodny klassifikator SEV vida *Panicum miliaceum* L.). Leningrad: VIR; 1982. [in Russian] (Агафонов Н.П., Курцева А.Ф., Корнейчук В.А., Баняи Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ вида *Panicum miliaceum* L. Ленинград: ВИР; 1982).
- Antimonov A.K., Antimonova O.N., Syrkina L.F., Kosykh L.A. Introduction new gene sources broomcorn millet under the conditions in the Middle Volga region. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2018;(11-1):154-157. [in Russian] (Антимонов А.К., Антимонова О.Н., Сыркина Л.Ф., Косых Л.Н. Интродуцирование новых генисточников проса посевного в условиях среднего Поволжья. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2018;(11-1):154-157). DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10174
- Antimonov K.A. Researching under-coat lesions of millet kernels (Issledovaniya podplenochnogo porazheniya yadra prosa). In: *Millet breeding for grain quality and disease resistance (Seleksiya prosa na kachestvo zerna i ustoychivost k boleznyam)*. Moscow; 1979. p.110-114. [in Russian] (Антимонов К.А. Исследования подпленочного поражения ядра проса. В кн.: *Селекция проса на качество зерна и устойчивость к болезням*. Москва; 1979. С.110-114).
- Antimonov K.A., Antimonov A.K., Mikhaylov A.A. Improving the quality of millet by creating disease-resistant millet varieties (Uluchsheniye kachestva pshena sozdaniyem ustoychivyykh k boleznyam sortov prosa). *Food Industry*. 2004;(10):76-77. [in Russian] (Антимонов К.А., Антимонов А.К., Михайлов А.А. Улучшение качества пшеницы созданием устойчивых к болезням сортов проса. *Пищевая промышленность*. 2004;(10):76-77).
- Bostanova A., Spabek G.A. Bioecological features of field mushrooms (Bioekologicheskiye osobennosti polevykh gribov). *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Biological and medical*. 2013;(4):175-183. [in Russian] (Бостанова А., Спабек Г.А. Биоэкологические особенности полевых грибов. *Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия биологическая и медицинская*. 2013;(4):175-183).
- Dunin M.S., Kan G.V. Etiology of necrotic melanosis of millet seeds (Etiologiya nekroticheskogo melanoza semyan prosa). *Selskokhozyajstvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 1974;9(3):411-416. [in Russian] (Дунин М.С., Кан Г.В. Этиология некротического меланоза семян проса. *Сельскохозяйственная биология*. 1974;9(3):411-416).
- Dunin M.S., Kan G.V. The role of environmental and agricultural factors in the damage of millet seeds with melanosis (Rol

- ekologicheskikh i agrotekhnicheskikh faktorov v porazhenii semyan prosa melanozom). *Vestnik selskokhozyaystvennoy nauki = Bulletin of Agricultural Science*. 1975;(1):25-30. [in Russian] (Дунин М.С., Кан Г.В. Роль экологических и агротехнических факторов в поражении семян проса меланозом. *Вестник сельскохозяйственной науки*. 1975;(1):25-30).
- Elagin I.N. On improving the effectiveness of breeding work on the development of millet cultivars immune to smut and grain damage under the seed coat (O povyshenii effektivnosti selektsionnykh rabot po sozdaniyu immunnykh k golovne i podplenochnomu porazheniyu zerna sortov prosa). In: *Millet breeding for grain quality and disease resistance (Selektsiya prosa na kachestvo zerna i ustoychivost k bolezniam)*. Moscow; 1979. p.3-10. [in Russian] (Елагин И.Н. О повышении эффективности селекционных работ по созданию иммунных к головне и подпленочному поражению зерна сортов проса. В кн.: *Селекция проса на качество зерна и устойчивость к болезням*. Москва; 1979. С.3-10).
- Gagkaeva T.Yu., Dmitriev A.P., Pavlyushin V.A. Grain microbiota as an indicator of its quality and safety (Mikrobiota zerna – pokazatel yego kachestva i bezopasnosti). *Zashchita i karantin rasteniy = Plant Protection and Quarantine*. 2012;(9):14-18. [in Russian] (Гаргаева Т.Ю., Дмитриев А.П., Павлюшин В.А. Микробиота зерна – показатель его качества и безопасности. *Защита и карантин растений*. 2012;(9):14-18).
- Habiyaremye C., Matanguihan J.B., D'Alpoim Guedes J., Ganjyal G.M., Whiteman M.R., Kidwell K.K., Murphy K.M. Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) and Its Potential for Cultivation in the Pacific Northwest, U.S.: A Review. *Front. Plant Sci*. 2017;7:1961. DOI: 10.3389/fpls.2016.01961
- Khodyrev N.T. The resistance of millet cultivars of the undercoat kernel damage (Ustoychivost sortov prosa k podplenochnomu porazheniyu yadra). In: *Millet breeding for grain quality and disease resistance (Selektsiya prosa na kachestvo zerna i ustoychivost k bolezniam)*. Moscow; 1979. p.124-127. [in Russian] (Ходырев Н.Т. Устойчивость сортов проса к подпленочному поражению ядра. В кн.: *Селекция проса на качество зерна и устойчивость к болезням*. Москва; 1979. С.124-127).
- Konstantinov S.I., Grigorashchenko L.V. The variability of valuable traits in millet and their correlation (Izmenchivost tsennykh priznakov u prosa i ikh korrelyatsionnaya zavisimost). *Selektsiya i semenovodstvo = Breeding and Seed Production*. 1987;(4):22-24. [in Russian] (Константинов С.И., Григорашченко Л.В. Изменчивость ценных признаков у проса и их корреляционная зависимость. *Селекция и семеноводство*. 1987;(4):22-24).
- Kotlyar A.I., Sidorenko V.S., Bobkov C.V., Varlakhova L.N. Effect of coloration and size of grain on quality performance of common millet. *Legumes and Groat Crops*. 2013;3(7):26-34. [in Russian] (Котляр А.И., Сидоренко В.С., Бобков С.В., Варлахова Л.Н. Влияние окраски и крупности зерна на показатель качества у проса посевного. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2013;3(7):26-34).
- Kotlyar A.I., Sidorenko V.S., Varlakhova L.N. Change of indicators of quality of grain at varieties of common millet cultivated in the Russian Federation in the course of selection. *Legumes and Groat Crops*. 2014;2(10):51-55. [in Russian] (Котляр А.И., Сидоренко В.С., Варлахова Л.Н. Изменение показателей качества зерна у возделываемых в РФ сортов проса посевного в процессе селекции. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014;2(10):51-55).
- Koyshibaev M. Diseases of millet (Bolezni prosa). Almaty: RNI Bastau; 1998. [in Russian] (Койшибаев М. Болезни проса. Алматы: РНИ Бастау; 1998).
- Kulemina T.V. Sources and donors for millet breeding for resistance to smut and melanosis (Istochniki i donory dlya selektsii prosa na ustoychivost k golovne i melanozu). *Vestnik zashchity rasteniy = Plant Protection News*. 2009;(1):58-59. [in Russian] (Кулемина Т.В. Источники и доноры для селекции проса на устойчивость к головне и меланозу. *Вестник защиты растений*. 2009;(1):58-59).
- Lysov V.N. The world collection is the source of breeding disease-resistant millet varieties (Mirovaya kolleksiya – istochnik vyvedeniya ustoychivyykh k bolezniam sortov prosa). In: *Millet breeding for grain quality and disease resistance (Selektsiya prosa na kachestvo zerna i ustoychivost k bolezniam)*. Moscow; 1979. p.11-20. [in Russian] (Лысов В.Н. Мировая коллекция – источник выведения устойчивых к болезням сортов проса. В кн.: *Селекция проса на качество и устойчивость к болезням*. Москва; 1979. С.11-20).
- Nikiforova I.Yu. Stability of early and mid-maturing millet samples to melanosis in Predkamskaya area of Tatarstan. *Legumes and Groat Crops*. 2013;1(5):37-43. [in Russian] (Никифорова И.Ю. Устойчивость раннеспелых и среднеранних образцов проса к меланозу в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2013;1(5):37-43).
- Nikiforova I.Yu., Kadyrova F.Z. Selection of sown millet to immunity of melanosis at the Kama zone of the Republic of Tatarstan. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2015;2(36):136-140. [in Russian] (Никифорова И.Ю., Кадырова Ф.З. Селекция проса посевного на устойчивость к меланозу в условиях Предкамской зоны республики Татарстан. *Вестник Казанского ГАУ*. 2015;2(36):136-140). DOI: 10.12737/12518
- Nikitina E.V., Kurtseva A.F. Assessment of millet for resistance to helminthosporiosis (guidelines). (Otsenka prosa na ustoychivost k gelmintosporiozu [metodicheskiye ukazaniya]). Leningrad; 1984. [in Russian] (Никитина Е.В., Курцева А.Ф. Оценка проса на устойчивость к гельминтоспориозу (методические указания). Ленинград; 1984).
- Shestakova A.P. Phytopathological work in the breeding of spring wheat for disease resistance (Fitopatologicheskaya rabota pri selektsii yarovoy pshenitsy na ustoychivost k bolezniam). *Selektsiya polevykh kultur na Yugo-Vostoke = Breeding of Field Crops in the South-East. Saratov*; 1970;(27):127. [in Russian] (Шестакова А.П. Фитопатологическая работа при селекции яровой пшеницы на устойчивость к болезням. *Селекция полевых культур на Юго-Востоке*. Саратов; 1970;(27):127).
- Shumkova M.N. Ways to create high-yielding millet varieties with grain of high technological qualities (Puti sozdaniya vysokoproduktivnykh sortov prosa s zernom vysokikh tekhnologicheskikh kachestv). *Trudy Tatar. NIISKh = Reports of Tatar Research Institute of Agriculture*. 1974;(4):339-346. [in Russian] (Шумкова М.Н. Пути создания высокопродуктивных сортов проса с зерном высоких технологических качеств. *Труды Татар. НИИСКХ*. 1974;(4):339-346).
- Shumkova M.N., Sagdieva L.G. Breeding of highly productive early-ripening millet varieties in the Tatar ASSR (Selektsiya vysokoproduktivnykh skorospelnykh sortov prosa v Tatarskoy ASSR). In: *Millet breeding and seed production*. Moscow; 1976. p.73-82. [in

- Russian] (Шумкова М.Н., Сагдиева Л.Г. Селекция высокопродуктивных скороспелых сортов проса в Татарской АССР. В кн.: *Селекция и семеноводство проса*. Москва; 1976. С.73-82).
- Smirnova T.A., Kostrova E.I. Microbiology of grain and products of its processing (Mikrobiologiya zerna i produktov ego pererabotki). Moscow: VO Agropromizdat; 1989. [in Russian] (Смирнова Т.А., Кострова Е.И. Микробиология зерна и продуктов его переработки. Москва: ВО Агропромиздат; 1989).
- Tikhonov N.P. The peculiarities and results of millet breeding for resistance to melanosis of grain. *Legumes and Groat Crops*. 2014;2(10);60-63. [in Russian] (Тихонов Н.П. Особенности и результаты селекции проса посевного на устойчивость к меланозу зерна. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2014;2(10):60-63).
- Vedeneeva M.L. Resistance of millet to melanosis (Ustoychivost prosa k melanozu). In: *Breeding, seed production and technology of cultivation of millet in the Southeast (Seleksiya, semenovodstvo i tekhnologiya vozdel'nyaniya prosa na Yugo-Vostoke)*. Saratov; 1981. p.57-62. [in Russian] (Веденева М.Л. Устойчивость проса к меланозу. В кн.: *Селекция, семеноводство и технология возделывания проса на Юго-Востоке*. Саратов; 1981. С.57-62).
- Vesna B.A. Formation of technological properties of millet grain and its consumer advantages in millet varieties in the process of maturation (Formirovaniye tekhnologicheskikh svoystv zerna i potrebitelskikh dostoinstv pshena u sortov prosa v protsesse sozrevaniya). In: *Ways to increase the yield of groat crops (Puti povysheniya urozhaynosti krupyanykh kultur)*. Kiev; 1969. p.180-183. [in Russian] (Весна Б.А. Формирование технологических свойств зерна и потребительских достоинств пшеницы у сортов проса в процессе созревания. В кн.: *Пути повышения урожайности крупяных культур*. Киев; 1969. С.180-183).
- Zolotukhin E.I., Tikhonov N.P., Lizneva L.N., Tugusheva H.I., Cherkashina V.K. Millet breeding in the Southeast (Seleksiya prosa na Yugo-Vostoke). In: Zotikov V.I. (ed.). *Scientific support of grain legume and groat crop production (Nauchnoye obespecheniye proizvodstva zernobobovykh i krupyanykh kultur)*. Orel; 2004. p.429-459. [in Russian] (Золотухин Е.И., Тихонов Н.П., Лизнева Л.Н., Тугушева Х.И., Черкашина В.К. Селекция проса на Юго-Востоке. В кн.: *Научное обеспечение производства зернобобовых и крупяных культур* / под ред. В.И. Зотикова. Орел; 2004. С.429-459).

Прозрачность финансовой деятельности/The transparency of financial activities

Автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The author declares the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования/How to cite this article

Кулемина Т.В. Меланоз как фактор низкого качества зерна проса посевного (*Panicum miliaceum* L.) (обзор). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2019;180(4):186-192. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-186-192

Kulemina T.V. Melanosis as a factor reducing grain quality in proso millet (*Panicum miliaceum* L.) (a review). Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2019;180(4):186-192. DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-186-192

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы/The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация/Additional information

Полные данные этой статьи доступны/Extended data is available for this paper at <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2019-4-186-192>

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы/The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Автор одобрил рукопись/Author approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует/No conflict of interest