

Кормовые культуры, кормопроизводство

УДК 633.367:632.4(470.333)

doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1257rus

РАЗВИТИЕ БЕЛОЙ ГНИЛИ НА ЛЮПИНЕ УЗКОЛИСТНОМ (*Lupinus angustifolius* L.) И БЕЛОМ (*Lupinus albus* L.) В ОДНОВИДОВОМ И СМЕШАННОМ ПОСЕВАХ В УСЛОВИЯХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ*

Л.И. ПИМОХОВА, Г.Л. ЯГОВЕНКО, Ж.В. ЦАРАПНЕВА, Н.В. МИСНИКОВА ✉

Белая гниль, вызываемая сумчатым факультативным грибом *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Vary, — широко распространенное заболевание на многих культурных и дикорастущих растениях. Массовое развитие белой гнили в посевах люпина узколистного и белого на территории Нечерноземной зоны России началось с 2008 года. В представленной работе впервые выявлена зависимость между погодными условиями Нечерноземной зоны и поражением белой гнилью люпина узколистного и белого в одновидовом и смешанном посевах. Установлено, что при высокой влажности воздуха распространение и развитие гриба *Sclerotinia sclerotiorum* на люпине происходит не только аскоспорами, но и частичками грибицы, выявлены различия видов люпина по восприимчивости к патогену. Нашей целью была оценка развития и вредоносности белой гнили на посевах белого и узколистного люпина в зависимости от погодных условий вегетационного периода и вида посева в условиях Брянской области. Исследования проводили в 2008–2012, 2014 и 2016 годах в северо-восточной части Брянской области (опытное поле Всероссийского НИИ люпина). Люпин узколистный сорта Белозерный 110 и белый сорта Дега выращивали в одновидовых посевах и в смеси с яровой пшеницей сорта Ирень. В 2009 и 2011 годах части растений люпина заражали мицелием возбудителя белой гнили методом влажной камеры. Поражение растений наблюдали на протяжении вегетационного периода. Урожай семян с каждой деланки определяли при сплошном обмолоте посевов комбайном Sampo-500 («Sampo Rosenlew», Финляндия). Интенсивное развитие патогена на изученных видах люпина в одновидовом и смешанном посевах происходило в июне-августе, когда наступала дождливая и теплая погода, а влажность воздуха составляла 66,2–80,3 %. В условиях дождливой, теплой и ветреной погоды возбудитель белой гнили распространялся в посеве между растениями люпина как аскоспорами, так и частичками грибицы. Первые очаги болезни были выявлены на стеблях растений на пониженных участках поля и в загущенных посевах. Депрессивное развитие болезни происходило при влажности воздуха от 54,1 до 60,3 %. Наибольшее поражение отмечалось на люпине белом, что было связано с морфологическими особенностями растений этого вида. При благоприятных для развития болезни условиях поражение бобов люпина белого и узколистного в одновидовом посеве составляло соответственно 15,3–34,8 и 8,4–34,7 %, потери урожая семян — 14,3–39,2 и 3,0–34,7 %. В засушливых условиях 2010 года поражение растений люпина белого в смешанном посеве составило 0,3 %, поражение люпина узколистного в таком же посеве не наблюдали. В одновидовом посеве поражение люпина узколистного и белого составляло соответственно 0,1 и 1,3 %. Наибольший вред посевам люпина белая гниль наносила при сочетании достаточного или избыточного увлажнения с оптимальными температурами во второй половине вегетации. В этот период формировались бобы на главном и боковых побегах. При этом растения были максимально облиственны, что создавало благоприятные условия для сохранения влаги и активного развития патогена внутри посева. В смешанном посеве со злаковой культурой поражение бобов люпина оказалось значительно меньше: у люпина белого в 1,4–1,6, а у узколистного в 1,3–2,3 раза. То есть в смешанном посеве люпина со злаковой культурой создаются условия, которые менее благоприятны для развития и распространения патогена, что снижает поражение растений и бобов люпина. Получены высокие достоверные коэффициенты корреляции между влажностью воздуха и поражением бобов люпина узколистного в июне ($r = 0,95$, $p = 0,001$) и люпина белого в июне и июле ($r = 0,90$, $p = 0,006$; $r = 0,81$, $p = 0,026$), а также высокие отрицательные достоверные коэффициенты корреляции между урожайностью и поражением бобов в одновидовом и смешанном посевах люпина узколистного ($r = -0,92$, $p = 0,003$; $r = -1,00$, $p = 0,002$) и люпина белого ($r = -0,97$, $p = 0,000$; $r = -0,88$, $p = 0,122$).

Ключевые слова: *Sclerotinia sclerotiorum*, вид посева, влажность воздуха, вредоносность, *Lupinus angustifolius* L., люпин узколистный, *Lupinus albus* L., люпин белый.

Люпин — ценная зернобобовая культура, которая обладает высоким

* Финансовая поддержка Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках темы «Изучить видовой и популяционный состав патогенной микобиоты посевов основных кормовых культур и на этой основе усовершенствовать методику создания полевых инфекционных фондов. Выявить на полевых инфекционных фонах новые сортообразцы — источники повышенной устойчивости к болезням» Программы фундаментальных научных исследований Российской академии наук (AAAA-A18-118072590033-1).

содержанием белка в зерне и зеленой массе и благотворно влияет на плодородие почвы. В настоящее время в Российской Федерации широко возделываются два вида люпина — белый (*Lupinus albus* L.) и узколистный (*Lupinus angustifolius* L.). Современные сорта этих видов способны обеспечить в производственных условиях урожайность 3–5 т/га зерна и до 300–500 т/га зеленой массы. При этом содержание белка в зерне составляет 35–38 %, превышая аналогичный показатель у гороха и вики более чем на 10 % (1–3). Белок люпина служит источником сырого протеина в комбикормах, что особенно важно при дефиците качественных животных кормов и дорогого импортируемого соевого шрота (4, 5).

Несмотря на ценные свойства, люпин используется в сельскохозяйственном производстве недостаточно. Фитосанитарная обстановка в его посевах постоянно меняется, что обусловлено многими факторами. Один из них — изменение климатических условий в районах возделывания люпина. По имеющимся прогнозам, к концу XXI века температура Земли может повыситься на 1,8–4,6 °С (6). В России только с 1990 по 2000 год рост температуры воздуха составил 0,4 °С. По данным Росгидрометеоцентра, наиболее активно потепление происходит в северных районах страны, а средняя температура зимой на всей территории России может увеличиться на 2–5 °С. Повышение летних температур будет менее выраженным и составит 1–3 °С. В ближайшие 20–30 лет теплообеспеченность центральных и северных агроландшафтов Центрального Федерального округа может достичь современных показателей юга России или превысить их (7). На территории Брянской области за период с 1976 по 2016 год среднегодовая температура воздуха увеличилась на 2,1 °С с колебаниями от 3,4 °С (1987 год) до 7,4 °С (2016 год) при среднемноголетнем значении 6,2 °С, причем, начиная с 1996 года, отмечался ее устойчивый рост (8).

Изменение климата влияет на все функции живых организмов, — выживание, скорость размножения, распространение в пространстве и т.д. (9–11). Повышение температуры воздуха в России прежде всего проявляется в потеплении в осенне-зимний (октябрь–декабрь) и зимне-весенний (январь–май) периоды. В последние годы это приводит к повышению интенсивности развития эндогенных болезней, инфекционное начало которых сохраняется в почве, на растительных остатках и зимующих растениях (12–14). Рост температуры почвы в весенне-летний период стимулирует активность почвенных грибов из родов *Pythium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotinia*, уменьшает латентный период их развития и увеличивает агрессивность патогенов (15–17). По мере повышения температуры количество возбудителей болезней растений, движущихся с юга на север, увеличивается, что приводит к расширению ареала теплолюбивых видов грибов (11).

Изменение климата в настоящее время становится серьезной проблемой для всех секторов сельского хозяйства. Доказано его влияние на систему хозяин—патоген. Отклонения климатических параметров от многолетних значений в течение последних десятилетий приводят к эпидемиям болезней растений во всем мире. В условиях меняющегося климата необходимо пересмотреть стратегию борьбы с болезнями растений (18–20).

Белая гниль — широко распространенное заболевание многих культурных и дикорастущих растений. Возбудителем служит сумчатый факультативный гриб *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Vary (класс *Ascomycetes*, порядок *Helotiales*, семейство *Sclerotiniaceae*). Белая гниль поражает сельскохозяйственные культуры в Южной и Северной Америке, Европе, Китае, Австралии, Новой Зеландии. Особенно много случаев ее проявления зафик-

сировано в странах, где севообороты насыщены соей (США) (21-23). Гниль, вызываемая *Sclerotinia sclerotiorum*, — экономически значимое заболевание сои (*Glycine max*) в северо-центральной части США и других регионах мира, для которых характерен умеренный климат. Возникновение и тяжесть стеблевой гнили, вызванной *S. sclerotiorum* в полевых условиях, в значительной степени зависят от факторов окружающей среды (24, 25).

Исследователи из Франции, Германии и Бельгии сообщают, что *S. sclerotiorum* служит возбудителем стеблевой и плодовой гнили и наносит существенный экономический вред посевам люпина узколистного и белого. Большинство проростков, появляющихся из пораженных семян, погибают еще при всходах. Инфицирование растений через аскоспоры происходит на междоузлиях, в пазухах листьев или цветах, для этого необходимы капли жидкости или высокая влажность воздуха (26-28).

В условиях Беларуси и Украины это заболевание выявлено в посевах люпина желтого (29, 30). В России в основных районах люпиносеяния, прежде всего в центральных районах Нечерноземной зоны, к экономически значимым болезням люпина до недавнего времени относились фузариоз, антракноз, цератофороз, серая гниль, фомоз, бактериоз и вирусное израстание (31). Белая гниль на люпине не встречалась или встречалась очень редко и не причиняла посевам люпина ощутимого вреда.

Массовое развитие белой гнили на посевах люпина узколистного и белого в условиях Нечерноземной зоны России началось с 2008 года. Потери урожая семян возделываемых видов люпина были значительными. В научной литературе мало работ по изучению *S. sclerotiorum* на люпине узколистном и белом в одновидовом посеве и отсутствуют работы по ее исследованию в смешанном посеве со злаковой культурой. Для дальнейшего развития люпиносеяния в России необходимы знания о вредоносности болезни на люпине узколистном и белом в разные фазы развития культуры и о том, как влияют метеорологические условия на *S. sclerotiorum* в период вегетации культуры.

В представленной работе впервые выявлена зависимость между погодными условиями Нечерноземной зоны и поражением белой гнилью люпина узколистного и белого в одновидовом и смешанном посевах. Установлено, что при высокой влажности воздуха распространение и развитие гриба *Sclerotinia sclerotiorum* на люпине происходит не только аскоспорами, но и частичками грибницы, выявлены различия видов люпина по восприимчивости к патогену.

Нашей целью была оценка развития и вредоносности белой гнили на посевах белого и узколистного люпина в зависимости от погодных условий вегетационного периода и вида посева в условиях Брянской области.

Методика. Исследования проводили в 2008-2012, 2014 и 2016 годах в северо-восточной части Брянской области (опытное поле Всероссийского НИИ люпина). Люпин узколистный сорта Белозерный 110 и белый сорта Дега выращивали в одновидовых и смешанных с яровой пшеницей сорта Ирень посевах. Площадь опытной делянки 34 м², повторность 4-кратная. Посев проводили сеялкой СН-16ПМ (МЗОК ВИМ, Россия) рядовым способом. Данные по климатическим показателям были предоставлены метеостанцией, находящейся на территории института.

Заражение частей растений люпина (стебли, бобы) мицелием белой гнили проводили в 2009 и 2011 годах методом влажной камеры (32). В период конец цветения—начало образования бобов помещали фрагмент мицелия на здоровую часть растения. Поражение растений люпина белой

гнилью оценивали на протяжении вегетационного периода (фазы стеблевания, бутонизации, цветения и бобообразования). Выборка составляла 5 растений с делянки в 12-кратной повторности. Урожай семян с каждой из 12 делянок определяли посредством сплошного обмолота посевов комбайном Sampo-500 («Sampo Rosenlew», Финляндия).

Статистическую обработку результатов осуществляли методом дисперсионного анализа при 95 % доверительном интервале с определением наименьшей существенной разницы между вариантами по F-критерию Фишера (33). Определяли средние значения (M) и стандартные отклонения средних ($\pm SD$). Для выявления зависимости между влажностью воздуха, поражением белой гнилью и урожайностью люпина использовали метод корреляционного анализа STATISTICA 7.0 («StatSoft, Inc.», США). В таблицах представлены НСР по урожайности, коэффициенты корреляции (r) и уровень значимости (p).

Результаты. Массовое поражение бобов люпина белой гнилью, которое привело к серьезным потерям урожая семян и снижению их посевных качеств, впервые выявили в регионе в 2008 году при обследовании посевов культуры. Для выяснения причины возникновения и интенсивного развития заболевания в посевах люпина были проанализированы метеорологические показатели за июнь-август. В целом погодные условия в этот период вегетации были теплыми и влажными. Среднесуточная температура воздуха превысила среднеголетние значения на $+0,9$ °С, количество осадков — на 11 мм. Наиболее теплые и влажные условия сложились в июле. Количество выпавших осадков составляло 88,9 мм, что оказалось больше среднеголетних значений на 6,9 мм. Среднесуточная температура ($19,3$ °С) превысила среднеголетний показатель на $1,1$ °С. Среднемесячная влажность воздуха также была наибольшей — 78 %. В июне и августе среднемесячная влажность воздуха также была высокой и составила соответственно 76,3 и 73,8 % (табл. 1).



Рис. 1. Белая гниль (возбудитель *Sclerotinia sclerotiorum*) на стебле люпина белого (*Lupinus albus* L.) сорта Дега в одновидовом посеве: а — образование белого ватообразного мицелия, б — образование черных матовых склероциев (опытное поле Всероссийского НИИ люпина, Брянский р-н, Брянская обл., 2012 год).

Первые признаки поражения растений люпина белой гнилью были обнаружены в одновидовом посеве в конце июня. Их отмечали на прикорневой поверхности и выше по стеблю (белый ватообразный налет из мицелия гриба и черных склероциев разнообразной формы). Далее инфицировались стебли соседних растений. Пораженная ткань обесцвечивалась, размягчалась, приобретала буровато-зеленую окраску, а затем образовывалось мокнущее загнивающее пятно,

охватывающее впоследствии весь стебель и распространяющееся вверх и вниз от места поражения. На поверхности и внутри пораженного стебля развивалась ватообразная плотная грибница (рис. 1, а). Позже на ней образовывались склероции неправильной формы размером 0,5–2,0 см, которые снаружи были матово-черными, а внутри белыми (см. рис. 1, б). Стебли,

черешки листьев становились непрочными и со временем надламывались, а все растение отмирало и усыхало.

1. Поражение белой гнилью (возбудитель *Sclerotinia sclerotiorum*) и урожай семян люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) сорта Белозерный 110 и белого (*Lupinus albus* L.) сорта Дега в одновидовом и смешанном посевах в фазу блестящего боба в зависимости от влажности воздуха ($M \pm SD$, опытное поле Всероссийского НИИ люпина, Брянский р-н, Брянская обл.)

Среднемесячная влажность воздуха, %			Люпин узколистный				Люпин белый			
			поражение, %		урожайность семян, ц/га		поражение, %		урожайность семян, ц/га	
июнь	июль	август	1	2	1	2	1	2	1	2
					2008 год					
76,3	78,0	73,8	12,3	5,4	12,8±4,80	8,7±0,28	21,8	13,7	18,9±0,22	12,7±0,22
					2009 год					
72,1	76,6	73,7	10,7	8,4	13,7±0,28	7,1±0,22	15,3	9,7	21,7±0,35	14,3±0,22
					2010 год					
58,6	59,8	63,4	0,1	0	17,3±0,29	12,4±0,27	1,3	0,3	25,3±0,26	15,8±0,22
					2011 год					
72,7	79,4	73,1	8,4	6,7	16,8±0,23	8,2±0,20	21,7	15,4	19,2±0,20	13,9±0,24
					2012 год					
78,4	74,3	80,3	20,3	—	11,3±0,22	—	34,8	—	15,1±0,24	—
					2014 год					
60,3	52,4	54,1	0	—	16,7±0,29	—	0,7	—	24,7±0,26	—
					2016 год					
66,2	79,1	78,3	2,2	—	17,1±0,22	—	22,9	—	20,8±0,25	—
					НСР ₀₅					
					2,69	0,38			НСР ₀₅	0,38

Примечание. 1 — одновидовой посев, 2 — смешанный посев с яровой пшеницей сорта Ирень. Проверки означают отсутствие смешанных посевов в годы наблюдения.



Рис. 2. Белая гниль (возбудитель *Sclerotinia sclerotiorum*) на бобах люпина белого (*Lupinus albus* L.) сорта Дега (а) и люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) сорта Белозерный 110 (б). Показано образование белой ватообразной грибницы и черных склероциев (опытное поле Всероссийского НИИ люпина, Брянский р-н, Брянская обл., 2012 год).

появились на главном стебле, поскольку они располагались ниже, чем боковые, и меньше проветривались от влаги. Развитие болезни на бобах начиналось с нижней их части, которая крепилась к стеблю. Распространяясь, патоген мог поразить все бобы на главном побеге. Пораженная ткань бобов размягчалась, сначала становилась бледно-зеленого, затем бурого цвета. Со временем бобы полностью покрывались белым ватообразным мицелием гриба, на котором образовывались черные склероции различной формы и размеров (рис. 2).

С пораженных створок бобов болезнь распространялась на семена, которые покрывались белым налетом мицелия; впоследствии мицелий превращался в темные склероции. Пораженные бобы становились рыхлыми и падали на землю вместе с загнившими семенами. Если в этот период в

Наступление продолжительного дождливого и теплого периода в июле-августе способствовало интенсивному развитию и распространению белой гнили, что приводило к значительным потерям урожая семян. В это время на главном и боковых побегах сформировывались бобы, а растения были максимально облиственны, что создавало благоприятные условия для активного развития патогена внутри посева. В первую очередь поражились бобы, находившиеся на главном стебле, поскольку они располагались ниже, чем боковые, и меньше проветривались от влаги. Развитие болезни на бобах начиналось с нижней их части, которая крепилась к стеблю. Распространяясь, патоген мог поразить все бобы на главном побеге. Пораженная ткань бобов размягчалась, сначала становилась бледно-зеленого, затем бурого цвета. Со временем бобы полностью покрывались белым ватообразным мицелием гриба, на котором образовывались черные склероции различной формы и размеров (рис. 2).

посеве присутствовали полегшие растения, то они полностью поражались белой гнилью и погибали. По данным I. Нап с соавт. (25), сильное инфицирование посевов *Canavalia gladiata* DC белой гнилью в Южной Корее в 2018 году приводило к некротическим образованиям стеблей и бобов, контактирующих с почвой.

Необходимо отметить, что в условиях вегетационного периода 2008 года люпин узколистный по сравнению с белым проявил большую устойчивость к заболеванию. В фазу блестящего боба наибольший процент поражения бобов в одновидовом и смешанном посевах был отмечен на люпине белом, — соответственно 21,8 и 13,7 %. Поражение бобов люпина узколистного оказалось значительно меньше: в одновидовом посеве — 12,3 %, в смешанном — 5,4 % (см. табл. 1). Аналогичная закономерность поражения люпина узколистного и белого прослеживалась и в другие благоприятные для развития заболевания годы.

При обследовании посевов люпина мы обнаружили небольшие фрагменты беловатого мицелия на непораженных частях растений, которые находились вблизи от пораженного растения с ватообразным мицелием гриба. Чтобы установить возможность распространения белой гнили частичками грибницы при помощи ветра и дождя, в 2009 и 2011 годах в полевых условиях проводили искусственное заражение растений люпина белого и узколистного мицелием патогена. При теплой погоде (18–22 °С) и достаточном увлажнении мицелий внедрялся в ткань растущего боба или листа растения с образованием темного пятна, затем белой грибницы и черных склероциев. Симптомы болезни при искусственном заражении не отличались от естественного заражения в этот период на других посевах. Следовательно, распространение белой гнили в посевах люпина происходит не только с помощью аскоспор, но и при передаче частичек грибницы от растения к растению при участии ветра и дождя. Это увеличивает инфекционную нагрузку в посеве, а при благоприятных для гриба условиях (высокая влажность воздуха) приводит к эпифитотийному развитию заболевания и значительным потерям урожая семян. При обследовании первые очаги болезни на стеблях растений люпина были выявлены на пониженных участках поля и в загущенных посевах, поэтому болезнь в посевах носила очаговый характер.

Наши многолетние наблюдения показали, что развитию и распространению белой гнили в посевах люпина способствуют умеренные, местами сильные дожди и высокая влажность воздуха во второй половине вегетации люпина. Это подтверждается исследованиями, проведенными в разных регионах мира на других культурах. Так, В. Simic с соавт. (34) установили, что урожай зерна и проявление симптомов болезни значительно варьируют в зависимости от количества осадков и температуры в период вегетации подсолнечника. Авторы отмечают, что минимальная урожайность зерна (1,14 т/га) и наибольшая частота проявления симптомов болезни (24–67 % больных растений) наблюдались во влажном 2005 году, а наибольшая урожайность (3,87 т/га) и наименьшее поражение белой гнилью (3,2–5,8 % больных растений) — в засушливом 2007 году. Согласно результатам исследований, проведенных во Вьетнаме (35), белая гниль часто встречается в прохладные влажные зимние и весенние сезоны на карликовых и вьющихся бобах, арахисе, иногда на растениях горького перца *Chilli*. Сильное поражение отмечалось в посевах арахиса весной 2008 года после периода влажной погоды, в фазу начала цветения. Результаты лабораторных опытов с просом подтверждают, что продолжительность влажности и температура инкубации влияют на всхожесть аскоспор *Sclerotinia sclerotiorum* и

эффективность аскоспорической инфекции. Прорастание аскоспор оптимально при инкубации в условиях постоянной влажности при 21 °С. Более низкая всхожесть наблюдалась при 10 и 30 °С. Прерывание влажной инкубации задерживало появление симптомов болезни и тормозило заражение растений (15).

В нашем исследовании благоприятные погодные условия для развития белой гнили на посевах люпина сложились в 2009, 2011, 2012, 2016 годах, когда в июне-августе относительная влажность воздуха была на 13,8-17,0 % выше по сравнению с 2010 и 2014 годами, характеризующимися наименьшим количеством осадков и низкой относительной влажностью воздуха. Наибольшее поражение белой гнилью наблюдалось на посевах люпина белого, однако максимальный ущерб обоим видам люпина заболевание нанесло в 2012 году. Влажные и избыточно влажные условия периода вегетации сложились во все декады июня и августа, при этом среднесуточная влажность воздуха была высокой и составила соответственно 78,4 и 80,3 %. В июле показатель несколько снизился — 74,3 %. Скорость развития гриба оказалась большей в одновидовых посевах люпина узколистного и белого. Поражение бобов в фазу блестящего боба белой гнилью было максимальным и составило соответственно 20,3 и 34,8 %. Урожай семян в этот год был наименьшим — 10,7 и 15,1 ц/га. По сравнению с показателем, полученным в 2010 году, достоверное снижение урожайности люпина узколистного и белого составило соответственно 6,0 ц/га (34,7 %; НСР₀₅ при 95 % уровне значимости 2,69) и 10,2 ц/га (40,3 %; НСР₀₅ 0,38).

В большей степени поражению были подвержены бобы, расположенные на главном стебле, особенно у люпина белого. Возможно, это связано с различиями в морфологии. Растения люпина узколистного в фазу блестящего боба облиственны меньше, чем белого, поэтому посевы лучше проветриваются, влага быстрее испаряется с их поверхности, что снижает интенсивность развития патогена. На растениях люпина белого к фазе блестящего боба образуется большее число листьев, что способствует созданию более плотного посева, в котором дольше сохраняется влага, снижается освещенность бобов, особенно на главном стебле, и создаются благоприятные условия для развития гриба.

Согласно нашим результатам, развитие белой гнили определялось влажностью воздуха, особенно в июле и августе (см. табл. 1). Так, в 2014 году в эти месяцы влажность воздуха составляла 52,4 и 54,1 %, и развития болезни на люпине узколистном не наблюдалось, а на люпине белом было незначительным (0,7 %). При небольшом количестве осадков и низкой относительной влажности воздуха пораженные части растений подсыхали, а образованные на них склероции опали. Растения с пораженными стеблями погибали. В засушливые 2010 и 2014 годы развитие болезни на люпине происходило только на прикорневой и средней части стебля. Самое низкое поражение люпина белого в смешанном посеве (0,3 %) отмечали в засушливых условиях вегетации 2010 года. Поражение люпина узколистного в таком же посеве отсутствовало. В одновидовом посеве поражение растений люпина узколистного и белого составляло соответственно 0,1 и 1,3 %.

Наши наблюдения показали, что значительное влияние на развитие и распространение болезни на люпине оказывает вид посева. В условиях Брянской области наибольшие потери урожая семян от белой гнили отмечались в одновидовом посеве люпина белого. При продолжительных осадках и высокой влажности воздуха во вторую половину вегетации поражение бобов варьировало от 15,3 до 34,8 %, что достоверно снижало урожай семян на 14,3-39,2 % (НСР₀₅ = 0,38 при 95 % уровне значимости). Коэффициент

корреляции при этом выявил достоверно высокую зависимость поражения растений белого люпина в одновидовом посеве от влажности в июне и июле — соответственно $r = 0,90$ ($p = 0,006$) и $r = 0,81$ ($p = 0,026$) (табл. 2).

2. Коэффициенты корреляции изучаемых переменных в одновидовом и смешанном посевах люпина узколистного (*Lupinus angustifolius* L.) сорта Белозерный 110 и белого (*Lupinus albus* L.) сорта Дега (опытное поле Всероссийского НИИ люпина, Брянский р-н, Брянская обл., 2008-2012, 2014, 2016 годы)

Переменные	Коэффициент корреляции(r) и уровень значимости (p)		
	июнь	июль	август
Одновидовой посев			
<i>Люпин белый</i>			
Влажность воздуха (%) × урожайность семян (ц/га)	-0,94* ($p = 0,002$)	-0,71 ($p = 0,071$)	-0,83* ($p = 0,021$)
Влажность воздуха (%) × поражение бобов (%)	0,90* ($p = 0,006$)	0,81* ($p = 0,026$)	0,92* ($p = 0,003$)
Урожайность (ц/га) × поражение бобов (%)	-0,97* ($p = 0,000$)	-0,97* ($p = 0,000$)	-0,97* ($p = 0,000$)
<i>Люпин узколистный</i>			
Влажность воздуха (%) × урожайность семян (ц/га)	-0,80* ($p = 0,029$)	0,38 ($p = 0,399$)	-0,56 ($p = 0,190$)
Влажность воздуха (%) × поражение бобов (%)	0,95* ($p = 0,001$)	0,58 ($p = 0,174$)	0,71 ($p = 0,072$)
Урожайность (ц/га) × поражение бобов (%)	-0,92* ($p = 0,003$)	-0,92* ($p = 0,003$)	-0,92* ($p = 0,003$)
Смешанный посев с яровой пшеницей			
<i>Люпин белый</i>			
Влажность воздуха (%) × урожайность семян (ц/га)	-0,89 ($p = 0,105$)	-0,86 ($p = 0,144$)	-0,94 ($p = 0,060$)
Влажность воздуха (%) × поражение бобов (%)	0,95 ($p = 0,050$)	0,97* ($p = 0,029$)	0,91 ($p = 0,089$)
Урожайность (ц/га) × поражение бобов (%)	0,88 ($p = 0,122$)	-0,88 ($p = 0,122$)	-0,88 ($p = 0,122$)
<i>Люпин узколистный</i>			
Влажность воздуха (%) × урожайность семян (ц/га)	-0,93 ($p = 0,074$)	-0,93 ($p = 0,075$)	-0,88 ($p = 0,116$)
Влажность воздуха (%) × поражение бобов (%)	0,90 ($p = 0,096$)	0,91 ($p = 0,090$)	0,85 ($p = 0,147$)
Урожайность (ц/га) × поражение бобов (%)	-1,00* ($p = 0,002$)	-1,00* ($p = 0,002$)	-1,00* ($p = 0,002$)

* Значения коэффициента корреляции статистически значимы при $p < 0,05$.

Поражение бобов люпина узколистного при аналогичных условиях составляло от 8,4 до 20,3 %, потери урожая — от 3,0 до 34,7 % ($НСР_{05} = 2,69$). В июне в одновидовом посеве узколистного люпина была выявлена высокая достоверная связь между влажностью и поражением растений белой гнилью ($r = 0,95$, $p = 0,001$) и обратная достоверная зависимость между урожайностью и поражением бобов ($r = -0,92$, $p = 0,003$).

Многолетние исследования показали, что в смешанном посеве со злаковой культурой растения обоих видов люпина меньше поражались белой гнилью, чем в одновидовом посеве. Так, в благоприятном для развития болезни 2011 году в смешанном посеве поражение бобов люпина узколистного и белого составило соответственно 6,7 и 15,4 %, тогда как в одновидовом пораженных бобов было соответственно 8,4 и 21,7 %. Достоверное снижение урожая семян люпина узколистного и белого в смешанном посеве в годы с высокой влажностью воздуха (2008, 2009, 2011) по сравнению с годом с низкой влажностью воздуха (2010) составляло соответственно 1,4-1,7 и 1,2 раза ($НСР_{05} = 0,38$, $НСР_{05} = 0,34$). Можно предположить, что в смешанном посеве со злаковой культурой создаются микроклиматические условия, которые в меньшей степени благоприятны для развития заболевания, что снижает поражение растений и бобов люпина.

Таким образом, развитие и распространение белой гнили на посевах

люпина белого и узколистного в Нечерноземной зоне России в значительной степени определялось метеорологическими условиями. Интенсивное развитие патогена в одновидовом и смешанном с яровой пшеницей посевах происходило, когда в июне-августе наступала дождливая и теплая погода, а влажность воздуха составляла 66,2-80,3 %. В годы с меньшим количеством осадков и низкой относительной влажностью воздуха поражение посевов люпина белой гнилью резко падало или отсутствовало. Выявлена видовая зависимость восприимчивости люпина к заболеванию. Наибольшее поражение растений белой гнилью отмечалось на люпине белом. Поражение бобов люпина белого в одновидовом посеве достигало 15,3-34,8 %, люпина узколистного — 8,4-34,7 %. В одновидовом посеве получены высокие достоверные отрицательные значения коэффициента корреляции между урожайностью белого люпина и его поражением белой гнилью ($r = -0,97$, $p = 0,000$). В смешанном посеве со злаковой культурой поражение бобов люпина белого сокращалось в 1,4-1,6, узколистного — в 1,3-2,3 раза. Очевидно, специфика смешанных посевов, где вторым компонентом служит зерновая культура, позволяет говорить об их сдерживающей роли в развитии изученного грибного заболевания. Для снижения вредоносности белой гнили на люпине целесообразно возделывать его в смешанном посеве со злаковой культурой.

Всероссийский НИИ люпина —
филиал ФГБНУ ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии
им. В.Р. Вильямса,
241524 Россия, Брянская обл., п. Мичуринский, ул. Березовая, 2,
e-mail: lupin.fitopat@mail.ru, yagovenko@bk.ru, lupin_mail@mail.ru,
lupin_nvmisnikova@mail.ru ✉

Поступила в редакцию
9 июля 2020 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2020, V. 55, № 6, pp. 1257-1267

DEVELOPMENT OF SCLEROTINIA IN NARROWLEAF (*Lupinus angustifolius* L.) AND WHITE (*Lupinus albus* L.) LUPIN SINGLE AND MIXED CROPS UNDER DIFFERENT WEATHER CONDITIONS IN BRYANSK REGION

L.I. Pimokhova, G.L. Yagovenko, Zh.V. Tsarapneva, N.V. Misnikova ✉

All-Russian Lupin Research Institute — Branch of the Federal Williams Research Center of Forage Production & Agroecology, 2, ul. Berезovaya, pos. Mitchurinskiy, Bryansk Province, 241524 Russia, e-mail lupin.fitopat@mail.ru, yagovenko@bk.ru, lupin_mail@mail.ru, lupin_nvmisnikova@mail.ru (✉ corresponding author)

ORCID:

Pimokhova L.I. orcid.org/0000-0002-9565-8176

Tsarapneva Zh.V. orcid.org/0000-0002-0311-5896

Yagovenko G.L. orcid.org/0000-0003-3205-230X

Misnikova N.V. orcid.org/0000-0001-5746-6539

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by the MSHE of the Russian Federation within the framework of the theme "To research species and population of the main forage crops' pathogens and to develop methodology for field infection load creation. To identify new sources with increased field resistance to diseases" (the RAS Program for Fundamental Research, AAA-A18-118072590033-1)

Received July 9, 2020

doi: 10.15389/agrobiology.2020.6.1257eng

Abstract

White rot caused by ascomycetous fungus *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. is a widely spread disease of many cultivated and wild plants. In the Non Chernozem zone of Russia the epiphytotic development of white rot in white and narrowleaf lupin crops began in 2008 and is related to climate change towards warming. The article presents the first report on dependence between weather conditions in the Non Chernozem zone and white rot infection of white and narrowleaf lupines in single and mixed crops. High significant correlation coefficients have been obtained between air moisture and pods' white rot infection of the narrowleaf lupin in June ($r = 0.95$, $p = 0.001$), and of the white lupin in June and July ($r = 0.90$, $p = 0.006$; $r = 0.81$, $p = 0.026$, respectively). High significant negative correlation coefficients between narrowleaf and white lupin yields in single and mixed crops

and *Sclerotinia* infection of pods have been revealed ($r = -0.92$, $p = 0.003$ and $r = -1.00$, $p = 0.002$, respectively; $r = -0.97$, $p = 0.000$ and $r = -0.88$, $p = 0.122$, respectively). The lupin species differed in susceptibility to the pathogen. This work aimed to evaluate the white rot development and harmfulness in white and narrowleaf lupin crops depending on weather of the vegetation season and crop type under the conditions of Bryansk region. The narrowleaf lupin var. Belozernyi 110 and the white lupin var. Dega were cultivated in single crops and in mixed crops with spring wheat var. Iren in 2008-2012, 2014, and 2016 in the North-East of Bryansk region (an experimental field of All-Russian Lupin Scientific Research Institute). Climatic data were received from the meteorological station on the territory of the institute. Lupin plants were infected with white rot mycelium by the wet chamber method. Plants infection was evaluated during the vegetation period (stem and bud formation, flowering and pods' formation stages). The yield of each plot was weighted after the total threshing (a combine-harvester Sampo-500, Sampo Rosenlew, Finland). Intensive pathogen development on the tested lupin species in single and mixed crops was in rainy and warm June-August, at 66.2-80.3 % air moisture. Under rainy, warm and windy conditions white rot spread among plants in lupin crops both by ascospores and by mycelium particles. The first lesion focuses appeared on stems in low field sites and in dense crops. Depressive disease development occurred at air moisture from 54.1 to 60.3 %. White lupin plants were more susceptible to the disease, probably due to the morphological peculiarities of this species. Under favorable conditions for the disease, the incidence of pod infection averaged 15.3-34.8 % in white lupin single crops and 8.4-34.7 % in narrowleaf lupin single crops. Herewith seed yield losses made 14.3-39.2 % and 3.0-34.7 %, respectively. Under dry conditions of 2010, the white lupin infection incidence was 0.3 % in mixed crops with no infection of the narrowleaf lupin observed. The infection of the narrowleaf and white lupins in their single crops made 0.1 and 1.3 %, respectively. The white rot was more harmful for lupin crops upon a combination of sufficient or excessive moisture and optimal temperature in the second part of vegetation. During this period, the pods were formed on the main and lateral stems, and the plant foliation was maximum too. The latter creates favorable conditions for the pathogen inside the crops. Pod infection in lupines decreased significantly in mixed lupin-and-cereal crops, 1.4-1.6-fold for the white lupin, and 1.3-2.3-fold for the narrowleaf lupin. Obviously, the lupin-and-cereal mixed crops create the conditions which are less favorable for the pathogen development and spread, therefore decrease infection of lupin plants and pods.

Keywords: *Sclerotinia sclerotiorum*, crop type, air moisture, harmfulness, *Lupinus angustifolius* L., narrowleaf lupin, *Lupinus albus* L., white lupin.

REFERENCES

1. Yagovenko L.L., Misnikova N.V., Yagovenko G.L. *Kormoproizvodstvo*, 2012, 5: 13-16 (in Russ.).
2. Mustafa M.A., Mayes S., Massawe F. Crop diversification through a wider use of underutilised crops: a strategy to ensure food and nutrition security in the face of climate change. In: *Sustainable solutions for food security*. A. Sarkar, S. Sensarma, G. van Loon (eds.). Springer, Cham, 2019: 125-149 (doi: 10.1007/978-3-319-77878-5_7).
3. Yadav R.S., Yadav A.K. Isolation and evaluation of potent bio-control agent against *Fusarium oxysporum* f. sp. lentis, *Scolorotium rolfsii* and *Sclerotinia sclerotiorum* causing soil borne disease in lentil (*Lens culinaris* Medik). *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2019, 8(6): 715-721 (doi: 10.20546/ijcmas.2019.806.084).
4. Andrianova E.N., Egorov I.A., Grigor'eva E.N., Shevyakov A.N., Pronin V.V. Lupine is applicable in diets for layer chicken of parental flock. *Agricultural Biology [Sel'skokhozyaistvennaya biologiya]*, 2019, 54(2): 326-336 (doi: 10.15389/agrobiol.2019.2.326rus).
5. Lizarazo C.I., Yli-Halla M., Stoddard F.L. Pre-crop effects on the nutrient composition and utilization efficiency of faba bean (*Vicia faba* L.) and narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.). *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2015, 103: 311-327 (doi: 10.1007/s10705-015-9743-0).
6. Levitin M.M. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2012, 46(1): 14-19 (in Russ.).
7. Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchei sredy. *Doklad ob osnovnostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2015 god* [Report on climate in the territory of the Russian Federation for 2015]. Moscow, 2016 (in Russ.).
8. Mameev V.V., Nesterenko O.A. *Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Agroekologicheskie aspekty ustoychivogo razvitiya APK»* [Proc. XIV Int. Conf. «Agro-ecological aspects of sustainable development of agriculture»]. Bryansk, 2017: 81-85 (in Russ.).
9. Hille J., Lambers R. Extinction risks from climate change. *Science*, 2015, 348(6234): 501-502 (doi: 10.1126/science.aab2057).
10. Pugnaire F.I., Morillo J.A., Peñuelas J., Reich P.B., Bardgett R.D., Gaxiola A., Wardle D.A., van der Putten W.H. Climate change effects on plant-soil feedbacks and consequences for biodiversity and functioning of terrestrial ecosystems. *Science Advances*, 2019, 5(11): eaaz1834 (doi: 10.1126/sciadv.aaz1834).
11. Levitin M.M. Microorganisms and global climate change. *Agricultural Biology [Sel'skokhozyaistvennaya biologiya]*, 2015, 50(5): 641-647 (doi: 10.15389/agrobiol.2015.5.641eng).
12. Kamesh Krishnamoorthy K., Sankaralingam A., Nakkeeran S. Effect of temperature and salinity

- on the growth of *Sclerotinia sclerotiorum* causing head rot of cabbage. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2017, 6(2): 950-954 (doi: 10.20546/ijcmas.2017.602.106).
13. Nazir N., Bilal Sh., Bhat K., Shah T., Badri Z., Bhat F., Wani T., Mugal M., Parveen Sh., Dorjey S. Effect of climate change on plant diseases. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2018, 7(6): 250-256 (doi: 10.20546/ijcmas.2018.706.030).
 14. Trivedi Sh., Srivastava M.H., Srivastava A.K., Ratan V., Shahid Mo., Singh An., Pandey S., Dixit S., Srivastava Y.K. Status of root and foliar fungal diseases of pulses at different agro-climatic zones of Uttar Pradesh, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2017, 6(11): 152-165 (doi: 10.20546/ijcmas.2017.611.020).
 15. Shahoveisi F., del Rio Mendoza L.E. Effect of wetness duration and incubation temperature on development of ascospore infections by *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Disease*, 2020, 104(6): 1817-1823 (doi: 10.1094/PDIS-06-19-1304-RE).
 16. Wang B., Liu D.L., Evans J.P., Ji F., Waters C., Macadam I., Feng P., Beyer K. Modelling and evaluating the impacts of climate change on three major crops in south-eastern Australia using regional climate model simulations. *Theor. Appl. Climatol.*, 2019, 138: 509-526 (doi: 10.1007/s00704-019-02843-7).
 17. Sanabria-Velazquez A.D., Testen A.L., Enciso G.A., Soilan L.C., Miller S.A. Effects of anaerobic soil disinfestation on *Sclerotinia sclerotiorum* in Paraguay. *Plant Health Progress*, 2019, 20(1): 50-60 (doi: 10.1094/PHP-12-18-0082-RS).
 18. Juroszek P., von Tiedemann A. Potential strategies and future requirements for plant disease management under a changing climate. *Plant Pathology*, 2011, 60(1): 100-112 (doi: 10.1111/j.1365-3059.2010.02410.x).
 19. Sharma P., Meena P.D., Singh S., Rai P.K. Efficacy of micro-nutrients, fungicides and bio-agents against sclerotinia stem rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) of Indian Mustard. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2017, 6(10): 620-626 (doi: 10.20546/ijcmas.2017.610.076).
 20. Peltier A., Hatfield R.D., Grau C.R. Soybean stem lignin concentration relates to resistance to *Sclerotinia sclerotiorum*. *Plant Disease*, 2009, 93(2): 149-154 (doi: 10.1094/PDIS-93-2-0149).
 21. Wei W., Mesquita A.C.O., Figueiró A.d.A., Wu X., Manjunatha S., Wickland D.P., Hudson M.E., Juliatti F.C., Clough S.J. Genome-wide association mapping of resistance to a Brazilian isolate of *Sclerotinia sclerotiorum* in soybean genotypes mostly from Brazil. *BMC Genomics*, 2017, 18(849): 2-16 (doi: 10.1186/s12864-017-4160-1).
 22. Upadhyay N.K., Ratan V., Yadav V.K., Kumar A., Awasthi D., Chandra S., Rai J.P. Management of white mold fungus *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) De Bary causes disease in tomato under in vitro conditions. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2019, 8(8): 2733-2743 (doi: 10.20546/ijcmas.2019.808.315).
 23. Rather R.A., Nisar M.U., Raina Z.K., Ahanger F.A., Bhat N.A., Chesti F., Sofi P.A. Population structure of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary causing white mold of bean in Kashmir, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, 2018, 7(9): 3795-3800 (doi: 10.20546/ijcmas.2018.709.469).
 24. Pawlowski M.L., Murithi H., Hailemariam M., Tesfaye A.A., Hartman G.L. First report of *Sclerotinia sclerotiorum* causing stem rot on soybean (*Glycine max*) in Ethiopia. *Plant Disease*, 2019, 103(10): 2676-2676 (doi: 10.1094/PDIS-05-19-0929-PDN).
 25. Han I., Park K., Lee H., Lee S.-M., Shin J., Choi S.-L., Kim J. First report of *Sclerotinia* rot in sword bean caused by *Sclerotinia sclerotiorum* in South Korea. *Plant Disease*, 2020, 104(3): 988-988 (doi: 10.1094/PDIS-09-19-1840-PDN).
 26. Gondran J., Bournoville R., Duthion C. *Identification of diseases, pests and physical constraints in white lupin*. INRA UNIP, Versailles, 1994.
 27. Champion R. *Identifiant les champignons transmis par les semences*. INRA, Paris, 1997.
 28. Kaufmann K., Thalmann R., Pfeffer H., Schachler B., Stuck C. Resistance tests for soil-borne fungal diseases in narrow-leafed lupin (*Lupinus angustifolius* L.) *Proc. 13th International Lupin Conference «Lupin crops — an opportunity for today, a promise for the future»*, 6-10 June, 2011, Poznan, Poland. B. Naganowska, P. Kachlicki, B. Wolko (eds.). New Zealand, Canterbury, ILA, 2011: 269-271.
 29. Dorozhkin N.A., Chekalinskaya N.I. *Bolezni lyupina* [Diseases of lupine plants]. Minsk, 1965 (in Russ.).
 30. Korneichuk N.S. V sbornike: *Povyshenie urozhainosti sel'skokhozyaistvennykh kul'tur na peschanykh pochvakh Poles'ya*. Kiev, 1971: 115-126.
 31. Takunov I.P. *Lyupin v zemledelii Rossii* [Lupin in Russian agriculture]. Bryansk, 1996 (in Russ.).
 32. Bettkher I., Vetsel' T., Dreve F., Kegler X., Naumann K., Fraier B., Frauenshtain K., Fuks E. *Metody opredeleniya boleznei i vreditelei sel'skokhozyaistvennykh rastenii* [Methods for determining diseases and pests of agricultural plants]. Moscow, 1987 (in Russ.).
 33. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field trials]. Moscow, 1985 (in Russ.).
 34. Simic B., Cosic J., Popovic R., Vrandecic K. Influence of climate conditions on grain yield and appearance of white rot (*Sclerotinia sclerotiorum*) in field experiments with sunflower hybrids. *Cereal Research Communications*, 2008, 36: 63-66.
 35. Luong T.M., Huynh L.M.T., Le T.V., Burgess L.W., Phan H.T. First report of *Sclerotinia* blight caused by *Sclerotinia sclerotiorum* in Quang Nam, Vietnam. *Australasian Plant Disease Notes*, 2010, 5: 42-44 (doi: 10.1071/DN10016).