

Защита растений

УДК 633.353:632.7:631.522/.524:581.19:581.573.4

doi: 10.15389/agrobiology.2023.1.142rus

ЗАСЕЛЯЕМОСТЬ СОРТОВ КОНСКИХ БОБОВ (*Vicia faba* L.) БОБОВОЙ ТЛЕЙ *Aphis fabae* Scopoli И ПРИЗНАКИ, ОТВЕТСТВЕННЫЕ ЗА НИЗКУЮ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ РАСТЕНИЙ К ВРЕДИТЕЛЮ

I. NIKOLOVA[✉]

Наиболее экономически значимый вредитель конских бобов (*Vicia faba* L.) — бобовая (или свекловичная) тля *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera, Homoptera: Aphididae). Использование сортов, устойчивых к различным видам тли, может увеличить объемы производства этой культуры, снизить загрязнение окружающей среды и затраты на контроль состояния посевов. Известно о взаимосвязи между степенью повреждения тлями и морфологическими признаками растения, однако сведения о химических изменениях при повреждении тлями и роли химических факторов в чувствительности к *A. fabae* неоднозначны. В настоящей работе 12 сортов *V. faba* из коллекции Института кормовых культур (г. Плевен) впервые охарактеризованы по набору признаков и показано, что в ответ на поражение тлей *A. fabae* высота растений, содержание сырого протеина, фосфора и хлорофиллов а + b снижались, а количество цианогенных гликозидов значительно увеличилось. Целью настоящего исследования была оценка чувствительности сортов конских бобов к *A. fabae* и выявление морфологических и химических признаков, ответственных за низкую восприимчивость к тле. Полевые исследования по схеме рандомизированных блоков проводились в Институте кормовых культур (г. Плевен, 2016–2018 годы). Число тлей учитывали на растениях ($n = 20$, $N = 3$) на стадии бутонизации, цветения и образования бобов, реакцию растений оценивали по балльной шкале (от 0 до 12 баллов). Химический состав (содержание сырого протеина, фосфора, хлорофилла а, хлорофилла b, цианогенных гликозидов) определяли стандартными методами (Weende system analysis). Установлено, что максимальной численности тли достигают в период формирования стручков. Сорта Fb 3270 и BGE 029055 были определены как очень слабо восприимчивые, BGE 002106, BGE 032012 и BGE041470 — как средневосприимчивые. Заражение тлей существенно повлияло на морфо-химические признаки сортов и привело к снижению высоты растений, содержания сырого протеина, фосфора и хлорофилла а + b, а содержание цианогенных гликозидов в ответ на поражение тлей значительно увеличилось. Снижение показателей зависело от обилия тлей, причем степень уменьшения была значительно больше у очень высоко восприимчивых и высоковосприимчивых сортов. По цианогенным гликозидам, наоборот, отмечалось увеличение количества этих соединений с ростом популяции тли. Белок, фосфор и цианогенные гликозиды могут быть использованы как ключевые индикаторные признаки *V. faba*, определяющие предпочтения свекловично-бобовой тли при выборе кормового растения. Низкорослые сорта Fb 3270 и BGE 029055 с высоким содержанием фосфора и цианогенных гликозидов и низким — сырого протеина значительно слабее поражались тлей. Выявленные сорта со значительно меньшей восприимчивостью к свекловично-бобовой тле могут быть включены в будущие программы селекции на устойчивость к *A. fabae*.

Ключевые слова: *Aphis fabae*, кормовые предпочтения, сорта бобовых, восприимчивость, морфологические признаки, химические признаки.

Конские бобы (*Vicia faba* L.) — зернобобовое растение семейства *Fabaceae*, богатое белком и широко используемое в пищу и на корм животным. Кроме того, конские бобы выполняют важную функцию — обогащают почву азотом благодаря симбиотической азотфиксации.

Основной и наиболее распространенный вредитель конских бобов — бобовая (или свекловичная) тля *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera, Homoptera: Aphididae), которая наносит значительный ущерб растениям (потери урожая достигают 37 %) (1). Тли способны активно расти и развиваться, что позволяет их популяциям быстро достигать численности, превышающей экономический порог вредоносности. Прямое негативное влияние *A. fabae* на *V. faba* проявляется в подавлении роста растений, снижение количества и качества урожая (2). Документально подтверждено, что повреждения, вызываемые многими видами тлей, изменяют скорость фотосинтеза и роста растений, физиологические и биохимические процессы (3–5). По данным Н.К. Shannag (6), негативный эффект проявлялся в снижении содержания

сырого протеина в листьях у 14-суточных растений еще до появления признаков повреждения тлями. Р. Mawar и А.В. Tambe (7) изучали снижение показателей качества у люцерны при поражении тлей и обнаружили резкое уменьшение содержания хлорофилла, сухого вещества, золы, сырого протеина, клетчатки, фосфора, калия, кальция.

Для защиты растений от тлей в основном используются химические инсектициды. Однако они негативно воздействуют на полезных насекомых и окружающую среду. Таким образом, сохраняется потребность в эффективных, экологически чистых альтернативных способах борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур, в том числе с тлями. Идентификация сортов, устойчивых к различным видам тли, остается важным предметом исследований (8-10). Использование таких сортов может увеличить производство конских бобов, снизить загрязнение окружающей среды и затраты на контроль состояния посевов.

Многие авторы сообщают, что применение устойчивых сортов может быть эффективным способом борьбы с тлей *A. fabae* (11, 12). В. Béji с соавт. (2) изучали устойчивость конских бобов к *A. fabae* и обнаружили, что лучшими показателями, характеризующими устойчивость, служит масса стручка и число зерен в стручке. F. Meradsi и M. Laamari (13) оценили устойчивость *V. faba* к бобовой тле по взаимосвязи между степенью повреждения и морфологическими характеристиками растения. Сообщалось (8, 14), что устойчивость сортов связана с проявлениями антибиоза и антиксеноза. При этом данные о химических изменениях, происходящих после повреждения растений тлей, и о роли различных химических факторов в подержанности разных видов заселению *A. fabae* неоднозначны (15-17).

Наиболее информативным представляется комплексный подход к анализу морфологических и биохимических признаков, связанных с устойчивостью сортов к тлям, а также изменений, происходящих после повреждения растений. Однако в отношении *V. faba* и *A. fabae* объем таких исследований невелик.

В настоящей работе для 12 сортов *V. faba* из коллекции Института кормовых культур (г. Плевен) впервые показано, что в ответ на поражение тлей *A. fabae* высота растений, содержание сырого протеина, фосфора и хлорофиллов а + b снижались, тогда как количество цианогенных гликозидов значительно увеличилось. Выявлены сорта, который могут быть включены в программы селекции на повышения устойчивости конских бобов к *A. fabae*. Содержание белка, фосфора и цианогенных гликозидов у *V. faba* предлагается использовать в качестве ключевых индикаторов привлекательности растений для тлей.

Целью исследования было определение чувствительности сортов конских бобов к бобовой тле *Aphis fabae* и выявление биохимических признаков, связанных с низкой восприимчивостью растений к вредителю.

Методика. Полевые исследования проводили в Институте кормовых культур (г. Плевен, 2016-2018 годы) на 12 сортах *Vicia faba* L., происходящих из Португалии (Fb 1896, Fb 1903, Fb 1929, Fb 2481, Fb 2486, Fb 3270) и Испании (BGE 002106, BGE 029055, BGE 032012, BGE041470, BGE 043776, BGE 046721). Площадь экспериментального участка 4 м², размещение рандомизированное блочное, повторность 3-кратная; норма высева — 30 семян/м². Заселение *A. fabae* происходило естественным путем. На протяжении всего эксперимента растения не подвергали обработке инсектицидами (в контроле сорта возделывали с использованием стандартных агрономических приемов борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур — с 3-крат-

ной обработкой чередующимися инсектицидами с альфа-циперметрин (150 г/л активного вещества) и дельтаметрин (25 г/л активного вещества) в дозе 20 мл/га (или 0,02 мл для 1 м² для обоих препаратов в три фазы развития растений: бутонизация, цветение и формирование стручка). Реакцию сортов на *A. fabae* оценивали, учитывая тлей на растении по достижении стадий бутонизации, цветения и формирования стручков половиной растений в посеве. Для каждой повторности каждого сорта случайным образом отобрали по 20 растений. Среднюю численность тли рассчитывали на основе 3-кратных учетов в каждую фазу в течение 2-3 сут. У этих же растений измеряли высоту. Реакцию растений оценивали по балльной шкале (18), где 0 — устойчивость (0 тлей на растении), 1 — незначительная чувствительность (20 тлей на растении), 2 — очень низкая чувствительность (> 20-100 тлей на растении), 3 — низкая чувствительность (> 101-200 тлей на растении), 4 — средняя чувствительность (> 201-350 тлей на растении), 5 — высокая чувствительность (> 351-500 тлей на растении), 6 — очень высокая чувствительность (> 501 тля на растении).

Для определения химических изменений в надземной массе при заражении тлями процедура фиксации заключалась в выдерживании 15 образцов растений каждого сорта ($n = 5$, $N = 3$) в термостате при 100 °С в течение 15 мин и высушивании до постоянной массы при 60 °С. Химический состав определяли в соответствии со стандартными методами (19), учитывали содержание сырого протеина (СП) по Кьельдалю, рассчитанное по формуле $СП = \text{общий } N \times 6,25$, содержание фосфора — колориметрически с гидрохиноном (20). Кроме того, в образцах свежих растений ($n = 2$, $N = 3$) определяли содержание (мг/100 г сухого вещества) хлорофилла а, хлорофилла b — по М.И. Зеленскому и Г.А. Могилевой (21), а также содержание цианогенных гликозидов по А.И. Ермакову с соавт. (22). Содержание фосфора, хлорофилла а, хлорофилла b измеряли спектрофотометрически (спектрофотометр Spekol 11, «Carl-Zeiss», Германия), содержание сырого протеина — с использованием аппарата KELDAL (модель UDK-127, «VELP Scientifica Srl», Италия). Химические соединения у растений, заселенных и не заселенных тлей, определяли во время формирования стручка.

Данные подвергали однофакторному анализу ANOVA, приведены средние значения (M) и стандартные отклонения ($\pm SD$), средние сравнивали с помощью критерия Тьюки при уровне значимости $p \leq 0,05$). Проводили корреляционный анализ и множественный регрессионный анализ с использованием соответственно программный продукт Microsoft Office Excel 2007 и программы Statgraphics Plus (1995) для Windows Ver. 2.1.

Результаты. Тли *A. fabae* появлялись при образовании первых бутонов, а с развитием растений в фазу бутонизации их численность пропорционально возрастала. Тля, несмотря на низкую плотность популяции на этой стадии, предпочитала определенные сорта. На растениях сорта BGE 046721 численность тлей оказалась значительно выше, далее следовали сорта BGE 043776 и Fb 1903 ($F_{11,5} = 12,224$; $p < 0,001$) (табл. 1). У других сортов различия по заселенности тлей были в основном незначительными, но менее предпочтительными оказались сорта Fb 3270, Fb 1896, BGE 002106 и BGE 032012. Для последних характерна небольшая численность тли, варьирующая в узком диапазоне 14,6-16,6 крылатых и бескрылых особей на растении. Средняя плотность *A. fabae* в период бутонизации была низкой (50 тлей/растение). Судя по степени восприимчивости, уже на ранней стадии развития растений тля в большей степени отдавала предпочтение сортам BGE 046721 и BGE 043776.

1. Обилие тлей *Aphis fabae* Scopoli (число крылатых и бескрылых особей на растении) у сортов конских бобов (*Vicia faba* L.) разного происхождения по фазам развития ($n = 20$, $N = 3$, $M \pm SD$, метод рандомизированных блоков, площадь делянки 4 м², Институт кормовых культур, г. Плевен, Болгария, 2016-2018 годы)

Сорт	Бутонизация		Цветение		Формирование стручка		Восприимчивость	
							оценка	группа
Fb 1896	14,8±1,93	a ¹ /a ²	125,3±27,75	f/b	432,1±17,07	e/c	$F_{2,5} = 47,840$; $p < 0,019$	Высокая
Fb 1903	49,0±3,46	d/a	99,2±22,40	de/b	367,3±19,81	d/c	$F_{2,5} = 18,706$; $p < 0,033$	Высокая
Fb 1929	33,8±4,83	c/a	148,9±23,70	g/b	524,6±15,89	f/c	$F_{2,5} = 9,798$; $p < 0,028$	Очень высокая
Fb 2481	26,2±2,64	abc/a	114,4±24,50	ef/b	352,7±16,57	d/c	$F_{2,5} = 9,117$; $p < 0,048$	Высокая
Fb 2486	20,4±3,40	ab/a	89,5±25,70	cd/b	823,0±20,64	g/c	$F_{2,5} = 24,531$; $p < 0,040$	Очень высокая
Fb 3270	14,6±2,16	a/a	34,9±17,54	a/b	52,6±15,12	a/c	$F_{2,5} = 6,578$; $p < 0,012$	Очень низкая
BGE 002106	16,1±1,59	a/a	70,2±16,63	bc/b	268,6±18,19	c/c	$F_{2,5} = 12,152$; $p < 0,035$	Средняя
BGE 029055	25,0±3,79	abc/a	59,5±17,13	b/b	99,8±19,91	b/c	$F_{2,5} = 14,649$; $p < 0,044$	Очень низкая
BGE 032012	16,6±2,52	a/a	93,0±23,90	de/b	348,4±24,13	d/c	$F_{2,5} = 39,732$; $p < 0,006$	Средняя
BGE041470	31,0±3,01	bc/a	135,5±18,41	fg/b	298,6±20,55	c/c	$F_{2,5} = 24,635$; $p < 0,005$	Средняя
BGE 043776	ax	e/a	514,6±23,30	h/b	2029,9±25,09	h/c	$F_{2,5} = 33,671$; $p < 0,029$	Очень высокая
BGE 046721	235,0±8,26	f/a	881,1±29,98	i/b	3773,9±22,23	i/c	$F_{2,5} = 87,942$; $p < 0,031$	Очень высокая
Среднее	50,0		197,2		781,0			

Примечание. В столбцах значения, указанные перед косой чертой ⁽¹⁾ и отмеченные одинаковыми буквами, не имеют статистически значимых различий при $p < 0,05$. В строке значения, указанные после косой черты ⁽²⁾ и отмеченные одинаковыми буквами, не имеют статистически значимых различий при $p < 0,05$.

2. Высота заселенных и не заселенных тлей *Aphis fabae* Scopoli растений у сортов конских бобов (*Vicia faba* L.) разного происхождения по фазам развития ($n = 20$, $N = 3$, $M \pm SD$, метод рандомизированных блоков, площадь делянки 4 м², Институт кормовых культур, г. Плевен, Болгария, 2016–2018 годы)

Сорт	Бутонизация				Цветение				Формирование стручка			
	заселенные		незаселенные		заселенные		незаселенные		заселенные		незаселенные	
1	23,4±2,79	ab ¹ /a ²	31,1±2,88	abcd/b	41,7±9,04	ab/a	67,7±4,85	bcd/b	69,8±7,45	b/a	91,5±6,94	ef/b
2	31,2±4,18	cde/a	37,2±4,66	ef/b	73,2±10,45	f/a	86,2±10,17	g/b	79,3±10,16	cd/a	101,1±9,75	g/b
3	20,0±6,19	a/a	26,7±5,12	a/b	50,9±6,64	c/a	64,2±4,49	abc/b	58,4±6,45	a/a	77,9±6,15	ab/b
4	27,1±9,01	bc/a	33,7±4,69	cde/b	69,8±6,62	ef/a	77,9±6,15	ef/b	73,5±4,19	bc/a	83,8±9,42	bcd/b
5	19,6±8,44	a/a	28,1±10,73	ab/b	47,9±10,24	bc/a	60,8±9,69	ab/b	56,8±3,00	a/a	80,4±5,39	abc/b
6	32,8±6,99	de/a	39,2±6,74	f/a	65,8±6,33	de/a	72,1±6,06	de/a	84,9±3,11	de/a	86,4±5,60	cde/a
7	24,5±7,50	ab/a	29,7±7,73	abc/a	41,4±10,71	a/a	58,9±7,62	a/b	60,0±8,55	a/a	74,5±11,18	a/b
8	33,7±5,76	e/a	37,7±3,97	ef/a	74,0±8,55	fg/a	75,5±10,78	e/a	84,0±5,45	de/a	87,9±4,72	de/a
9	27,7±2,75	bcd/a	31,1±6,50	abcd/b	62,4±3,41	d/a	70,9±8,72	cde/b	75,3±3,20	bc/a	85,3±8,43	cde/b
10	28,9±7,48	bcde/a	32,5±4,08	bcde/a	75,3±3,20	fg/a	85,3±8,43	fg/b	77,3±7,76	c/a	87,8±6,95	de/b
11	28,7±5,81	bcde/a	32,8±6,49	bcde/b	66,4±5,30	de/a	77,1±4,79	e/b	70,0±3,82	b/a	95,8±5,20	fg/b
12	31,8±6,29	cde/a	36,0±4,50	def/b	80,4±5,41	g/a	95,4±11,11	h/b	86,4±5,96	e/a	123,8±7,87	h/b
Среднее	27,5		33,0		62,4		74,3		73,0		89,7	

Примечание. 1 — Fb 1896, 2 — Fb 1903, 3 — Fb 1929, 4 — Fb 2481, 5 — Fb 2486, 6 — Fb 3270, 7 — BGE 002106, 8 — BGE 029055, 9 — BGE 032012, 10 — BGE 041470, 11 — BGE 043776, 12 — BGE 046721. В столбцах значения, указанные перед косой чертой (¹) и отмеченные одинаковыми буквами, не имеют статистически значимых различий при $p < 0,05$. В строке значения, указанные после косой черты (²) и отмеченные одинаковыми буквами, не имеют статистически значимых различий при $p < 0,05$.

В начале фазы цветения наблюдался значительный прирост численности вредителя, достигавшей в среднем 197,2 особей на растении в период цветения 50 % растений. Этот показатель был в 3 раза выше, чем на более ранней стадии развития растения. У сорта Fb 3270 отмечали самое низкое обилие вредителя, далее следовал сорт BGE 029055 (различия статистически значимы, $F_{11,5} = 21,922$; $p < 0,001$). Меньшую численность также отмечали у BGE 002106 и Fb 2486 с минимальными различиями между этими сорта-миними, за которыми следовали Fb 1903 и BGE 032012. Различия между тремя последними сортами оказались незначительными.

Объединяющим признаком всех этих вариантов было то, что численность тли не превышала значения 100 особей на растении. В указанный период перечисленные сорта классифицировались как очень слабо восприимчивые. И наоборот, наиболее предпочтительным сортом со значительной численностью *A. fabae* был BGE 046721, за которым следовал BGE 043776. Заселенность тлями у BGE 046721 и BGE 043776 превысила 350 крылатых и бескрылых особей на растение, и эти растения определили как высокочувствительные уже на стадии цветения. Другие сорта были отнесены к слабовосприимчивым.

Наиболее явным оказалось предпочтение, которой тли проявляли в отношении растений на стадии формирования бобов, когда у изучаемых сортов численность вредителя достигала максимальных значений и превышала аналогичный показатель на стадиях цветения и бутонизации в среднем соответственно в 3 раза и в 15 раз. Всплеск численности тлей благодаря активному бесполому размножению и живорождению привел к быстрому росту численности популяций, в результате чего на одно растение приходилось в среднем 781,0 крылатых и бескрылых особей. Наименьшей плотностью популяции тлей выделялся сорт Fb 3270, за ним следовал сорт BGE 029055 ($F_{11,5} = 44,900$; $p < 0,007$). По балльной оценке при численности *A. fabae* не более 100 особей на растение эти сорта относились к очень слабо восприимчивым, то есть к стабильным. У BGE 002106 и BGE041470 (с незначительными различиями между ними) число тлей на растении не превышало 350, за ними следовал сорт BGE 032012. Эти сорта определили как средневосприимчивые. Многочисленные колонии и обилие *A. fabae* наблюдали у BGE 046721, где плотность тли была значительно выше, за ним следовал сорт BGE 043776. Эти сорта (при числе тлей на растении, многократно превышающем 500) оказались наиболее предпочитаемыми и очень высоковосприимчивыми. Несмотря на существенные различия между ними и Fb 2486 и Fb 1929, последние также относились к группе высоковосприимчивых. Другие сорта были высокочувствительными.

Численность *A. fabae* значительно различалась на трех стадиях роста и развития растений. Сравнительный анализ численности тлей однозначно показал, что сорта наиболее сильно поражались в период формирования бобов, далее следовали стадии цветения и бутонизации.

Об аналогичных результатах сообщали A.J. Biddle и N.D. Cattlin (23). По их данным, на верхних частях растений *V. faba* во время цветения и формирования стручков численность тлей *A. fabae* быстро увеличивалась. Сначала тли заселяли часть стеблей, позже распространялись на окружающие растения и образовывали колонии, которые были видны как локальные пятна. Популяция *A. fabae* достигала наибольшей плотности на развивающихся стручках. M.R. Amin с соавт. (24) на нескольких видах бобовых растений изучали динамику популяций, заселенность растений тлями, их вредоносное воздействие и обнаружили обилие тлей на листьях, цветках и

стручках на стадии их формирования. Кроме того, сообщилось, что у видов с самой короткой продолжительностью стадий роста заселенность тлями самая высокая (24). M.S.A. Mamun с соавт. (25) установили, что обычно заселенность тлями последовательно возрастает с ранней стадии развития растений и достигает наибольших значений при формировании бобов, затем отмечалась тенденция к снижению численности тли.

S.A. Dwivedi и соавт. (26) исследовали устойчивость сортов горчицы к тле и обнаружили самый высокий индекс заселенности тлей на стадии полного формирования стручков, за которой следует стадия цветения. В отличие от наших данных, M. Esmaeili-Vardanjani с соавт. (11) сообщали, что максимальная численность *A. fabae* на сортах фасоли приходилась на стадию двух листьев, но не на период цветения, при этом различия по стадиям роста растений были значительными. По мнению авторов, с увеличением возраста растений устойчивость к черной фасоловой тле повышалась, а численность тлей у всех сортов в фазу цветения снижалась.

Высота растений, заселенных тлей, в фазу бутонизации варьировала в относительно узких пределах и составляла близкие значения. Только у сортов Fb 1929 и Fb 2486 растения имели высоту до 20 см (табл. 2), причем различия по сравнению с другими сортами были существенно меньше ($F_{11,9} = 5,666$; $p < 0,017$) (исключение составили сорта Fb 1896 и BGE 002106). Намного более высокое значение отмечали у BGE 029055 по сравнению с Fb 1896, Fb 1929, Fb 2481, BGE 002106 и BGE 032012. Тенденция сохранялась и при обработке инсектицидами: растения Fb 3270 были значительно выше, далее следовали сорта BGE 029055, Fb 1903 и BGE 046721 (различия между тремя последними были минимальными, $F_{11,9} = 5,341$; $p < 0,011$). Сравнительный анализ заселенных и не зараженных тлей растений показал, что *A. fabae* оказывает преимущественно угнетающее действие на рост, значительно снижая показатели у восьми сортов, несмотря на низкую численность тли в фазу бутонизации (по номерам в таблице 2: 1 — $F_{1,9} = 5,341$; $p < 0,011$; 2 — $F_{1,9} = 4,161$; $p < 0,027$; 3 — $F_{1,9} = 5,301$; $p < 0,036$; 4 — $F_{1,9} = 5,750$; $p < 0,046$; 5 — $F_{1,9} = 7,070$; $p < 0,031$; 9 — $F_{1,9} = 3,269$; $p < 0,021$; 11 — $F_{1,9} = 3,775$; $p < 0,035$; 12 — $F_{1,9} = 4,135$; $p < 0,044$). Только сорта Fb 3270, BGE 002106, BGE 029055 и BGE 041470 не показали статистически значимого снижения высоты растений при заселении тлей (6 — $F_{1,9} = 6,453$; $p < 0,064$; 7 — $F_{1,9} = 7,158$; $p < 0,017$; 8 — $F_{1,9} = 4,646$; $p < 0,284$; 10 — $F_{1,9} = 5,600$; $p < 0,087$).

Высота растений — генетически обусловленный признак, и соотношение между сортами по его величине оставалось относительно постоянным. Тем не менее при обработке инсектицидами на стадии цветения высотой растений значительно выделялся сорт BGE 046721, за ним следовал Fb 1903 при незначительных различиях с BGE 041470 ($F_{11,9} = 7,628$; $p < 0,005$). В отсутствие обработок тенденция была аналогичной: у сорта BGE 046721 высота была наибольшей по сравнению с другими сортами, за исключением BGE 029055 и BGE 041470 ($F_{11,9} = 6,728$; $p < 0,004$).

На стадии цветения в результате высокой численности и интенсивном питании тли у 10 изучаемых сортов отмечались различия по высоте и ее значительное снижение (1 — $F_{1,9} = 6,819$; $p < 0,008$; 2 — $F_{1,9} = 9,691$; $p < 0,015$; 3 — $F_{1,9} = 5,326$; $p < 0,022$; 4 — $F_{1,9} = 6,010$; $p < 0,048$; 5 — $F_{1,9} = 9,371$; $p < 0,027$; 7 — $F_{1,9} = 8,738$; $p < 0,003$; 9 — $F_{1,9} = 6,222$; $p < 0,009$; 10 — $F_{1,9} = 5,992$; $p < 0,008$; 11 — $F_{1,9} = 4,744$; $p < 0,014$; 12 — $F_{1,9} = 10,660$; $p < 0,005$). Высота растений снизилась в среднем на 21,7 %. Низкая численность *A. fabae* на растениях сортов Fb 3270 и BGE 029055 привела к незна-

чительному снижению высоты — соответственно на 9,6 и 2,0 % ($F_{1,9} = 6,827$; $p < 0,019$; $F_{1,9} = 9,142$; $p < 0,005$).

При формировании бобов растения достигли максимальной высоты, при этом четко подтвердилось, что при обработке инсектицидами самыми высокими растениями характеризовался сорт BGE 046721, за ним следовали сорта Fb 1903 и BGE 043776 при незначительных различиях между ними ($F_{11,9} = 6,7065$; $p < 0,020$). Поражение тлей сильно влияло на высоту растений, так как только сорт BGE 046721, у которого значительная высота растений генетически обусловлена, сохранил лидирующее положение, а второе и третье места заняли устойчивые к заселению тлей сорта Fb 3270 и BGE 029055. Различия между перечисленными тремя сортами были минимальными ($F_{11,9} = 6,345$; $p < 0,001$). Растения сортов Fb 3270 и BGE 029055, в отношении которых тли проявляли слабое предпочтение, в период репродуктивного развития находились в благоприятных условиях, обеспечивающих нормальный рост и метаболизм, что привело к увеличению высоты растений по сравнению с таковой у других сортов. Обилием *A. fabae* на стадии формирования бобов было вызвано наиболее выраженное снижение высоты растений (в среднем на 23,8 %).

Особенно показательно значительное снижение высоты у Fb 1896, Fb 1929, BGE 043776, Fb 2486 и BGE 046721 соответственно на 31,1; 33,4; 36,9; 41,5 и 43,3 % при значительных и достоверных различиях с обработанными растениями (1 — $F_{1,9} = 8,339$; $p < 0,043$; 3 — $F_{1,9} = 8,059$; $p < 0,013$; 5 — $F_{1,9} = 3,827$; $p < 0,006$; 11 — $F_{1,9} = 3,934$; $p < 0,009$; 12 — $F_{1,9} = 6,562$; $p < 0,015$). Для других сортов различия также были достоверными, но высота уменьшилась в относительно меньшей степени (2 — $F_{1,9} = 10,361$; $p < 0,045$; 4 — $F_{1,9} = 6,854$; $p < 0,024$; 7 — $F_{1,9} = 9,355$; $p < 0,042$; 9 — $F_{1,9} = 5,992$; $p < 0,008$; 10 — $F_{1,9} = 6,924$; $p < 0,017$). Только у сортов Fb 3270 и BGE 029055 поражение тлей не повлияло на высоту растений, которая снижалась незначительным — соответственно на 1,8 и 4,6 % ($F_{1,9} = 4,256$; $p < 0,028$; $F_{1,9} = 4,795$; $p < 0,036$).

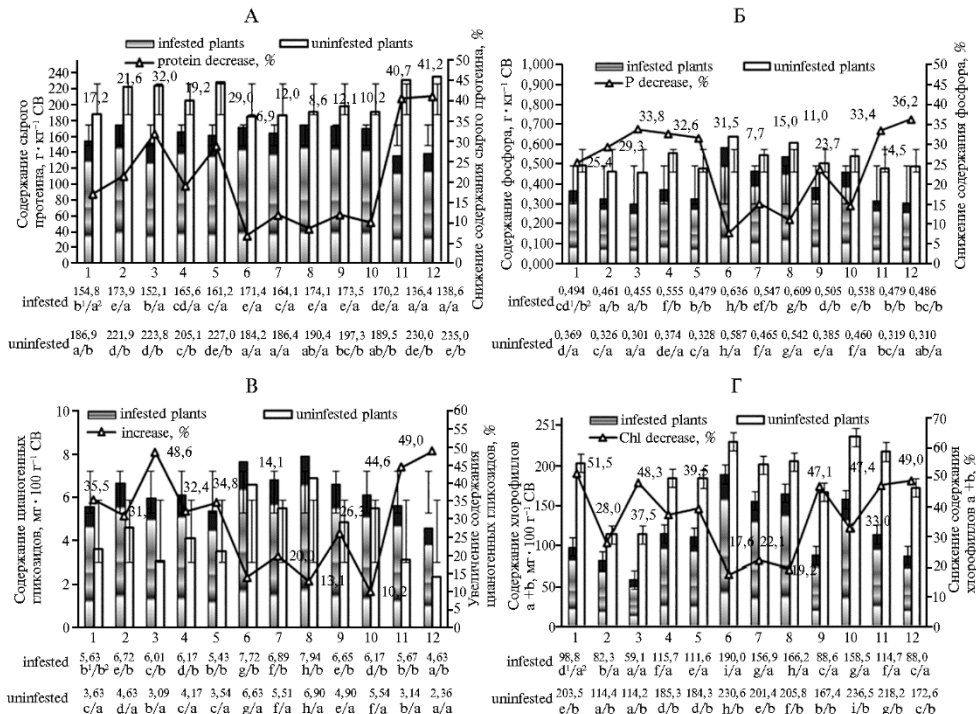
Принимая во внимание относительную стабильность неинвазированных сортов по высоте растений, мы рассчитывали коэффициенты корреляции между численностью тлей и высотой контрольных растений. Выявлено, что тли *A. fabae* предпочитали более высокие растения, так как между высотой растений и численностью *A. fabae* в фазу бутонизации проявилась слабая положительная корреляция ($r = +0,244$, $p \leq 0,05$), в фазу цветения и образования стручков — достоверная средняя и сильная положительная корреляция (соответственно $r = +0,606$ и $r = +0,803$; $p \leq 0,05$).

Таким образом, тля *A. fabae* оказывала весьма выраженное угнетающее действие на рост на всех трех стадиях развития, предпочитая более высокорослые сорта. Исключение составили растения сортов Fb 3270 и BGE 02905 с очень низкой восприимчивостью.

Аналогичный эффект значительного снижения высоты растений при обилии *A. fabae* наблюдали и другими авторами. По данным M.R. Amin с соавт. (24), заселение и повреждение тлей отрицательно сказывалось не только на высоте, но и на количестве листьев, цветков и бобов на растении. A.S. Aldawood и A. Soffan (27) также отмечали, что сорт *V. faba*, для которого регистрировали наименьшую численность тлей, был самым низкорослым, тогда как сильно поражаемые сорта имели большую высоту. I.A. Khan с соавт. (28) пришли к выводу, что повреждение тлей снижало высоту растений: она уменьшалась в большей степени у пораженных растений (на 38,78 %), чем у непораженных (на 25,32 %). Кроме того, повреждение тлей задерживало развитие растений, и корреляция между численностью тли и

процентом снижения высоты растения была высокой и значимой ($r = 0,75$) (28). Напротив, по данным F. Meradsi и M. Laamari (13), высота растений не влияла на чувствительность к *A. fabae*, но у устойчивых сортов длина листа была больше, чем у высокочувствительных. Однако S. Lebbal (29) отметил, что устойчивые и высокочувствительные сорта фасоли имели одинаковые морфологические характеристики.

В определении относительной устойчивости растения-хозяина к тлям, возможно, наиболее важную роль играет состав доступной для насекомых пищи. Азот необходим для многих физиологических процессов растения и обычно считается наиболее важным для выживания тли. *A. fabae* поглощает только растворимые источники азота из флоэмы растений, что приводит к значительному снижению содержания сырого белка (до 41,2 %) (рис., А) со значительными различиями по сравнению с непораженными растениями (1 — $F_{1,2} = 26,610$; $p < 0,008$; 2 — $F_{1,2} = 24,259$; $p < 0,001$; 3 — $F_{1,2} = 25,852$; $p < 0,012$; 4 — $F_{1,2} = 21,181$; $p < 0,001$; 5 — $F_{1,2} = 20,257$; $p < 0,022$; 9 — $F_{1,2} = 14,361$; $p < 0,022$; 10 — $F_{1,2} = 7,697$; $p < 0,038$; 11 — $F_{1,2} = 15,178$; $p < 0,012$; 12 — $F_{1,2} = 14,033$; $p < 0,008$). Это снижение обычно было пропорционально степени поражения сортов конских бобов, а количество сырого протеина и численность тли демонстрировали достоверную положительную корреляцию средней силы ($r = +0,696$, $p \leq 0,05$).



Различия в химическом составе заселенных и не заселенных тлей *Aphis fabae* Scopoli растений у сортов конских бобов (*Vicia faba* L.) разного происхождения: 1 — Fb 1896, 2 — Fb 1903, 3 — Fb 1929, 4 — Fb 2481, 5 — Fb 2486, 6 — Fb 3270, 7 — BGE 002106, 8 — BGE 029055, 9 — BGE 032012, 10 — BGE041470, 11 — BGE 043776, 12 — BGE 046721 ($n = 5$, $N = 3$, $M \pm SD$, метод рандомизированных блоков, площадь делянки 4 м², фаза формирование стручка; Институт кормовых культур, г. Плевен, Болгария, 2016-2018 годы). В строке значения, указанные после косой черты ⁽¹⁾ и отмеченные одинаковыми буквами, не имеют статистически значимых различий при $p < 0,05$. В столбце значения, указанные после косой черты ⁽²⁾ и отмеченные одинаковыми буквами, не имеют статистически значимых различий при $p < 0,05$.

Минимальное изменение обнаружили только у очень слабовосприимчивых сортов Fb 3270, BGE 002106 и BGE 029055, где содержание белка

снизились в пределах от 6,9 до 12,0 % (6 — $F_{1,2} = 20,252$; $p < 0,016$; 7 — $F_{1,2} = 25,254$; $p < 0,001$; 8 — $F_{1,2} = 18,321$; $p < 0,052$).

Чувствительные сорта Fb 1903, Fb 1929, Fb 2486, BGE 043776 и BGE 046721 имели статистически более высокое содержание белка, чем остальные ($F_{1,2} = 8,643$; $p < 0,031$). В результате колонизации растений и активного питания тлей количество белка значительно снижалось, а потери были высокими, варьируя от 21,6 до 41,2 % ($F_{1,2} = 5,104$; $p < 0,046$). Наши исследования показали, что тля *A. fabae* предпочитала колонизировать растения, богатые белком, а снижение его количества было связано со слабым предпочтением растений тлями и значительно меньшим заселением.

О таком предпочтении также сообщалось в нескольких более ранних экспериментах. А.М. Mohamed и F.A.A. Siman (30) изучили различные сорта и разновидности фасоли на предмет их устойчивости к *Aphis craccivora* и предположили, что высокая восприимчивость (сильная колонизация) растения, возможно, связана с более высоким содержанием азота и белка в листьях и стеблях. С.С. Chaudhari с соавт. (31) сообщили, что сорта люцерны, устойчивые к *Therioaphis maculata* (Buckton), характеризовались меньшим содержанием общего хлорофилла, сырого протеина, сахара и магния. Авторы обнаружили также высокодостоверную положительную корреляцию между численностью популяции тли и содержанием химических компонентов в растениях. G. Comadira с соавт. (32) изучили сложную взаимосвязь между накоплением азота в растении и заселением тлей и обнаружили, что в листьях ячменя при дефиците азота тли-предшественники не доживали до зрелости, несмотря на наблюдаемое значительное увеличение количества свободных аминокислот.

Полученные данные выявили ключевую роль растительного белка как фактора, влияющего на численность тлей и выборе ими хозяина при колонизации растений.

При определении содержания сырой клетчатки, кальция, каротиноидов и общего количества пигментов различий между заселенными и не заселенными тлей растениями не обнаружено. Содержание этих химических компонентов у заселенных и не заселенных тлей растений было сходным по величине и не влияло на пищевые предпочтения вредителя.

Фосфор (P) важен для образования нуклеиновых кислот и фосфолипидов и необходим для энергетического метаболизма при фотосинтезе (33). При сравнительном анализе количества фосфора в непораженных растениях (см. рис., Б) было обнаружено, что Fb 3270 имеет значительно более высокое содержание P, за ним следует BGE 029055 ($F_{1,2} = 0,015$; $p < 0,009$). В тех же растениях после колонизации сохранялась тенденция к статистически более высокому содержанию фосфора ($F_{1,2} = 0,013$; $p < 0,018$), снижение содержания фосфора при поражении тлями было небольшим (соответственно 7,7 и 11,0 %). Напротив, у предпочитаемых тлей сортов Fb 1929, Fb 2486, BGE 043776 и BGE 046721 содержание фосфора как в обработанных инсектицидами, так и в необработанных растениях были значительно ниже (уменьшение показателя варьировало от 31,5 до 36,2 %). Несмотря на значительное снижение содержания фосфора у всех пораженных сортов (1 — $F_{1,2} = 0,033$; $p < 0,005$; 2 — $F_{1,2} = 0,019$; $p < 0,012$; 3 — $F_{1,2} = 0,043$; $p < 0,001$; 4 — $F_{1,2} = 0,031$; $p < 0,020$; 5 — $F_{1,2} = 0,016$; $p < 0,001$; 6 — $F_{1,2} = 0,034$; $p < 0,007$; 7 — $F_{1,2} = 0,037$; $p < 0,011$; 8 — $F_{1,2} = 0,019$; $p < 0,017$; 9 — $F_{1,2} = 0,026$; $p < 0,026$; 10 — $F_{1,2} = 0,022$; $p < 0,001$; 11 — $F_{1,2} = 0,016$; $p < 0,031$; 12 — $F_{1,2} = 0,022$; $p < 0,015$), высокое содержание P обуславливало заметно меньшую численность *A. fabae* и низкие потери от поражения тлей. Выявлена

отрицательная достоверная корреляция между численностью тлей и содержанием фосфора в растениях ($r = -0,518$; $p \leq 0,05$).

Существуют разные гипотезы о влиянии количества N и P в листьях на предпочтения насекомых-вредителей. Например, R.L. Vannette и M.D. Hunter (34) сообщили, что более высокое содержание N и P влияет на привлекательность растений для сосущих вредителей. H.A. Azouz с соавт. (35) изучили влияние минерального статуса растений на численность популяций тлей в полевых условиях. Авторы сообщили, что у восприимчивых сортов баклажанов содержание калия, натрия, кальция и фосфора снижалось, а количество фитохимических компонентов отрицательно коррелировало с численностью и распространенностью *Aphis gossypii* (Glover). S. Facknath и B. Laljee (36) пришли к выводу, что роль фосфора во взаимоотношениях хозяина и насекомых-вредителей связано с изменением спектра вторичных метаболитов растения, таких как фенолы и терпены, и накоплением фенолов, что действует как барьер, оказывая отпугивающее (антифидантное) или непосредственно токсическое (инсектицидное) действие.

Наши результаты продемонстрировали, что численность *A. fabae* значительно ниже у сортов с повышенным содержанием фосфора в листьях и сниженным — сырого протеина, что определило эти показатели как важные индикаторы предпочтительности растения для тлей в качестве кормового объекта.

Химические признаки, такие как синтез цианогенных гликозидов, определяли качество пищи, получаемой от растения-хозяина, и варьировались между сортами, по-разному влияя на развитие популяции тлей. Сорт BGE 029055 со слабым поражением тлей, за которым следовал Fb 3270, характеризовался самым высоким накоплением цианогенных гликозидов как в неколонизированных ($F_{1,2} = 0,187$; $p < 0,024$), так и в колонизированных тлей ($F_{1,2} = 0,149$; $p < 0,008$) растениях (см. рис., В). Для сортов с очень высокой и высокой восприимчивостью тенденция была обратной. В отличие от описанных выше химических компонентов, содержание которых уменьшалось после повреждения тлей, цианогенный потенциал достоверно возрастал в ответ на повреждение: 1 — $F_{1,2} = 0,443$; $p < 0,005$; 2 — $F_{1,2} = 0,336$; $p < 0,017$; 3 — $F_{1,2} = 0,428$; $p < 0,001$; 4 — $F_{1,2} = 0,424$; $p < 0,035$; 5 — $F_{1,2} = 0,215$; $p < 0,001$; 6 — $F_{1,2} = 0,320$; $p < 0,001$; 7 — $F_{1,2} = 0,308$; $p < 0,027$; 8 — $F_{1,2} = 0,456$; $p < 0,039$; 9 — $F_{1,2} = 0,259$; $p < 0,011$; 10 — $F_{1,2} = 0,272$; $p < 0,001$; 11 — $F_{1,2} = 0,215$; $p < 0,005$; 12 — $F_{1,2} = 0,177$; $p < 0,033$). Значительно более высокая инсектная нагрузка привела к сильно выраженному повышению концентрации цианогенных гликозидов (от 31,1 до 49,0 %) у высоко- и очень восприимчивых сортов в отличие от малопривлекательных. Кроме того, наблюдалась сильная достоверная отрицательная корреляция ($r = -0,729$; $p \leq 0,05$) между содержанием цианогенных гликозидов и численностью тлей.

Результаты показали, что цианогенные гликозиды могут играть центральную роль в защите против *A. fabae*, предотвращая колонизацию и снижая численность этого вида. Более значительные различия в накоплении этих соединений обусловили не только неодинаковое кормовое предпочтение у тлей, но и изменение цианогенного потенциала после повреждения. Вероятно, растения активировали свои защитные механизмы при повышении инсектной нагрузки, поскольку от нее зависела степень индукции образования цианогенных гликозидов.

Имеются неоспоримые доказательства роли цианогенных гликозидов как веществ, отпугивающих насекомых-вредителей. Согласно данным

R.M. Gleadow и B.L. Møller (37), эти соединения играют важную роль в защите растений, горький вкус которых и образуемый токсичный HCN отпугивают вредителей. Некоторые авторы сообщали, что повреждения насекомыми-вредителями индуцировали синтез цианогенных гликозидов как защитный механизм (38, 39), в то время как в других работах сообщалось о способности насекомых детоксицировать эти вещества и либо использовать их в качестве источника углерода, либо секвестрировать HCN для защиты от хищников (40).

В настоящем исследовании сорта с повышенным содержанием цианогенных гликозидов были эффективно защищены от тлей и реагировали на их присутствие небольшим увеличением количества этих соединений, в то время как в растениях, привлекательных для *A. fabae*, содержание цианогенных гликозидов сильно повышалось при колонизации вредителем, но это не защищало от атаки *A. fabae*.

Содержание хлорофилла традиционно используется в качестве индикатора интенсивности фотосинтеза и образования углеводов, производимых листом. Если повышенное содержание протеинов в растении, на котором питались тли, способствовало их росту и развитию, то углеводы обеспечивали потребность насекомых в энергии (41).

Среди незаселенных тлями сортов статистически наиболее высоким содержанием хлорофиллов $a + b$ характеризовался BGE 041470, за ним следовали Fb 3270 и BGE 043776 ($F_{1,2} = 2,310$; $p < 0,018$). У пораженных тлями сортов тенденция была иной, и лидирующее положение занимал Fb 3270, далее следовал BGE 029055 ($F_{1,2} = 1861$; $p < 0,024$) (см. рис., Г). Корреляции между численностью тлей и содержанием хлорофилла мы не обнаружили, что свидетельствует о том, что эти соединения не влияют на предпочтения *A. fabae*. Однако при колонизации и питании тлей на растениях у всех сортов отмечали достоверное снижение содержания хлорофиллов $a + b$ (1 — $F_{1,2} = 2,894$; $p < 0,047$; 2 — $F_{1,2} = 5,204$; $p < 0,001$ 3 — $F_{1,2} = 6,181$; $p < 0,031$; 4 — $F_{1,2} = 3,208$; $p < 0,033$; 5 — $F_{1,2} = 4,391$; $p < 0,001$; 6 — $F_{1,2} = 4,176$; $p < 0,017$; 7 — $F_{1,2} = 4,280$; $p < 0,015$; 8 — $F_{1,2} = 3,130$; $p < 0,001$; 9 — $F_{1,2} = 6,284$; $p < 0,036$; 10 — $F_{1,2} = 5,248$; $p < 0,040$; 11 — $F_{1,2} = 6,177$; $p < 0,023$; 12 — $F_{1,2} = 5,886$; $p < 0,042$). Наблюдаемое снижение соответствовало степени зараженности и было наиболее выражено у очень высоко восприимчивых и высоковосприимчивых сортов.

Аналогичные результаты были получены ранее. T.I. Huang с соавт. (42) и M.S. Anjali с соавт. (43) сообщили, что заражение тлей вызывало потерю хлорофилла, а степень снижения содержания пигмента зависела от плотности популяции тли и стадии роста растения. M.R. Amin с соавт. (24) сообщили, что у некоторых видов фасоли обилие тли значительно повлияло на химические признаки и привело не только к сильному снижению количества хлорофилла, но и к уменьшению содержания влаги в листьях. Отличные от наших результаты получили D.C. Munthali и A.B. Tshogofatso (41), которые изучали влияние содержания хлорофилла на численность тли у сортов *Brassica oleracea*. Они обнаружили, что при высоком содержании хлорофилла растения слабо поражались тлей. Сведения о связи между численностью популяций тли и накоплением хлорофиллов противоречивы, и вопрос требует дальнейших исследований.

Результаты регрессионного анализа полученных нами экспериментальных данных показали, что линейная составляющая в регрессии численности тлей *A. fabae* по химическим признакам изученных сортов была ста-

тистически значимой. Параметры линейной регрессии:

Дисперсионный комплекс	df	SS	MS	F-Ratio	p-value
Регрессия	5	2,73226E7	5,46452E6	15,03	0,00001
Остаток	30	1,09078E7	363594,0		
Общая	35				

Коэффициенты регрессии:

Фактор	Коэффициент	Стандартная ошибка	t-Stat	p-value
Свободный член	-8653,04	2907,290	-2,976	0,005
Высота растения	-26,133	30,273	-0,863	0,009
Содержание белка	33,958	9,175	3,701	0,001
Содержание фосфора	8471,670	4172,730	2,030	0,051
Содержание цианогенных гликозиды	-506,335	162,323	-3,119	0,004

На основе изучения комплекса признаков было получено уравнение регрессии, отражающее влияние каждого признака на вариацию химического состава:

$$Y = -8653,04 - 26,1328X_1 + 33,9578X_2 + 8471,67X_3 - 506,335X_4 + 7,65142X_5,$$

где Y — обилие *A. fabae*, X_1 — высота растения, X_2 — содержание белка, X_3 — содержание фосфора, X_4 — содержание цианогенных гликозидов, X_5 — содержание хлорофиллов а + b.

Таким образом, проведенный регрессионный анализ показал, что на заселенность растений *V. faba* тлями *A. fabae* наибольшее статистически значимое и при этом отрицательное влияние оказывали цианогенные гликозиды ($\beta = -506,3$; $p = 0,004$), за которыми следовала высота растения ($\beta = -26,1$; $p = 0,009$). Проявилось значимое положительное воздействие содержания белка ($\beta = 34,0$; $p = 0,001$), в то время как другие признаки не имели столь же существенного влияния на привлекательность растений при колонизации тлей.

Итак, при естественном заселении конских бобов *Vicia faba* свекловично-бобовая тля *Aphis fabae* появлялась на растениях при появлении первых бутонов. По мере роста и развития растений в фазу бутонизации и цветения численность вредителя пропорционально увеличивалась и достигала максимума в фазу формирования стручков. Стабильным состоянием при наименьшей плотности популяции тли выделялся сорт Fb 3270, за которым следовал BGE 029055. Они были отнесены к группе с очень низкой восприимчивостью (устойчивы к поражению тлей). Средневосприимчивыми к тле оказались сорта BGE 002106, BGE 032012 и BGE 041470. Поражение тлей заметно повлияло на морфологические и химические признаки сортов конских бобов и привело к снижению высоты растений (в среднем на 23,8 %, $p \leq 0,05$), содержания сырого протеина (в среднем на 28,2 %, $p \leq 0,05$), фосфора (в среднем на 31,0 %, $p \leq 0,05$) и хлорофиллов а + b (в среднем на 28,0 %, $p \leq 0,05$), тогда как содержание цианогенных гликозидов в ответ на поражение тлей значительно увеличилось (в среднем на 28,6 %, $p \leq 0,05$). Наблюдаемое снижение показателей зависело от обилия тлей, при этом степень уменьшения была значительно больше у очень высоковосприимчивых и высоковосприимчивых сортов (BGE 046721, BGE 043776, Fb 2486, Fb 2481, Fb 1896, Fb 1903). По цианогенным гликозидам, наоборот, отмечалось увеличение количества этих соединений с ростом популяции тли. Содержание белка и цианогенных гликозидов предлагается использовать в качестве ключевых индикаторных признаков *V. faba*, определяющих предпочтения свекловично-бобовой тли при выборе кормового растения. Содержание фосфора также может быть важным показателем для конских бобов, влияющим на предпочтения *A. fabae*, принимая во внимание отрицательную достоверную корреляцию между численностью тлей и содержанием фосфора в растениях ($r = -0,518$; $p \leq 0,05$). Сорта Fb 3270 и BGE 029055 с высоким

содержанием фосфора (соответственно 0,636 и 0,609 г/кг сухого вещества, $p \leq 0,05$) и цианогенных гликозидов (7,72 и 7,94 мг/100г сухого вещества, $p \leq 0,05$), которые при этом были низкорослыми и характеризовались низким содержанием сырого протеина (184,2 и 190,4 г/кг сухого вещества, $p \leq 0,05$), поражались тлей в значительно меньшей степени. Сорты, которые, по нашим данным, обладают значительно меньшей восприимчивостью к свекловично-бобовой тле, могут быть включены в будущие программы селекции на повышения устойчивости к *A. fabae*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Munyasa A.J. *Evaluation of drought tolerance mechanisms in Mesoamerican dry bean genotypes*. University of Nairobi, Nairobi, Kenya, 2013.
2. Béji B., Bouhachem-Boukhris S., Bouktila D., Mezghani-Khémakhem M., Rezgui S., Kharrat M., Makni M., Makni H. Identification of sources of resistance to the black bean aphid, *Aphis fabae* Scopoli, in Faba bean, *Vicia faba* L., accessions. *Journal of Crop Protection*, 2015, 4(2): 217-224.
3. Cahon T., Caillon R., Pincebourde S. Do Aphids alter leaf surface temperature patterns during early infestation? *Insects*, 2018, 9(1): 34 (doi: 10.3390/insects9010034).
4. Du J.-L., Wu D.-G., Li J.-Q., Zhan Q.-W., Huang S.-C., Huang B.-H., Wang X. Effects of aphid disoperation on photosynthetic performance and agronomic traits of different sorghum varieties. *Pakistan Journal of Botany*, 2021, 53(6): 2275-2285 (doi: 10.30848/PJB2021-6(5)).
5. Fuentes S., Tongson E., Unnithan R.R., Gonzalez Viejo C. Early detection of aphid infestation and insect-plant interaction assessment in wheat using a low-cost electronic nose (E-nose), near-infrared spectroscopy and machine learning modeling. *Sensors*, 2021, 21(17): 5948 (doi: 10.3390/s21175948).
6. Shannag H.K. Effect of black bean aphid, *Aphis fabae*, on transpiration, stomatal conductance and crude protein content of faba bean. *Annals of Applied Biology*, 2007, 151(2): 183-188 (doi: 10.1111/j.1744-7348.2007.00161.x).
7. Mawar P., Tambe A.B. Estimation of quantitative and qualitative losses due to major pests of lucerne. *Forage Research*, 2018, 44(2): 105-110.
8. Holt J., Wratten S.D. Components of resistance to *Aphis fabae* in faba bean cultivars. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1986, 40(1): 35-40 (doi: 10.1111/j.1570-7458.1986.tb02152.x).
9. Birch N. Field evaluation of resistance to black bean aphid, *Aphis fabae*, in close relatives of the Faba bean, *Vicia faba*. *Annals of Applied Biology*, 1985, 106(3): 561-556 (doi: 10.1111/j.1744-7348.1985.tb03147.x).
10. Bond D.A., Lowe H.J.B. Tests for resistance to *Aphis fabae* in field beans (*Vicia faba*). *Annals of Applied Biology*, 1975, 81(1): 21-32 (doi: 10.1111/j.1744-7348.1975.tb00491.x).
11. Esmaeili-Vardanjani M., Askarianzadeh A., Saeidi Z., Hasanshahi G., Karimi J., Nourbakhsh S. A study on common bean cultivars to identify sources of resistance against the black bean aphid, *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae). *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 2013, 46(13): 1598-1608 (doi: 10.1080/03235408.2013.772351).
12. Sillero J.C., Avila C.M., Rubiales D. Screening faba bean (*Vicia faba*) for resistance to aphids (*Aphis fabae*). In: *International Conference «Advances in grain legume breeding, cultivations and uses for a more competitive value-chain»*, Novi Sad (Serbia), 2017, 27-28 September 2017. Novi Sad, 2017: 46.
13. Meradsi F., Laamari M. Genetic resource of the resistance of *Vicia faba* L. against the black bean aphid, *Aphis fabae* Scopoli. *Journal of Agricultural Studies*, 2016, 4(2): 107-114 (doi: 10.5296/jas.v4i2.9333).
14. Golizadeh A., Abedi Z., Borzoui E., Golikhajeh N., Jafari M. Susceptibility of five sugar beet cultivars to the black bean aphid, *Aphis fabae* Scopoli (Hemiptera: Aphididae). *Neotrop. Entomol.*, 2016, 45(4): 427-432 (doi: 10.1007/s13744-016-0383-0).
15. Ismail M., Zanolli P., Muratori F., Hance T. Aphids facing their parasitoids: a first look at how chemical signals may make higher densities of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* less attractive to the parasitoid *Aphidius ervi*. *Insects*, 2021, 12(10): 878 (doi: 10.3390/insects12100878).
16. Babikova Z., Gilbert L., Randall K.C., Bruce T.J., Pickett J.A., Johnson D. Increasing phosphorus supply is not the mechanism by which arbuscular mycorrhiza increase attractiveness of bean (*Vicia faba*) to aphids. *Journal of Experimental Botany*, 2014, 65(18): 5231-5241 (doi: 10.1093/jxb/eru283).
17. Frago E., Mala M., Weldegergis B.T., Yang C., McLean A., Godfray H.C.J., Gols R., Dicke M. Symbionts protect aphids from parasitic wasps by attenuating herbivore-induced plant volatiles. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 1860 (doi: 10.1038/s41467-017-01935-0).
18. Teotia T.P.S., Lal O.P. Differential response of different varieties and strains of oleiferous

- Brassicaceae* to the aphid, *Lipaphis erysimi* (Kalt.). *Labdev Journal of Science and Technology*, 1970, 8B: 219-226.
19. AOAC. *Official methods of analysis, 18-th ed.* Association of Analytical Chemists, Gaithersburg, Maryland, 2001, USA.
 20. Sandev S. *Chemical methods for analysis of forages.* Zemizdat, Sofia, 1979 (Bg).
 21. Зеленский М.И., Могилева Г.А. *Сравнительная оценка фотосинтетической способности сельскохозяйственных растений по фотохимической активности хлоропластов.* Ленинград, 1980.
 22. Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. *Методы биохимического исследования растений. 2-е изд. /Под ред. А.И. Ермакова.* Ленинград, 1987.
 23. Biddle A.J., Cattlin N.D. *Pests, diseases and disorders of peas and beans: a color handbook.* Manson Publishing Ltd, London, 2007.
 24. Amin M.R., Sharmin M.A., Miah U., Akanda A.M., Suh S.J., Kwon Y.J., Kwon O. Aphid population abundance and pestiferous effect on various bean plant species. *Entomological Research*, 2020, 50(6): 257-266 (doi: 10.1111/1748-5967.12432).
 25. Mamun M.S.A., Ali M.H., Ferdous M.M., Rahman M.A., Hossain M.A. Assessment of several mustard varieties resistance to mustard aphid, *Lipaphis erysimi* (Kalt.). *J. Soil Nature*, 2010, 4(1): 34-38.
 26. Dwivedi S.A., Singh R.S., Gharde S.K., Raut A.M., Tomer A. The screening of mustard varieties resistance against mustard aphid *Lipaphis erysimi* Kalt. *Plant Archives*, 2019, 19: 1167-1172.
 27. Aldawood A.S., Soffan A. Biology and demographic growth parameters of cowpea aphid (*Aphis craccivora*) on faba bean (*Vicia faba*) cultivars. *Journal of Insect Science*, 2014, 14(1): 120 (doi: 10.1093/jis/14.1.120).
 28. Khan I.A., Ahmad M., Hussain S., Akbar R., Saeed M., Farid A., Ali Shah R., Fayaz W., Ud Din M.M., Shah B., Naeem M. A study on correlation between aphid density and loss in yield components of 12 *Brassica* genotypes under screen house conditions. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2015, 3(6): 29-33.
 29. Lebbal S. *Contribution to the study of natural resistance of the broad bean, Vicia faba L. against the cowpea aphid, Aphis craccivora (Homoptera: Aphididae).* Master degree thesis in Plant protection. The University of Batna. Algeria, 2010 (in French).
 30. Mohamed A.M., Siman F.A.A. Susceptibility of some broad bean varieties to natural infestation with *Aphis craccivora* Koch and *Liriomyza trifolii* Burgess at Upper Egypt. *Assiut Journal of Agricultural Sciences (Egypt)*, 2003, 32(1): 167-173.
 31. Chaudhari C.J., Patel C.C., Kher H.R., Parmar H.P. Resistance to aphid, *Therioaphis maculata* (Buckton) in lucerne. *Indian Journal of Entomology (India)*, 2013, 75(1): 68-71.
 32. Comadira G., Rasool B., Karpinska B., Morris J., Verrall S.R., Hedley P.E., Foyer C.H., Hancock R.D. Nitrogen deficiency in barley (*Hordeum vulgare*) seedlings induces molecular and metabolic adjustments that trigger aphid resistance. *Journal of Experimental Botany*, 2015, 66(12): 639-665 (doi: 10.1093/jxb/erv276).
 33. Wang C., Baoliang T., Zhenzhen Y., Jianqing D. Effect of different combinations of phosphorus and nitrogen fertilization on arbuscular mycorrhizal fungi and aphids in wheat. *Insects*, 2020, 11(6): 365 (doi: 10.3390/insects11060365).
 34. Vannette R.L., Hunter M.D. Mycorrhizal fungi as mediators of defense against insect pests in agricultural systems. *Agricultural and Forest Entomology*, 2009, 11: 351-358 (doi: 10.1111/j.1461-9563.2009.00445.x).
 35. Azouz H.A., Yassin E.M.A., El-Sanady M.A., Abou-Zaid A.M. Field and laboratory studies on three eggplant cultivars to evaluate their relative susceptibility to some piercing sucking pests with relation of leaf constituents. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 2014, 5(11): 995-1005.
 36. Facknath S., Lalljee B. Effect of soil-applied complex fertilizer on an insect—host plant relationship: *Liriomyza trifolii* on *Solanum tuberosum*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 2005, 15(1): 67-77 (doi: 10.1111/j.1570-7458.2005.00288.x).
 37. Gleadow R.M., Møller B.L. Cyanogenic glycosides: synthesis, physiology, and phenotypic plasticity. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 2014, 65: 155-185 (doi: 10.1146/annurev-arplant-050213-040027).
 38. Irmisch S., Clavijo McCormick A., Günther J., Schmidt A., Boeckler G.A., Gershenzon J., Unsicker S.B., Köllner T.G. Herbivore-induced poplar cytochrome P450 enzymes of the CYP71 family convert aldoximes to nitriles which repel a generalist caterpillar. *Plant J.*, 2014, 80(6): 1095-1107 (doi: 10.1111/tpj.12711).
 39. Chunming B., Yifei L., Xiaochun L. The application of secondary metabolites in the study of sorghum insect resistance. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2018, 128: 012169 (doi: 10.1088/1755-1315/128/1/012169).
 40. Jeschke V., Gershenzon J., Vassao D.G. A mode of action of glucosinolate-derived isothiocyanates: Detoxification depletes glutathione and cysteine levels with ramifications on protein metabolism in *Spodoptera littoralis*. *Insect Biochem. Mol. Biol.*, 2016, 71: 37-48 (doi: 10.1016/j.ibmb.2016.02.002).

41. Munthali D.C., Tshегоfatso A.B. Factors affecting abundance and damage caused by cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* on four brassica leafy vegetables: *Brassica oleracea* var. *Acephala*, *B. chinense*, *B. napus* and *B. carinata*. *The Open Entomology Journal*, 2014, 28: 1-9.
42. Huang T.I., Reed D.A., Perring T.M., Palumbo J.C. Feeding damage by *Bagradahilaris* (*Hemiptera: Pentatomidae*) and impact on growth and chlorophyll content of Brassicaceous plant species. *Arthropod-Plant Interactions*, 2014, 8: 89-100 (doi: 10.1007/s11829-014-9289-0).
43. Anjali M.S., Sridevi G., Prabhakar M., Laxmi N.J. Changes in chlorophyll content of sorghum infested with corn leaf aphid, *Rhopalosiphum maidis* (FITCH) (*Homoptera: Aphididae*). *Progressive Research — an International Journal*, 2017, 12(Special-I): 814-817.

Institute of Forage Crops,
ul. Gen. Vladimir Vazov 89
5800 Pleven,
e-mail: imnikolova@abv.bg ✉

Поступила в редакцию
24 марта 2022 года

Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2023, V. 58, № 1, pp. 142-157

SENSITIVITY OF FABA BEAN (*Vicia faba* L.) CULTIVARS TO *Aphis fabae* Scopoli INFESTATION AND PLANT PARAMETERS RESPONSIBLE FOR LOW SUSCEPTIBILITY TO THE PEST

I. Nikolova ✉

Institute of Forage Crops, 89, Gen. Vladimir Vazov street, 5800 Pleven, Bulgaria, e-mail: imnikolova@abv.bg (✉ corresponding author)

ORCID:

Nikolova I. orcid.org/0000-0001-8109-3058

The author declares no conflict of interests

Final revision received March 24, 2022

Accepted September 09, 2022

doi: 10.15389/agrobiology.2023.1.142eng

Abstract

The most economically significant pest of *Vicia faba* L. beans is the bean aphid *Aphis fabae* Scopoli (*Hemiptera, Homoptera: Aphididae*). The use of varieties resistant to various aphid species can increase the production of this crop, reduce environmental pollution and the cost of monitoring the condition of crops. It is known about the relationship between the degree of damage by aphids and the morphological features of the plant, however, information on chemical changes during damage by aphids and the role of chemical factors in sensitivity to *A. fabae* is ambiguous. In the present work, for 12 varieties of *V. faba* from the collection of the Institute of Forage Crops (Pleven), it was shown for the first time that the *A. fabae* infestation led to a decrease in plant height, crude protein, phosphorus, and chlorophyll a + b while the amount of cyanogenic glycosides increased significantly. Therefore, the aim of the present study was to assess the sensitivity of faba bean cultivars to *Aphis fabae* and to define the morphological and chemical parameters responsible for low aphid susceptibility. The field study was carried out at the Institute of Forage Crops (Pleven, 2016-2018) in the experiment laid out in Randomized Block Design (RBD). The infestation was assessed by recording the number of aphids per plant at the stages of budding, flowering and bean formation ($n = 20$, $N = 3$), resistance or susceptibility of plants was classified using a 0-12-point scale. The chemical composition (the content of crude protein, phosphorus, chlorophyll a, chlorophyll b, cyanogenic glycosides) was determined by standard methods (Weende system analysis). It was found that aphids reached the highest abundance at the stage of pod formation. Cultivars Fb 3270 and BGE 029055 were defined as very low susceptible to aphids, while BGE 002106, BGE 032012 and BGE 041470 were medium susceptible. Aphid infestation significantly affected the morphological and chemical traits of cultivars and led to a reduction of the plant height, crude protein, phosphorus and chlorophyll a + b content, while cyanogenic glycosides significantly increased in response to aphid injury. The extent of the decrease in chemical parameters and plant height depends on the aphid abundance, being significantly higher in very high susceptible and high susceptible cultivars. On the contrary, cyanogenic glycosides increase with an increase in the aphid abundance. Thereof, the levels of crude protein, phosphorus and cyanogenic glycosides can serve as key factors indicative of the aphid preference. Cultivars Fb 3270 and BGE 029055 with higher phosphorus and cyanogenic glycosides, lower crude protein, and shorter plants had significantly lower aphid infestations. Therefore, these varieties are significantly less susceptible to *A. fabae* than other varieties and can be involved in breeding programs to improve plant resistance to *A. fabae*.

Keywords: *Aphis fabae*, feed preferences, faba bean cultivars, susceptibility, morphological traits, chemical traits.