

Таблица 3 – Коэффициенты детерминации (R^2 двух) между количественными морфометрическими признаками гибридов корнишонного огурца

Признак	ДС	ПЛ	ДП	ДП ₁
ВР	0,135	0,460	0,001	0,128
ДС	–	0,138	0,064	0,050
ПЛ	–	–	0,071	0,255
ДП	–	–	–	0,154
ДП ₁	–	–	–	–

Примечание – ВР – высота растения, ДС – диаметр стебля, ПЛ – площадь листьев, ДП – длина плода зеленца, ДП₁ – диаметр плода.

вают насколько один признак зависит от другого. Так, площадь листьев одного растения гибрида огурца на 46 % зависит от высоты растения ($R^2 = 0,460$), диаметр плода огурца на 25,5 % зависит от площади листьев ($R^2 = 0,255$). Практически длина плода не зависит от высоты растения, диаметра стебля и площади листьев (таблица 3).

Заключение

В процессе изучения коллекции гибридов корнишонного огурца установлена высокая степень корреляционной зависимости между высотой растения огурца и общей площадью листьев одного растения, которая в дальнейшем определяет уровень урожайности.

Расчеты коэффициентов детерминации между количественными признаками показали, что площадь листьев растения огурца на 46 % зависит от высоты растения, а диаметр плода огурца на 25,5 % зависит от площади листьев.

Литература

1. Белик, В. Ф. Комплекс агротехнических приемов, обеспечивающих ранние и высокие урожаи огурцов в нечерноземной

зоне / В. Ф. Белик, Г. П. Шульцев, И. П. Соломина // Науч. труды. Овощеводство открытого и защищенного грунта. – М., 1973. – Т. 4. – С. 16–22.

2. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студ. высших с.-х. учеб. завед. По агроном. спец. / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. Методика полевого опыта в овощеводстве и бахчеводстве / Науч.-исслед. ин-т овощного хоз-ва МСХ РСФСР, Укр. науч.-исслед. ин-т овощеводства и бахчеводства; под ред. В. Ф. Белика, Г. Л. Бондаренко. – М., 1979. – 210 с.
4. Пивоваров, В. Ф. Селекция и семеноводство овощных культур / В. Ф. Пивоваров. – М.: 1999. – Т. 1. – 290 с.
5. Прокоров, И. А. Селекция и семеноводство овощных культур / И. А. Прокоров, А. В. Крючков, В. А. Комиссаров. – М.: Колос, 1997. – 470 с.
6. Степура, М. Ф. Основные направления развития овощеводства защищенного грунта / М. Ф. Степура // Овощеводство на рубеже третьего тысячелетия: тез. докл. конф. – Минск, 2000. – С. 92–94.
7. Хлебородов, А. Я. Изменчивость и корреляции количественных признаков для селекции огурца открытого грунта / А. Я. Хлебородов // Овощеводство: сб. науч. тр. / Институт овощеводства; редкол.: А. А. Аутко (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2010. – Т. 17. – С. 223–226.
8. Шмидт, В. И. Математические методы в ботанике / В. И. Шмидт. – Л.: ЛГЦ, 1984. – 288 с.

УДК 634.739.3:736(476)

Влияние интенсивности светодиодного освещения на состояние протеинового комплекса микрозелени гороха овощного

А. М. Пашкевич, зав. лабораторией, А. И. Чайковский, кандидат с.-х. наук
Институт овощеводства

Ж. А. Рупасова, доктор биологических наук, П. Н. Белый, кандидат биологических наук,
В. С. Задаля, научный сотрудник
Центральный ботанический сад НАН Беларуси

В. И. Домаш, доктор биологических наук, О. А. Иванов, кандидат биологических наук,
А. А. Строгова, научный сотрудник
Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси

(Дата поступления статьи в редакцию 21.07.2022)

Приведены результаты исследования электрофореграмм основных фракций белковых соединений микрозелени гороха овощного при интенсивности светодиодного освещения 50, 100, 150, 200 и 250 мкМ/м² сек, выявившего отчетливо выраженную гетерогенность их состава с присутствием компонентов с различным молекулярным весом и отсутствие существенного влияния исследуемого фактора на количественные и качествен-

The results of the study of electrophoregrams of the main fractions of protein compounds of vegetable pea microgreens under the intensity of LED illumination of 50, 100, 150, 200 and 250 μm/m² sec, which revealed a clearly pronounced heterogeneity of their composition with the presence of components with different molecular weights and the absence of a significant effect of the studied factor on quantitative and qualitative characteristics of the profiles

ные характеристики профилей альбуминов, глобулинов и глутаминов при наличии зависимости от него белковых профилей проламинов. Показано, что наиболее благоприятные условия для создания в микрозелени гороха обширных запасов белка обеспечивала интенсивность светодиодного освещения, равная 50 и в большей степени 100 мкМ/м²сек, тогда как наиболее эффективное производство растворимых компонентов протеинового комплекса протекало только при его интенсивности 200 мкМ/м² сек.

Введение

В связи со значительным увеличением в последние годы у населения республики спроса на продукцию микрозелени овощных культур, в том числе гороха овощного, как источника широкого спектра полезных веществ, особую актуальность обретает совершенствование технологии ее производства, направленное на улучшение продукционных и качественных показателей. Общеизвестно, что важнейшую роль при выращивании микрозелени в контролируемых условиях защищенного грунта играет световой режим, одной из основных характеристик которого является интенсивность светового потока. С целью определения ее оптимальных параметров в 2022 г. в РУП «Институт овощеводства» был проведен производственный эксперимент с использованием ряда режимов светодиодного освещения при выращивании этой культуры. Поскольку в метаболизме гороха овощного преобладание синтеза белковых соединений, значительный научный и практический интерес представляло исследование влияния интенсивности светодиодного освещения на протеиновый комплекс микрозелени, в том числе на основные его компоненты, представленные растворимыми (альбуминами), солерастворимыми (глобулинами), щелочерастворимыми (глутелинами) и спирторастворимыми (проламинами) белками.

Методика и объекты исследований

Исследования выполнены в рамках производственного эксперимента в условиях светокультуры при выращивании микрозелени гороха овощного (сорт Павлуша) с использованием светодиода (FLORA LED 300/2/4 производства РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси») при интенсивности освещения – 50, 100, 150, 200 и 250 мкМ/м² сек (мкМ/м² сек). В качестве контроля было принято значение интенсивности освещения, равное 200 мкМ/м² сек, рекомендуемое Институтом Гипронисельпром Министерства сельского хозяйства РФ в качестве оптимального для зеленных и рассады ряда овощных культур.

В образцах микрозелени гороха определяли общее содержание протеинов методами формольного и потенциометрического титрования с введением поправочных коэффициентов [4] и предварительным проведением гидролиза белков в соответствии с протоколами прободготовки образцов для аминокислотного анализа [2]. Определение белкового состава микрозелени гороха осуществляли электрофоретическим методом (ПААГ-электрофорез) [9]. Содержание альбуминов (растворимых белков) определяли по методу [8]. Выделение их из 3 г сырого растительного материала,

of albumins, globulins and glutamines in the presence of dependence on it of protein profiles of prolamins. It was shown that the most favorable conditions for the creation of total protein reserves in pea microgreens were provided by the intensity of LED illumination equal to 50 and to a greater extent 100 μm/m² sec, while the most efficient production of soluble components of the protein complex proceeded only at its intensity of 200 μm/m² sec.

предварительно растертого в жидком азоте, проводили с использованием в качестве экстрагента 15 мл 0,1 М NaCl при температуре +4 °С в течение 2 час. при постоянном помешивании. Калибровочную кривую для количественного определения данных белков в исследуемых образцах строили по БСА (бычьему сывороточному альбумину) в концентрации от 10 до 500 мкг/мл. Выделение общего белка для получения электрофоретического спектра проводили по методу [7], а выделение альбуминов, глобулинов, глутелинов и проламинов – по методам, представленным в работе [4]. Для выполнения ПААГ-электрофореза выделенные фракции белков осаждали ацетоном при температуре –20 °С в течение 15 час., осадок подсушивали и растворяли в 6М мочеvine.

Все измерения и определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований [5] с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 [1].

Результаты исследований и их обсуждение

Поскольку горох овощной является культурой с преобладанием в метаболизме синтеза белковых соединений, значительный научный и практический интерес представляло исследование влияния интенсивности светодиодного освещения на протеиновый комплекс микрозелени, в том числе на основные его компоненты, представленные растворимыми (альбуминами), солерастворимыми (глобулинами), щелочерастворимыми (глутелинами) и спирторастворимыми (проламинами) белками. Наиболее важную физиологическую роль в организме человека играют альбумины, которые благодаря высокой адсорбционной способности связывают многие токсичные соединения – алкалоиды, тяжелые металлы, билирубин, а также обеспечивают поддержание осмотического давления крови. Наряду с альбуминами, широким распространением пользуются обычно сопутствующие им глобулины, представленные в горохе белком ле-гумином и выполняющие в человеческом организме в основном питательную, защитную и транспортную функции. Промежуточное положение между глобулинами и проламинами занимают белки растительного происхождения глутелины, играющие важную роль в питании человека и характеризующиеся высоким содержанием аминокислот пролина и глутаминовой кислоты. Еще одним представителем простых белков являются проламины, обычно содержащиеся в клейковине семян злаковых растений, где выполняют роль запасных белков. Поскольку они практически отсутствуют в бобовых культурах, то не следовало ожидать присутствия их

в заметных количествах в микрозелени гороха, но тем не менее в своих исследованиях мы уделили внимание и этой группе белковых соединений [3, 6].

Результаты определения спектра альбуминов, глобулинов, глютелинов и проламинов в образцах микрозелени гороха при разной интенсивности светодиодного освещения представлены на рисунках 1–4.

В соответствии с результатами электрофореза, альбуминовая фракция исследуемых образцов представлена гетерогенным набором белков с разной молекулярной массой, варьирувавшейся в диапазоне 10–116 кДа (рисунок 1). При этом для данной фракции не выявлено существенных межвариантных различий белковых профилей, и лишь в вариантах опыта с интенсивностью освещения 100 и 250 мкм/м² сек установлено отсутствие белковых зон с молекулярной массой ~80 кДа.

Как следует из рисунка 2, фракция глобулинов в исследуемых образцах микрозелени гороха представлена набором белков с молекулярной массой от 14 до 85 кДа при отсутствии заметных межвариантных различий белковых профилей. Тем не менее нельзя не обратить внимания на более высокое содержание глобулинов с молекулярным весом 65–66 кДа в контроле (200 мкм/м² сек) по сравнению с другими вариантами опыта. Наряду с этим при интенсивности освещения 50 мкм/м² сек обнаружено минимальное количество либо полное отсутствие глобулинов с молекулярной массой 45 кДа.

Что касается глютелинов, выделенных из исследуемых образцов, то результаты электрофореза не выявили существенных межвариантных различий ни по количественным, ни по качественным характеристикам данной фракции протеинов, и лишь при интенсивности освещения 50 мкм/м² сек содержание щелочерастворимых белков с молекулярной массой около 50 кДа заметно уступало таковому в других вариантах опыта (рисунок 3).

В отличие от предыдущих фракций белков наиболее выразительные межвариантные различия белковых профилей обнаружены во фракции проламинов.

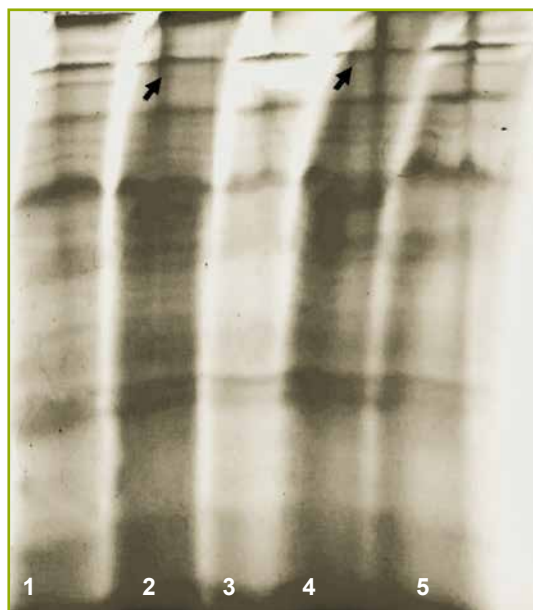


Рисунок 1 – Электрофореграмма альбуминов в микрозелени гороха овощного при интенсивности светодиодного освещения в мкм/м² сек:
1 – 200 (контроль), 2 – 50, 3 – 100, 4 – 150, 5 – 250

Анализ электрофореграммы последних (рисунок 4) показал, что спирторастворимые белки в исследуемых образцах представлены 3–4 белковыми зонами – низкомолекулярными белками с молекулярной массой 8 и 10 кДа (нижняя часть спектра) и белками с ее значениями в области 80–85 кДа (верхняя часть спектра). Применение интенсивности светодиодного освещения 100 и 200 мкм/м² сек способствовало исчезновению из белковых профилей проламинов с молекулярной массой 8 кДа, а при максимальном воздействии данного фактора (250 мкм/м² сек) в их спектре уже не наблюдалось присутствия белковых зон с молекулярной массой 80–85 кДа. Это позволяет сделать вывод, что на фоне преимущественного отсутствия значимых межвариантных различий профилей основных фракций растворимых белков в микрозелени гороха наиболее выраженной зависимостью от интенсивности светодиодного освещения характеризовались белковые профили проламинов.

В исследуемых образцах микрозелени данной культуры было обнаружено весьма высокое содержание наиболее ценной усвояемой части белковых соединений – водорастворимых белков (альбуминов), варьирувавшееся в рамках эксперимента в мг/г сухой массы в диапазонах 59,9–143,0 и 19,7–38,8 при изменении содержания глобулинов, глютелинов и проламинов в диапазонах 11,1–18,0, 4,7–6,8 и 2,0–8,4 мг/г сухой массы соответственно (таблица 1). Обращает на себя внимание существенное влияние исследуемого фактора на накопление в микрозелени гороха не только общего протеина, но и отдельных фракций белковых соединений. При этом только на фоне интенсивности освещения 50 и 100 мкм/м² сек установлено увеличение общего количества белка на 11 и 21 % по сравнению с контролем, тогда как в вариантах опыта с интенсивностью 150 и 250 мкм/м² сек обнаружен обратный эффект – отставание от последнего на 36–50 %, прогрессирующее по мере усиления данного воздействия (таблица 2).

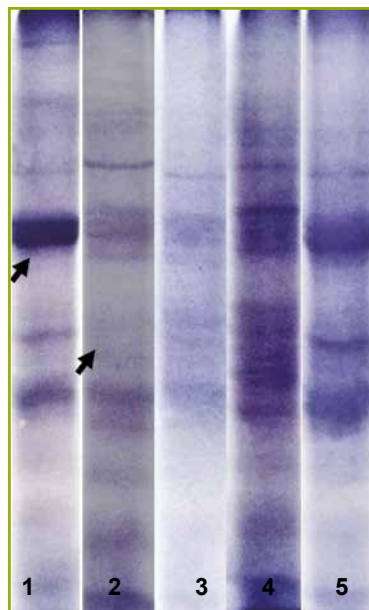


Рисунок 2 – ПААГ-электрофореграмма глобулинов в микрозелени гороха овощного при интенсивности светодиодного освещения в мкм/м² сек:
1 – 200 (контроль), 2 – 50, 3 – 100, 4 – 150, 5 – 250

Что касается ответной реакции на него отдельных компонентов протеинового комплекса микрозелени гороха, то во всех без исключения тестируемых вариантах опыта наблюдалось выраженное в разной степени преимущественное ингибирование их биосинтеза по сравнению с контролем – на 41–49 % альбуминов,

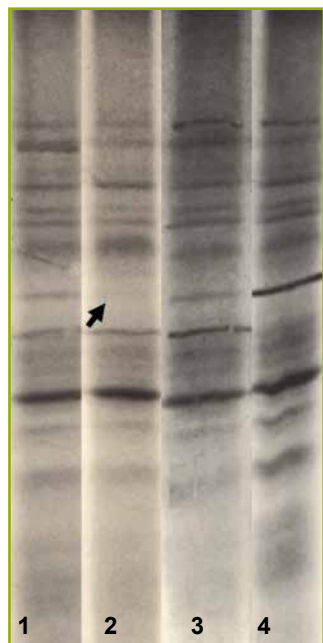


Рисунок 3 – ПААГ-электрофореграмма глютелинов в микрозелени гороха овощного при интенсивности светодиодного освещения в мкМ/м² сек: 1 – 200 (контроль), 2 – 50, 3 – 100, 4 – 150, 5 – 250

28–38 % глобулинов, 7–19 % глютелинов и на 43–76 % проламинов. Это позволяет заключить, что интенсивность светодиодного освещения, равная 50 и в большей степени 100 мкМ/м² сек, обеспечивала наиболее благоприятные условия для создания в микрозелени гороха общих запасов белка, тогда как наиболее эффек-

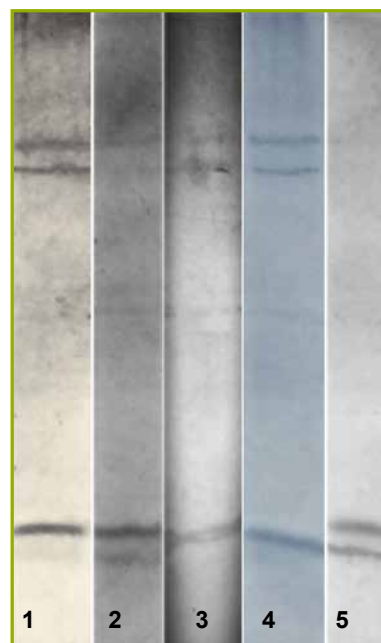


Рисунок 4 – ПААГ-электрофореграмма проламинов в микрозелени гороха овощного при интенсивности светодиодного освещения в мкМ/м² сек: 1 – 200 (контроль), 2 – 50, 3 – 100, 4 – 150, 5 – 250

Таблица 1 – Содержание компонентов белкового комплекса в сухом веществе микрозелени гороха овощного при разной интенсивности светодиодного освещения

Интенсивность освещения, мкМ/м ² сек	Содержание компонентов белкового комплекса, мг/г									
	общее содержание протеинов		растворимые белки (альбумины)		солеорастворимые белки (глобулины)		щелочерастворимые белки (глютелины)		спирторастворимые белки (проламины)	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t
200 (контроль)	118,5 ± 1,2		38,8 ± 1,9		18,0 ± 1,0		5,8 ± 0,1		8,4 ± 0,3	
50	131,8 ± 1,9	6,0*	19,7 ± 0,5	-9,6*	11,9 ± 0,8	-4,8*	4,8 ± 0,1	-5,2*	3,4 ± 0,3	-11,5*
100	143,0 ± 2,6	8,7*	20,3 ± 0,7	-9,1*	11,1 ± 1,1	-4,7*	6,8 ± 0,2	5,2*	2,0 ± 0,1	-18,0*
150	76,4 ± 0,7	-30,7*	21,9 ± 0,8	-8,1*	13,0 ± 0,6	-4,4*	5,4 ± 0,1	-2,6	2,1 ± 0,2	-16,8*
250	59,9 ± 0,3	-48,5*	23,0 ± 0,6	-7,8*	11,3 ± 0,3	-6,4*	4,7 ± 0,1	-6,7*	4,8 ± 0,3	-8,0*

Примечание – *Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при p < 0,05.

Таблица 2 – Относительные различия с контролем вариантов опыта с разной интенсивностью светодиодного освещения по содержанию компонентов белкового комплекса в сухом веществе микрозелени гороха овощного

Показатель	Относительные различия с контролем по содержанию компонентов белкового комплекса, %			
	интенсивность освещения, мкМ/м ² сек			
	50	100	150	250
Общий белок	+11,2	+20,7	-35,5	-49,5
Альбумины	-49,2	-47,7	-43,6	-40,7
Глобулины	-33,9	-38,3	-27,8	-37,2
Глютелины	-17,2	+17,2	-6,9	-19,0
Проламины	-59,5	-76,2	-75,0	-42,9

Примечание – Прочерк означает отсутствие статистически значимых по t-критерию Стьюдента различий с контролем при P < 0,05.

тивное продуцирование его растворимых компонентов протекало только в контрольном варианте опыта при интенсивности освещения 200 мкм/м² сек.

Выводы

1. На основании анализа электрофореграмм основных фракций белковых соединений микрорзелени гороха овощного при интенсивности светодиодного освещения 50, 100, 150, 200 и 250 мкм/м² сек выявлена отчетливо выраженная гетерогенность их состава с присутствием компонентов с различным молекулярным весом. При этом установлено отсутствие существенного влияния исследуемого фактора на количественные и качественные характеристики профилей альбуминов, глобулинов и глютаминов при наличии зависимости от него белковых профилей проламинов.

2. Показано, что наиболее благоприятные условия для создания в микрорзелени гороха общих запасов белка обеспечивала интенсивность светодиодного освещения, равная 50 и в большей степени 100 мкм/м² сек, тогда как наиболее эффективное продуцирование его растворимых компонентов протекало только при его интенсивности 200 мкм/м² сек.

Литература

1. Боровиков, В. П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере / В. П. Боровиков. – СПб., 2001. – 656 с.
2. Корма, комбикорма. Метод определения содержания аминокислот: ГОСТ 32195–2013. – Введ. 01.07.2015. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 23 с.
3. Кретович, В. Л. Биохимия растений / В. Л. Кретович. – М., 1986. – 503 с.
4. Петров, К. П. Метод формольного титрования со смешанными индикаторами / К. П. Петров // Методы биохимии растительных продуктов. – Киев, 1978. – С. 16–18.
5. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М.: Академия, 2009. – 320 с.
6. Хельдт, Г. В. Биохимия растений / Г. В. Хельдт; пер. с англ. – М.: Лаборатория знаний, 2014. – 471 с.
7. A universal and rapid protocol for protein extraction from recalcitrant plant tissues for proteomic analysis / W. Wang [et al.] // Electrophoresis. – 2006. – Vol. 27. – P. 2782–2786.
8. Bradford, M. M. Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding / M. M. Bradford // Anal. Biochem. – 1976. – Vol. 8. – P. 248–254.
9. Laemmli, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4 / U. K. Laemmli // Nature. – 1970. – Vol. 227. – P. 680–685.

САМЕРСОВ ВИЛОР ФРИДМАНОВИЧ

(к 85-летию со дня рождения)

24 июля 2022 г. исполнилось 85 лет со дня рождения Самерсова Вилора Фридмановича, основоположника интегрированных систем защиты растений от вредителей, болезней и сорной растительности в Беларуси, член-корреспондента Российской Академии сельскохозяйственных наук, академика Академии аграрных наук Республики Беларусь, доктора сельскохозяйственных наук, профессора, заслуженного деятеля науки.

Творческий путь ученого начался **в 1960 г.** после окончания Ленинградского сельскохозяйственного института в должности младшего научного сотрудника Славгородской селекционно-опытной станции в Алтайском крае. **В 1967 г.** Вилор Фридманович защитил кандидатскую диссертацию в Институте зоологии Академии наук БССР. Затем как сложившийся ученый в области защиты растений **в 1971 г.** был приглашен на работу в Белорусский институт защиты растений, где возглавил отдел по разработке комплексных систем защиты растений. **В 1974 г.** Вилор Фридманович был назначен заместителем директора, **в 1978 г.** – директором Белорусского научно-исследовательского института защиты растений, которым руководил более 20 лет.

На должности руководителя института В. Ф. Самерсов проявил талант организатора науки, инициатора новых идей и смелых решений. Вилор Фридманович возглавил работу по координации защиты растений в Беларуси и странах Прибалтики, входивших в состав Западного отделения ВАСХНИЛ, организовывал сотрудничество с институтами по защите растений в странах ближнего и дальнего зарубежья. За

