

ПРИЛОЖЕНИЯ

к статье О.А. Орловской, С.И. Вакулы, К.К. Яцевич, Л.В. Хотылевой, А.В. Кильчевского
«Влияние генов *NAM-1* на содержание белка в зерне и показатели продуктивности у линий мягкой пшеницы с интрогрессиями чужеродного генетического материала в условиях Беларуси»

Приложение 1

Список интрогрессивных линий пшеницы, использованных в работе

Комбинация скрещивания	Линия
<i>T. dicoccoides</i> × Фестивальная	11-1
	13-3
	15-7-1
	15-7-2
	16-5
Рассвет × <i>T. dicoccoides</i> к-5199	29
Саратовская 29 × <i>T. dicoccoides</i>	8
<i>T. dicoccut</i> к-45926 × Фестивальная	1-3
	2-7
Pitic S62 × <i>T. dicoccut</i> к-45926	206-2
	208-3
	213-1
<i>T. durum</i> × Белорусская 80	221-1
	226-7
<i>T. kiharae</i> × Саратовская 29	19
	20-1
	25-2
<i>T. kiharae</i> × Фестивальная	28
	34-1
	34-2
<i>T. spelta</i> к-1731 × Рассвет	1-8
<i>T. spelta</i> к-1731 × Саратовская 29	7

Приложение 2
Метеонаблюдения за май-август 2017–2021 гг. в регионе г. Минск (Беларусь):
широта 53.96; долгота 27.70; высота над уровнем моря 231 м

Месяц/год	Температура воздуха, °С		Сумма активных температур (>10 °С)	Осадки, мм		Гидротермический коэффициент, мм/°С
	средняя	отклонение от климатической нормы		Сумма	% климатической нормы	
2017						
Май	13.1	−0.2	381.1	28	43	0.4
Июнь	16.4	0	481.3	53	82	1.1
Июль	17.6	−0.9	546.3	150	168	2.8
Август	18.8	1.3	583.2	83	121	1.4
2018						
Май	17.4	4.1	540	53	82	1
Июнь	17.7	1.3	532.2	46	52	0.9
Июль	19.6	1.1	608.5	169	189	2.8
Август	20.1	2.6	623.9	59	86	0.9
2019						
Май	13.8	0.5	358.2	70	107	0.7
Июнь	20.3	3.9	608.1	55	61	0.9
Июль	16.5	−2.0	510.9	120	135	2.4
Август	17.0	−0.5	527.7	91	134	1.7
2020						
Май	10.4	−2.9	234	52	80	1.4
Июнь	19.7	3.2	578.2	134	148.9	2.3
Июль	18.2	−0.3	569.9	68	76.4	1.2
Август	18.6	1.1	545.3	61.9	87	1.1
2021						
Май	11.5	−1.9	288.4	113	171	0.6
Июнь	19.2	2.8	575.7	84	107	1.2
Июль	21.9	3.4	679.9	41	43	0.6
Август	16.9	−0.6	507.9	74	104	1.5

Примечание. Сумма активных температур – показатель, характеризующий количество тепла и выражающийся суммой средних суточных температур воздуха выше 10 °С. Гидротермический коэффициент Селянинова – характеристика уровня влагообеспеченности территории, значения которого определяются по формуле: $ГТК = P / 0.1 \cdot T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1), где $T > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ – сумма средних суточных температур воздуха за период с температурами воздуха выше 10 °С; P – количество осадков за тот же период в мм.

Приложение 3
Аллельный состав генов *NAM-A1* и *NAM-B1* у интрогрессивных линий пшеницы и их родительских форм

Генотип	Линия	Гаплотип <i>NAM-A1</i>	Аллель <i>NAM-B1</i>
Рассвет		<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
Саратовская 29		<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
Фестивальная		<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
Белорусская 80		<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
Pitic S62		<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
Chinese Spring		<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
<i>T. dicoccut</i> к-45926		<i>NAM-A1a</i>	Дикий
<i>T. dicoccoides</i>		<i>NAM-A1a</i>	Дикий
<i>T. dicoccoides</i> к-5199		<i>NAM-A1a</i>	Дикий
<i>T. durum</i>		<i>NAM-A1a</i>	Не определен
<i>T. kiharae</i>		<i>NAM-A1a</i>	Дикий
<i>T. spelta</i> к-1731		<i>NAM-A1c</i>	Дикий
<i>T. dicoccoides</i> × Фестивальная	11-1	<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
	13-3	<i>NAM-A1a</i>	Дикий
	15-7-1	<i>NAM-A1a</i>	Дикий
	15-7-2	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
	16-5	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
Рассвет × <i>T. dicoccoides</i> к-5199	29	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
Саратовская 29 × <i>T. dicoccoides</i>	8	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
<i>T. dicoccut</i> к-45926 × Фестивальная	1-3	<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
	2-7	<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
Pitic S62 × <i>T. dicoccut</i> к-45926	206-2	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
	208-3	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
	213-1	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
<i>T. durum</i> × Белорусская 80	221-1	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
	226-7	<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
<i>T. kiharae</i> × Саратовская 29	19	<i>NAM-A1d</i>	Дикий
	20-1	<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
	25-2	<i>NAM-A1d</i>	Дикий
<i>T. kiharae</i> × Фестивальная	28	<i>NAM-A1a</i>	Мутантный
	34-1	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
	34-2	<i>NAM-A1d</i>	Мутантный
<i>T. spelta</i> к-1731 × Рассвет	1-8	<i>NAM-A1c</i>	Мутантный
<i>T. spelta</i> к-1731 × Саратовская 29	7	<i>NAM-A1c</i>	Дикий

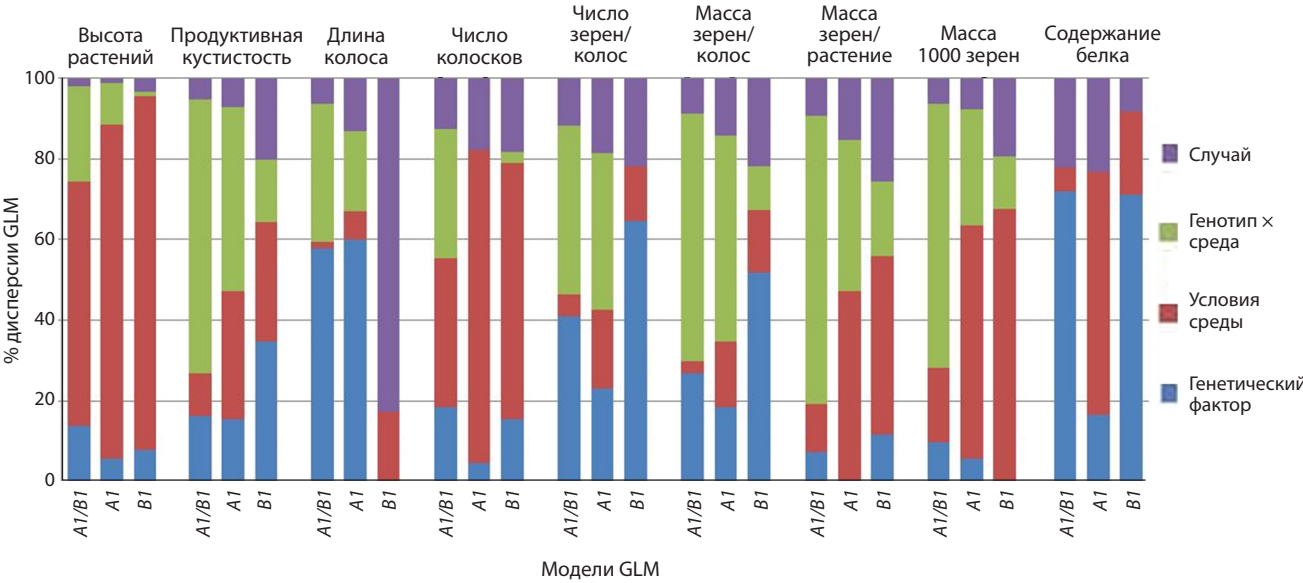
Приложение 4

Общие линейные модели (GLM) зависимости признаков интрогрессивных линий пшеницы и их родительских форм от аллельных полиморфизмов в генах *NAM-A1*, *NAM-B1*, погодно-климатических условий и их взаимодействия

Признак	Фактор	NAM-A1/B1					NAM-A1					NAM-B1				
		SS	df	MS	F	p	SS	df	MS	F	p	SS	df	MS	F	p
Высота растения, см	Генотип	33193.00	5	6639.00	107.10	0.00	24422.00	2	12211.00	181.60	0.00	14011.00	1	14011.00	187.30	0.00
	Среда	168722.00	4	42180.00	680.20	0.00	203585.00	4	50896.00	756.70	0.00	242714.00	4	60678.00	811.10	0.00
	Генотип x Среда	11071.00	20	554.00	8.90	0.00	8550.00	8	1069.00	15.90	0.00	1702.00	4	426.00	5.70	0.00
	Случай	137664.00	2220	62.00			150320.00	2235	67.00			167578.00	2240	75.00		
Продуктивная кустистость, шт.	Генотип	133.84	5	26.77	47.05	0.00	99.66	2	49.83	82.57	0.00	82.12	1	82.12	132.07	0.00
	Среда	102.73	4	25.68	45.14	0.00	121.20	4	30.30	50.21	0.00	113.41	4	28.35	45.60	0.00
	Генотип x Среда	109.49	20	5.47	9.62	0.00	57.93	8	7.24	12.00	0.00	31.40	4	7.85	12.62	0.00
	Случай	1262.92	2220	0.57			1348.78	2235	0.60			1392.84	2240	0.62		
Длина колоса, см	Генотип	1225.12	5	245.02	140.35	0.00	690.40	2	345.20	173.65	0.00	6.03	1	6.03	2.62	0.11
	Среда	42.38	4	10.60	6.07	0.00	50.90	4	12.70	6.40	0.00	69.27	4	17.32	7.51	0.00
	Генотип x Среда	146.17	20	7.31	4.19	0.00	46.80	8	5.90	2.95	0.00	7.71	4	1.93	0.84	0.50
	Случай	3875.60	2220	1.75			4442.80	2235	2.00			5166.32	2240	2.31		
Число колосков в колосе, шт.	Генотип	628.20	5	125.60	23.03	0.00	197.10	2	98.50	17.29	0.00	372.99	1	372.99	66.61	0.00
	Среда	1518.80	4	379.70	69.59	0.00	1828.40	4	457.10	80.21	0.00	2365.13	4	591.28	105.59	0.00
	Генотип x Среда	218.50	20	10.90	2.00	0.01	59.70	8	7.50	1.31	0.23	76.69	4	19.17	3.42	0.01
	Случай	12113.00	2220	5.50			12736.30	2235	5.70			12543.38	2240	5.60		
Число зерен с колоса, шт.	Генотип	21913.00	5	4383.00	53.39	0.00	8583.00	2	4292.00	48.39	0.00	19651.08	1	19651.08	232.24	0.00
	Среда	3658.00	4	915.00	11.14	0.00	4321.00	4	1080.00	12.18	0.00	6970.75	4	1742.69	20.60	0.00
	Генотип x Среда	4491.00	20	225.00	2.74	0.00	2899.00	8	362.00	4.09	0.00	518.45	4	129.61	1.53	0.19
	Случай	182226.00	2220	82.00			198226.00	2235	89.00			189538.56	2240	84.62		
Масса зерна с колоса, г	Генотип	41.67	5	8.33	47.55	0.00	18.75	2	9.37	49.78	0.00	33.14	1	33.14	180.77	0.00
	Среда	6.06	4	1.52	8.65	0.00	9.92	4	2.48	13.16	0.00	16.49	4	4.12	22.48	0.00
	Генотип x Среда	18.88	20	0.94	5.39	0.00	10.34	8	1.29	6.86	0.00	6.20	4	1.55	8.46	0.00
	Случай	389.10	2220	0.18			420.91	2235	0.19			410.66	2240	0.18		
Масса зерна с растения, г	Генотип	71.17	5	14.23	12.62	0.00	6.30	2	3.15	2.65	0.07	42.46	1	42.46	36.44	0.00
	Среда	142.22	4	35.56	31.53	0.00	177.27	4	44.32	37.32	0.00	247.21	4	61.80	53.04	0.00
	Генотип x Среда	132.63	20	6.63	5.88	0.00	47.32	8	5.92	4.98	0.00	55.11	4	13.78	11.82	0.00
	Случай	2503.25	2220	1.13			2653.96	2235	1.19			2610.01	2240	1.17		
Масса 1000 зерен, г	Генотип	5340.00	5	1068.00	24.52	0.00	2735.00	2	1367.00	29.54	0.00	2.43	1	2.43	0.05	0.82
	Среда	12696.00	4	3174.00	72.85	0.00	15502.00	4	3876.00	83.74	0.00	20029.78	4	5007.45	105.13	0.00
	Генотип x Среда	6982.00	20	349.00	8.01	0.00	2623.00	8	328.00	7.08	0.00	2109.95	4	527.49	11.07	0.00
	Случай	96718.00	2220	44.00			103443.00	2235	46.00			106688.69	2240	47.63		
Содержание белка, %	Генотип	733.50	5	146.70	66.29	0.00	105.91	2	35.30	8.67	0.00	548.93	1	548.93	187.50	0.00
	Среда	94.13	3	31.38	14.18	0.00	278.93	3	139.47	34.24	0.00	243.48	3	81.16	27.72	0.00
	Генотип x Среда	48.89	15	3.26	1.47	0.12	23.12	6	3.85	0.95	0.46	20.79	3	6.93	2.37	0.07
	Случай	513.39	232	2.21			993.73	244	4.07			726.06	248	2.93		

Примечание. SS – суммы квадратов; df – число степеней свободы; MS – средние квадраты; F – критерий Фишера; p – уровень значимости.

Приложение 5



Приложение 6

Однофакторный дисперсионный анализ количественных признаков интрогрессивных линий мягкой пшеницы и их родительских форм с различными аллелями генов *NAM-A1*, *NAM-B1* и сочетаниями аллелей *NAM-A1/B1*

Признак	<i>NAM-A1</i>					<i>NAM-B1</i>					<i>NAM-A1/B1</i>				
	SS	df	MS	F	<i>p</i>	SS	df	MS	F	<i>p</i>	SS	df	MS	F	<i>p</i>
Высота растения, см	526.87	2	263.44	1.36	0.27	240.54	1	240.54	1.22	0.28	868.33	5	173.67	0.85	0.53
Продуктивная кустистость, шт.	1.65	2	0.82	3.14	0.06	1.32	1	1.32	4.96	0.03	3.32	5	0.66	2.93	0.03
Длина колоса, см	14.87	2	7.44	9.53	0.001	3.08	1	3.08	2.63	0.12	30.00	5	6.00	24.24	0.001
Число колосков в колосе, шт.	4.10	2	2.05	0.94	0.40	4.87	1	4.87	2.34	0.14	12.95	5	2.59	1.24	0.32
Число зерен в колосе, шт.	92.52	2	46.26	2.80	0.08	169.51	1	169.51	12.88	0.001	318.13	5	63.63	6.94	0.001
Масса зерен с колоса, г	0.25	2	0.13	3.64	0.04	0.28	1	0.28	8.42	0.01	0.58	5	0.12	4.56	0.001
Масса зерен с растения, г	0.12	2	0.06	0.19	0.83	0.18	1	0.18	0.60	0.44	1.01	5	0.20	0.63	0.68
Масса 1000 зерен, г	77.39	2	38.70	1.76	0.19	0.13	1	0.13	0.01	0.94	140.45	5	28.09	1.27	0.31
Содержание белка в зерне, %	24.81	2	12.40	4.22	0.03	28.33	1	28.33	10.72	0.001	62.26	5	12.45	9.26	0.001

Примечание. SS – суммы квадратов; df – число степеней свободы; MS – средние квадраты; F – критерий Фишера; *p* – уровень значимости. Жирным выделены статистически значимые эффекты генов на изученные признаки.

Приложение 7 (рис. 7.1–7.3)

Описательная статистика изученных признаков пшеницы (2017–2021 гг.) в группах генотипов с различными аллельными вариантами генов *NAM-A1*, *NAM-B1* и сочетаниями аллелей *NAM-A1/B1*

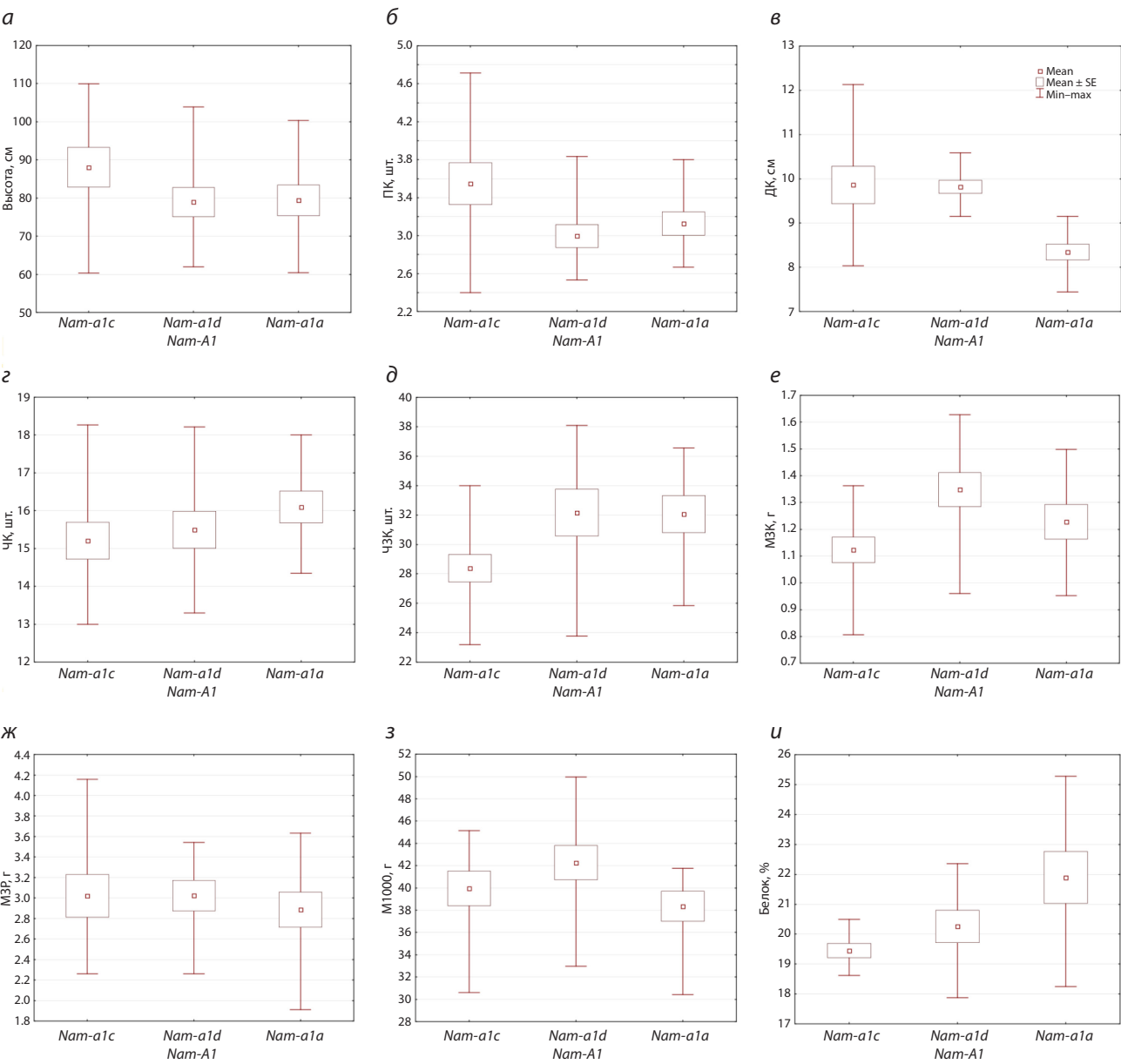


Рис. 7.1. Диаграммы разброса признаков: «высота растения» (а), «продуктивная кустистость» (б), «длина колоса» (в), «число колосков в колосе» (г), «число зерен в колосе» (д), «масса зерен с колоса» (е), «масса зерен с растения» (ж), «масса 1000 зерен» (з), «содержание белка в зерне» (и) в группах генотипов пшеницы с гаплотипами *NAM-A1a*, *NAM-A1c* и *NAM-A1d* за все годы проведения исследований.

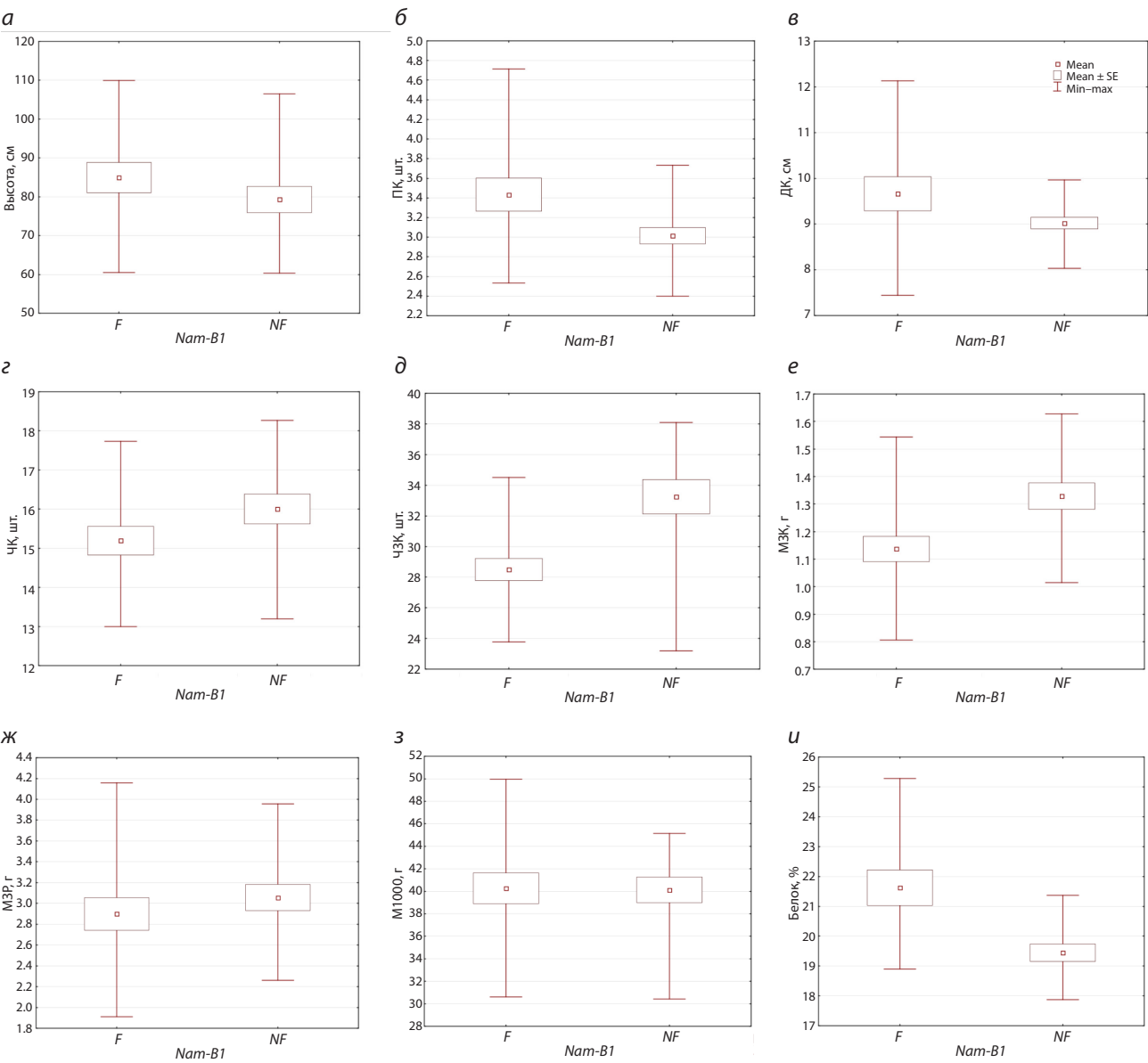


Рис. 7.2. Диаграммы разброса признаков: «высота растения» (а), «продуктивная кустистость» (б), «длина колоса» (в), «число колосков в колосе» (г), «число зерен в колосе» (д), «масса зерен с колоса» (е), «масса зерен с растения» (ж), «масса 1000 зерен» (з), «содержание белка в зерне» (и) в группах генотипов пшеницы с функциональным (F) и нефункциональным (NF) аллелями гена *NAM-1*, за все годы проведения исследований.

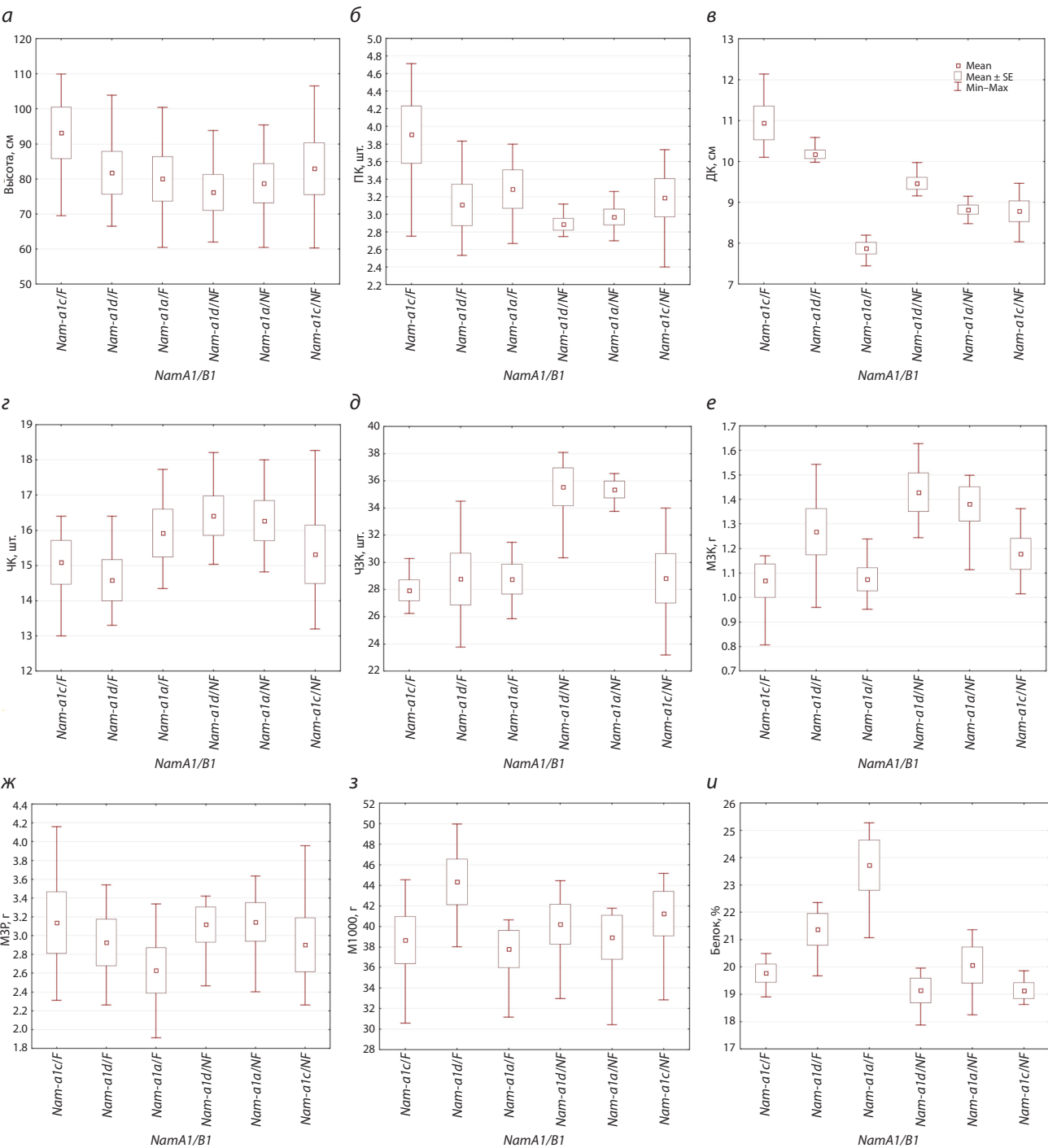


Рис. 7.3. Диаграммы разброса признаков: «высота растения» (а), «продуктивная кустистость» (б), «длина колоса» (в), «число колосков в колосе» (г), «число зерен в колосе» (д), «масса зерен с колоса» (е), «масса зерен с растения» (ж), «масса 1000 зерен» (з), «общее содержание белка в зерне» (и) в группах генотипов пшеницы с различными сочетаниями аллелей генов *NAM-A1/B1* за все годы проведения исследований.

Приложение 8
Средние значения признаков продуктивности для изученных генотипов пшеницы
в полевых условиях Беларуси

Признак	Период вегетации (год), $\bar{X} \pm \text{SEM}$				
	2017	2018	2019	2020	2021
Высота растения, см	76.90 ± 1.42	80.49 ± 1.78	64.23 ± 1.83	97.97 ± 1.73	81.33 ± 1.42
Продуктивная кустистость, шт.	2.99 ± 0.09	3.48 ± 0.11	2.89 ± 0.09	3.16 ± 0.11	3.08 ± 0.08
Длина колоса, см	8.90 ± 0.25	8.69 ± 0.25	8.93 ± 0.25	9.15 ± 0.23	9.21 ± 0.29
Число колосков в колосе, шт.	15.60 ± 0.33	14.55 ± 0.33	14.99 ± 0.40	16.75 ± 0.38	17.58 ± 0.36
Число зерен с колоса, шт.	29.66 ± 1.27	33.07 ± 1.18	32.35 ± 1.62	34.06 ± 1.39	35.01 ± 1.55
Масса зерна с колоса, г	1.21 ± 0.06	1.34 ± 0.06	1.39 ± 0.09	1.41 ± 0.06	1.15 ± 0.06
Масса зерна с растения, г	2.96 ± 0.14	3.42 ± 0.13	3.05 ± 0.18	3.36 ± 0.12	2.42 ± 0.11
Масса 1000 зерен, г	40.54 ± 0.95	40.72 ± 1.22	42.33 ± 1.11	41.78 ± 0.98	32.78 ± 0.82

Примечание. $\bar{X}$ – средние значения признаков; SEM – стандартная ошибка среднего.