

УДК 633.11.004.12 321 : 631.811.1

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТА, УСЛОВИЙ ВЫРАЩИВАНИЯ И УРОВНЯ АЗОТНОГО ПИТАНИЯ

Н. Н. НОВИКОВ, Б. В. ВОЙЕССА

(Кафедра с.-х. биотехнологии)

В полевых опытах на дерново-подзолистой почве Московской области изучены генотипическая реакция сортов яровой мягкой пшеницы селекции НПО «Подмосковье» на внесение азотных удобрений, а также их особенности по составу белков и технологическим свойствам зерна. В процессе исследований выявлены взаимосвязи между различными показателями, характеризующими количество и качество урожая. Показано, что под влиянием азотных удобрений в зерновках происходят значительные сдвиги процессов синтеза легкорастворимых и спирторастворимых белков, однако субъединичный и компонентный состав каждой белковой фракции не изменяется.

Получение высококачественного зерна остается важной проблемой современного растениеводства. Особенно это актуально при выращивании пшеницы — ведущей продовольственной культуры во многих странах мира.

Как установлено многими исследователями [2, 4, 6, 8, 12], качество зерновок пшеницы в значительной степени определяется уровнем накопления в них белковых веществ, общее количество и компонентный состав которых оказывают существенное влияние на технологичес-

кие и хлебопекарные свойства зерна. В полевых и лабораторных опытах выяснено [3, 5, 9-11], что между содержанием в зерновках суммарных белков, а также их отдельных компонентов и многими качественными показателями зерна существует определенная связь, которая может в значительной степени варьировать в зависимости от условий выращивания, применения удобрений и других химических средств, оказывающих влияние на количество и качество урожая.

В связи с этим изучение и уточнение параметров такой связи в изменяющихся условиях окружающей среды, а также при качественных сдвигах внутренних биохимических процессов, происходящих в результате направленного воздействия на растения в процессе их выращивания, позволит выявить оптимальное сочетание указанных факторов, обеспечивающее получение высоких урожаев высококачественного зерна с учетом специфики генотипа пшеницы.

Нами выполнены исследования действия факторов внешней среды и уровня азотного питания на синтез белков и формирование качества урожая у сортов яровой мягкой пшеницы, различающихся по морфобиологическим показателям и хлебопекарным качествам зерна.

Методика

В полевых опытах изучали сорта яровой мягкой пшеницы селекции НПО «Подмосковье» — Московская 35, Родина, Энита, Приокская, Люба. Сорт Саратовская 29 принят за стандарт по хлебопекарным качествам.

Опыты проводили в учхозе Тимирязевской академии «Михайловское» по следующей схеме: 1 — 90P90K (фон); 2 — фон + 80N; 3 — фон + 160N; 4 — фон + 160N + 40Nв виде поздней некорневой подкормки в начале формирования зерна. Фосфор и калий вносили до посева в виде двойного суперфосфата и хлористого калия, азот — до посева в виде аммиачной селитры. Для подкормки использовали 10% раствор мочевины. Площадь делянок — 1 м², повторность — 4-кратная. Посев производили из расчета 5 млн всхожих семян на 1 га.

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, содержание гумуса — 2,6—2,8% рН_{сол} — 6,1, степень насыщенности основаниями — 92%, содержание легкогидролизуемого азота — 4,5—5 мг, подвижного фосфора и обменного калия в вытяжке по Кирсанову — соответственно 9—10 и 15—16 мг на 100 г.

Вегетационные периоды в годы проведения опытов заметно различались по метеорологическим условиям. В 1991 г. в первой половине вегетации (до цветения) были более высокие среднесуточные температуры и выпало больше осадков, чем в 1990 г., а межфазный период цветения — полное созревание зерна оказался более влажным в 1990 г., тогда как температура в оба года исследований была примерно одинаковой.

В зрелом зерне определяли общее содержание белков и клейковины — стандартными методами [7], качество клейковины — по ИДК, число падения — по Хатбергу — Пертену, показатель седиментации — по набухаемости муки в уксусной кислоте [1]. Легкорастворимые белки экстрагировали из цельнозернового зерна 0,06 М ТРИС-НСl буфером (рН 6,8), спирторастворимые белки — раствором, содержащим 55% изопропилового спирта, 5% меркаптоэтанола и 0,5% ацетата натрия. Концентрацию белков в полученных экстрактах устанавливали спектрофотометрически при длине волны 280 нм.

Субъединичный состав выделенных белковых фракций определяли электрофорезом в полиакриламидном геле по U. K. Laemmli [13], применяя в качестве диссоциирующих агентов додецилсульфат натрия

и дитиотрейтол. Разделение проводили в 10% геле с толщиной слоя 0,75 мм (оборудование фирмы «Хойфер»). Для оценки молекулярных масс полипептидов использовали смеси стандартных белков фирмы «Фармация». Разделение недиссоциированных белков выполняли по методу В. Davis [14] в 12% полиакриламидном геле.

Результаты

В опытах установлено, что среди изучаемых сортов яровой мягкой пшеницы повышенной реакцией на внесение азотных удобрений характеризовались Московская 35, Энита и Родина. При внесении 80 кг

азота на 1 га их урожайность возрастала на 39—43%, а при дозе 160 кг/га — на 50—58% (табл. 1). В условиях высокой обеспеченности растений элементами питания (фон + 160N) наиболее высокая продуктивность была у сортов Московская 35, Приокская и Энита — 489—538 г/м² (49—54 ц/га).

Выявлена определенная специфика сортов по качественным показателям зерна. Так, сорта Московская 35 и Люба отличались повышенной способностью к накоплению в зерне белков и клейковины: первый — при высоком уровне азотного питания, второй — при

Таблица 1

Урожайность яровой пшеницы (г/м²)

Сорт	90P90K (фон)	Фон + 80N	Фон + + 160N	Фон + + 160N + + 40N	Средняя по сорту
Родина	<u>311</u> 314	<u>431</u> 438	<u>466</u> 473	<u>467</u> 477	422
Московская 35	<u>348</u> 306	<u>470</u> 463	<u>538</u> 494	<u>533</u> 514	458
Приокская	<u>355</u> 350	<u>436</u> 430	<u>491</u> 511	<u>502</u> 498	447
Энита	<u>286</u> 352	<u>444</u> 459	<u>489</u> 505	<u>495</u> 503	442
Люба	<u>378</u> 316	<u>420</u> 463	<u>467</u> 503	<u>478</u> 481	438
Саратовская 29	<u>263</u> 280	<u>409</u> 347	<u>425</u> 366	<u>422</u> 356	359
Средняя по годам	<u>324</u> 320	<u>435</u> 433	<u>479</u> 475	<u>483</u> 472	<u>430</u> 425
НСР ₀₅	—	—	—	—	<u>25</u> 24

Примечание. Здесь и в табл. 2-7 в числителе приведены данные за 1990 г., в знаменателе — за 1991 г.

низком (табл. 2, 3). Лучшие физические свойства клейковины отмечены у сортов Люба, Приокская, Московская 35. По этому показателю они приближались к сорту Саратовская 29 (табл. 4). Сорта Приокская, Энита и Люба лучше использовали азот поздней некорневой подкормки на синтез белков и клейковины.

По седиментационной характеристике муки (табл. 5, 6) все сорта селекции НПО «Подмосковье» значительно уступали Саратовской 29, причем самый высокий показатель седиментации муки был у сортов Приокская и Люба (в опыте 1991 г.). Судя по изменению показателя удельной седиментации, различия между сортами по седиментацион-

ным свойствам муки в основном обусловлены составом белков, а не уровнем накопления в зерновках общего количества белковых веществ и клейковины.

Как показывают данные табл. 7, у сортов Московская 35 и Люба активность гидролитических ферментов в зерновках существенно ниже, чем у других генотипов, что свидетельствует о более высокой их устойчивости к скрытому прорастанию зерна. В этом отношении особенно выделяется сорт Московская 35, у которого число падения оставалось высоким даже в очень влажных условиях 1990 г. (гидротермический коэффициент во время созревания зерновок 6,9).

В условиях опытов заметный эф-

Т а б л и ц а 2

Содержание белков (% от сухой массы) в зерне пшеницы

Сорт	90P90K (фон)	Фон + 80N	Фон + 160 N	Фон+160N+ +40N	Сред- нее по сортам
Родина	11,7 <u>12,5</u>	13,2 <u>13,0</u>	14,1 <u>14,1</u>	15,0 <u>15,4</u>	13,6
Московская 35	12,2 <u>12,7</u>	13,3 <u>13,5</u>	14,6 <u>15,3</u>	15,6 <u>16,2</u>	14,2
Приокская	12,6 <u>11,8</u>	12,7 <u>12,8</u>	14,0 <u>14,8</u>	16,1 <u>16,4</u>	13,9
Энита	11,7 <u>12,2</u>	13,3 <u>13,5</u>	14,3 <u>14,1</u>	15,9 <u>15,7</u>	13,8
Люба	12,7 <u>13,1</u>	13,5 <u>14,2</u>	14,2 <u>14,5</u>	15,5 <u>15,9</u>	14,2
Саратовская 29	12,1 <u>12,2</u>	12,4 <u>13,3</u>	13,6 <u>14,5</u>	14,8 <u>16,5</u>	13,7
Среднее по годам	12,2 <u>12,4</u>	13,1 <u>13,4</u>	14,1 <u>14,6</u>	15,5 <u>16,0</u>	13,7 <u>14,1</u>
НСР ₀₅	—	—	—	—	0,5

Таблица 3

Содержание сырой клейковины (%) в зерне пшеницы

Сорт	90P90K (фон)	Фон + 80N	Фон + 160N	Фон+160N+ + 40N	Сред- нее по сортам
Родина	<u>23,9</u> 24,8	<u>26,2</u> 26,0	<u>28,8</u> 28,8	<u>30,6</u> 31,4	27,6
Московская 35	<u>24,9</u> 25,7	<u>27,6</u> 28,0	<u>29,9*</u> 31,2	<u>31,8*</u> 33,7	29,1
Приокская	<u>25,7</u> 24,4	<u>25,9</u> 26,1	<u>27,8</u> 30,0	<u>32,8</u> 33,5*	28,3
Энита	<u>23,7</u> 25,0	<u>27,1</u> 27,5	<u>29,2</u> 28,7	<u>32,5</u> 32,0	28,2
Люба	<u>25,6</u> 26,8	<u>27,1</u> 28,5	<u>28,5*</u> 29,5	<u>32,1*</u> 32,4	28,8
Саратовская 29	<u>24,6</u> 24,9	<u>25,3</u> 27,0	<u>27,2</u> 29,3	<u>30,4</u> 32,3	27,6
Среднее по годам	<u>24,7</u> 25,3	<u>26,5</u> 27,2	<u>28,6</u> 29,6	<u>31,7</u> 32,6	<u>27,9</u> 28,7
НСР ₀₅	—	—	—	—	1,5

* Сильная пшеница (с учетом ИДК).

Таблица 4

Оценка качества клейковины (ИДК, ст. ед.).

Сорт	90P90K (фон)	Фон +80N	Фон +160N	Фон+160N+ + 40N	Сред- няя по сортам
Родина	<u>85</u> 75	<u>85</u> 90	<u>90</u> 92	<u>90</u> 95	88
Московская 35	<u>75</u> 74	<u>70</u> 83	<u>75</u> 85	<u>75</u> 87	78
Приокская	<u>80</u> 75	<u>70</u> 75	<u>70</u> 80	<u>80</u> 72	75
Энита	<u>80</u> 82	<u>85</u> 90	<u>95</u> 85	<u>80</u> 84	85
Люба	<u>75</u> 80	<u>65</u> 77	<u>65</u> 80	<u>65</u> 82	74
Саратовская 29	<u>65</u> 62	<u>75</u> 80	<u>70</u> 82	<u>85</u> 77	75
Средняя по годам	<u>77</u> 75	<u>75</u> 83	<u>78</u> 84	<u>79</u> 83	<u>77</u> 81
НСР ₀₅	—	—	—	—	5,0

фект получен от внесения азотного удобрения. При норме азота 80 кг/га (на фоне 90Р90К) повышалась урожайность пшеницы в среднем на 35%, было выше содержание в зерне белков, сырой и сухой клейковины (разность соответственно 0,9—1,0; 1,8—1,9 и 0,6—0,7%), возрастал показатель седиментации на 1,5—1,8 мл. Вместе с тем при внесении азотного удобрения понижалось число падения (в опыте 1991 г.) и ухудшалось качество клейковины (возрастал показатель ИДК).

Оценивая качественные показатели в целом, можно отметить, что по уровню накопления сырой клейковины и ее физическим свойствам, а также по седиментационной характеристике муки полученное в этом варианте зерно не отвечало

требованиям, предъявляемым к сильной пшенице. Следовательно, норма азота 80 кг/га, обеспечивая довольно высокий уровень урожайности, была недостаточной для формирования высококачественного зерна.

При повышенной норме азота (160 кг/га) урожайность пшеницы возрастала в среднем на 48%, т. е. всего на 13% за счет удвоения нормы азота. Вместе с тем накопление в зерновках белков и клейковины соответствовало двойному увеличению нормы азота и составило в среднем 1,9—2,2 и 3,9—4,3%, при этом содержание белков в зерне у сортов подмосковной селекции повышалось до 14—15, а сырой клейковины — до 28—31%.

Т а б л и ц а 5

**Оценка хлебопекарных свойств зерна
по числу седиментации (мл)**

Сорт	90Р90К (фон)	Фон + 80N	Фон + 160N	Фон+160N+ + 40N	Средняя по сор- там
Родина	<u>5.0</u> 5,4	<u>6.0</u> 8,2	<u>7.0</u> 8,4	<u>6.0</u> 8,2	<u>6.0</u> 7,6
Московская 35	<u>4.0</u> 6,4	<u>6.0</u> 7,6	<u>7.0</u> 8,5	<u>6.0</u> 10,0	<u>5.8</u> 8,1
Приокская	<u>5.0</u> 8,8	<u>6.0</u> 7,8	<u>7.0</u> 9,4	<u>6.0</u> 11,0	<u>6.0</u> 9,3
Энита	<u>4.0</u> 6,4	<u>5.0</u> 7,8	<u>6.0</u> 9,2	<u>6.0</u> 9,6	<u>5.3</u> 8,3
Люба	<u>4.0</u> 6,4	<u>7.0</u> 9,6	<u>7.0</u> 10,6	<u>7.0</u> 10,0	<u>6.3</u> 9,2
Саратовская 29	<u>6.0</u> 7,6	<u>7.0</u> 10,4	<u>7.0</u> 12,0	<u>7.0</u> 12,2	<u>6.8</u> 10,6
Средняя по годам	<u>4.7</u> 6,8	<u>6.2</u> 8,6	<u>6.8</u> 9,7	<u>6.3</u> 10,2	<u>6.0</u> 8,8
НСР ₀₅	—	—	—	—	0,8

Таблица 6

Оценка свойств муки по удельной седиментации (мл на 100 мг белка)

Сорт	90P90K (фон)	Фон + 80N	Фон + 160N	Фон+160N+ + 40N	Средняя по сортам
Родина	<u>8,6</u>	<u>9,2</u>	<u>10,0</u>	<u>8,0</u>	<u>9,0</u>
	8,6	12,6	12,0	10,6	11,0
Московская 35	<u>6,6</u>	<u>9,0</u>	<u>9,6</u>	<u>7,8</u>	<u>8,3</u>
	10,0	11,2	11,2	12,4	11,2
Приокская	<u>8,0</u>	<u>9,4</u>	<u>10,0</u>	<u>7,4</u>	<u>8,7</u>
	15,0	12,2	12,8	13,4	13,4
Энита	<u>6,8</u>	<u>7,6</u>	<u>8,4</u>	<u>7,6</u>	<u>7,6</u>
	10,6	11,6	13,0	12,2	11,9
Люба	<u>6,4</u>	<u>10,4</u>	<u>9,8</u>	<u>9,0</u>	<u>8,9</u>
	9,8	13,6	14,6	12,6	12,7
Саратовская 29	<u>10,0</u>	<u>11,4</u>	<u>10,4</u>	<u>9,4</u>	<u>10,3</u>
	12,4	15,6	16,6	14,8	14,9
Средняя по годам	<u>7,6</u>	<u>9,4</u>	<u>9,6</u>	<u>8,2</u>	<u>8,7</u>
	11,0	12,8	13,4	12,6	12,5
НСР ₀₅	—	—	—	—	0,8

Таблица 7

Оценка хлебопекарных свойств зерна по числу падения (с)

Сорт	90P90K (фон)	Фон + 80N	Фон + 160N	Фон+160N+ + 40N	Сред- няя по сортам
Родина	—	<u>193</u>	<u>152</u>	<u>135</u>	<u>160</u>
	<u>209</u>	<u>197</u>	<u>188</u>	<u>189</u>	<u>196</u>
Московская 35	—	<u>212</u>	<u>236</u>	<u>163</u>	<u>204</u>
	<u>222</u>	<u>247</u>	<u>252</u>	<u>215</u>	<u>234</u>
Приокская	—	<u>163</u>	<u>159</u>	<u>163</u>	<u>162</u>
	<u>226</u>	<u>182</u>	<u>197</u>	<u>189</u>	<u>199</u>
Энита	—	<u>173</u>	<u>164</u>	<u>162</u>	<u>166</u>
	<u>216</u>	<u>164</u>	<u>149</u>	<u>175</u>	<u>176</u>
Люба	—	<u>158</u>	<u>166</u>	<u>149</u>	<u>158</u>
	<u>224</u>	<u>216</u>	<u>234</u>	<u>221</u>	<u>224</u>
Саратовская 29	—	<u>186</u>	<u>129</u>	<u>189</u>	<u>168</u>
	<u>215</u>	<u>206</u>	<u>216</u>	<u>224</u>	<u>215</u>
Средняя по годам	—	<u>181</u>	<u>168</u>	<u>160</u>	<u>170</u>
	<u>219</u>	<u>202</u>	<u>206</u>	<u>202</u>	<u>207</u>
НСР ₀₅	—	—	—	—	10

Удвоение нормы азота почти не сказалось на качестве клейковины, которое оставалось на том же уровне, что и в варианте 80N. Тем не менее оно было существенно ниже, чем в фоновом варианте, в котором зерно характеризовалось пониженным содержанием клейковины, обладающей, однако, хорошими физическими свойствами (1-я группа качества). Таким образом, при внесении 160N формировалось зерно пшеницы с повышенным содержанием белков и клейковины, но качество клейковины, как правило, не отвечало требованиям, предъявляемым к сильной пшенице.

При повышении нормы азота от 80 до 160 кг/га улучшались седиментационные свойства муки (показатель седиментации увеличивался в среднем на 0,5-1,1 мл), однако высококачественное зерно, которое по седиментационной характеристике достигало бы уровня сильной пшеницы, было получено лишь в менее влажном 1991 г. В то же время показано, что в условиях очень влажной погоды 1990 г. (гидротермический коэффициент в период созревания зерна свыше 4,0) при внесении повышенной нормы азота в зерновках может возрасти активность гидролитических ферментов, о чем свидетельствует некоторое снижение числа падения.

При сопоставлении показателей общей и удельной седиментации выяснено, что изменение седиментационной характеристики зерна определяется взаимодействием двух факторов — общего накопления в зерне белков и их качественного состава. Так, в варианте 80N увеличение показателя седиментации было обусловлено на 26—38% по-

вышением в зерновках концентрации белков и на 62—74% — изменением их состава. В то же время в варианте 160N показатель седиментации муки уже на 63% увеличивался в результате общего повышения концентрации в зерне белков и лишь на 37% — за счет изменения состава белков. Следовательно, при внесении повышенных норм азота улучшение седиментационных свойств муки происходит главным образом за счет увеличения в зерновках количества белков.

Поздняя некорневая азотная подкормка, проведенная в фазу начала формирования зерна, повышала накопление в зерне белков на 0,9—2,1 и сырой клейковины — на 1,8—5%, но при этом не наблюдалось улучшения качества клейковины и седиментационной характеристики муки. Судя по тому, что в варианте с некорневой подкормкой снижалась удельная седиментация муки, в составе белков зерна, очевидно, происходили изменения, снижающие набухаемость муки в уксусной кислоте, которые, однако, компенсировались увеличением концентрации суммарного белка, вызывающим улучшение седиментационных свойств муки, в связи с чем показатель общей седиментации почти не изменялся. Таким образом, в условиях влажной погоды в период налива и созревания зерновок поздняя некорневая азотная подкормка существенно не улучшала технологические свойства зерна.

В опыте 1991 г. сильное переувлажнение зерна наблюдалось в I декаде августа, когда в зерновках происходил активный синтез клейковинных белков. В результате отмечалось заметное снижение упру-

гости клейковины (повышение ИДК в среднем на 6—8 единиц). Во II и III декадах августа больше осадков выпало в 1990 г., и это заметно повлияло на другие качественные показатели зерна. Выявлено, что при повышении влажности (гидротермический коэффициент свыше 4) в зерновках пшеницы снижалось накопление белков и клейковины и повышалась активность гидролитических ферментов (понижение числа падения), ухудшались также седиментационные свойства муки (понижение числа седиментации на 28-38%).

Судя по изменению удельной седиментации, ухудшение седиментационной характеристики муки при влажной погоде в большей степени было обусловлено изменением состава белков, а не уровнем накопления суммарного белка. Следует отметить, что значительно большее

ухудшение технологических свойств зерна наблюдалось в вариантах с азотным удобрением (снижение упругости клейковины и числа падения, общей концентрации белков).

Под влиянием погодных условий и азотных удобрений в зерновках изменялось соотношение легкорастворимых и спирторастворимых белков. При недостатке азота и в условиях повышенной влажности в созревающем зерне увеличивалось содержание легкорастворимых белков, вследствие чего это соотношение уменьшалось (табл. 8). При усилении азотного питания концентрация легкорастворимых белков понижалась, а отношение спирторастворимых белков к легкорастворимым увеличивалось. Поздняя некорневая азотная подкормка не влияла на синтез легкорастворимых белков, но заметно повышала концен-

Т а б л и ц а 8

Содержание в зерне спирторастворимых (числитель) и легкорастворимых (знаменатель) белков (% к сухой массе, опыт 1991 г.)

Сорт	90P90K (фон)	Фон + 160N	Фон + 160N+ + 40N	Отношение спирторастворимых белков к легко- растворимым		
				фон	фон + 160N	фон+160+ + 40N
Родина	4,0	3,7	4,6	1,33	1,37	1,70
	3,0	2,7	2,7			
Московская 35	3,7	4,0	4,4	1,54	1,90	2,00
	2,4	2,1	2,2			
Приокская	3,9	4,0	4,4	1,56	1,90	2,00
	2,5	2,1	2,2			
Энита	4,0	4,0	4,6	1,67	1,82	2,00
	2,4	2,2	2,3			
Люба	3,9	3,9	4,2	1,56	1,86	1,83
	2,5	2,1	2,3			
Саратовская 29	3,9	3,9	4,6	1,63	2,05	2,30
	2,4	1,9	2,0			
Среднее	3,9	3,9	4,5	1,55	1,82	1,97
	2,5	2,2	2,3			
НСР ₀₅ 0,3%						

трацию спирторастворимой фракции.

По составу белков сорт Родина заметно отличался от других изучаемых в опыте генотипов пшеницы. У этого сорта в зерновках содержится больше легкорастворимых белков, вследствие чего существенно понижено соотношение спирторастворимых и легкорастворимых белков.

В результате разделения легкорастворимых белков, представленных альбуминами и легкорастворимыми глобулинами, в диссоциирующей электрофоретической системе

выявлен большой набор белковых субъединиц (более 30) с молекулярными массами от 16 до 155 тыс. (рис. 1). В составе легкорастворимых белков зерна всех сортов значительный удельный вес занимают полипептиды с молекулярными массами 67,6, 64,6, 26,9, 25,1 тыс.

Сорта подмосковной селекции по субъединичному составу легкорастворимых белков существенно не различались, тогда как у сорта Саратовская 29 компонент с молекулярной массой 64,6 тыс. разделялся на 2 типа полипептидов примерно в равных количественных соотноше-

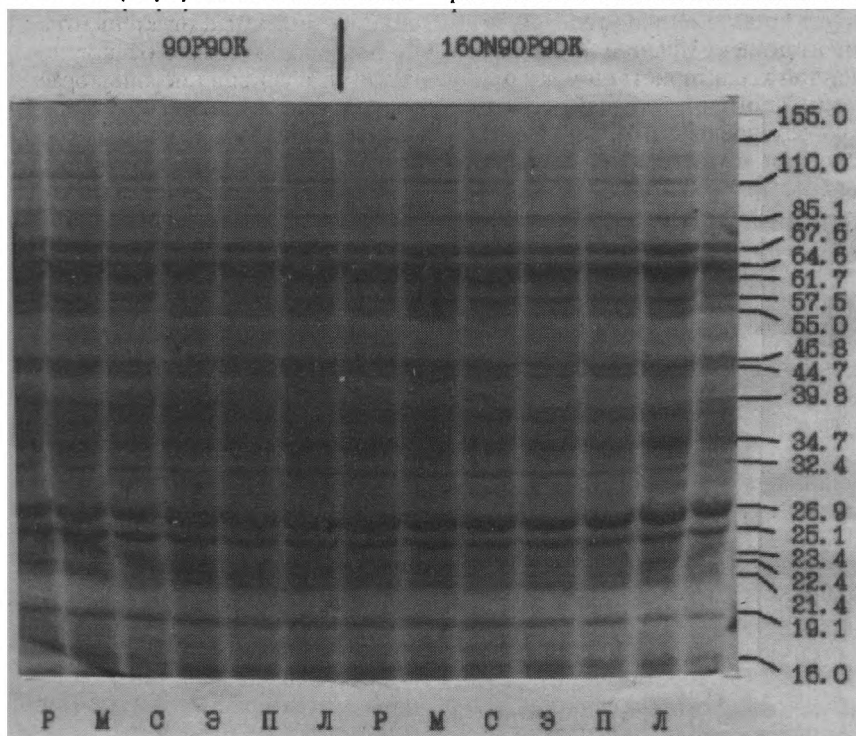


Рис. 1. Электрофореграммы субъединиц легкорастворимых белков.

Р, М, С, Э, П, Л - сокращенные обозначения сортов Родина, Московская 35, Саратовская 29, Энита, Приокская, Люба. *Справа* указаны молекулярные массы полипептидных субъединиц (тыс.).

ниях, в результате чего компонент с молекулярной массой 61,7 тыс. изменял свою подвижность и смещался на электрофореграмме на 1,5 мм ниже. При более высокой общей концентрации легкорастворимых белков, взятых для анализа, у сорта Саратовская 29 разделение компонента с молекулярной массой 64,6 тыс. на 2 фракции не происходило, и в этом случае электрофореграммы всех сортов были практически идентичными.

В вариантах с разным уровнем азотного питания (90P90K) и (160N90P90K) существенных изменений в субъединичном составе легкорастворимых белков не наблюдалось.

Более заметные различия между сортами выявлены при разделении легкорастворимых белков зерна в недиссоциирующей электрофоретической системе, когда не проводилась денатурация белков и их подвижность при электрофорезе определялась не только размерами, но и электрическими зарядами молекул, различающихся по аминокислотному составу.

Как показано на рис. 2, сорта в основном различались по двум медленно движущимся электрофоретическим компонентам 1 и 2. У сорта Приокская концентрация этих белков очень низкая, и они слабо выражены на электрофореграмме. У сорта Саратовская 29 понижена концентрация компонента 1. По характеру электрофоретического спектра легкорастворимых белков наиболее близки сорта Московская 35 и Люба, а также Родина и Энита. Под действием азотных удобрений электрофоретический спектр легкорастворимых белков, разделяемых в

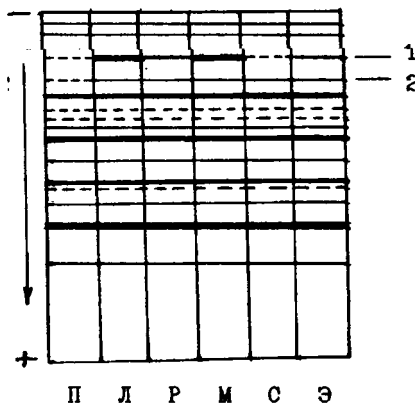


Рис. 2. Электрофореграммы легкорастворимых белков зерна.

1 и 2 - сортоспецифичные компоненты; остальные обозначения те же, что на рис. 1.

недиссоциирующей системе, существенно не изменялся.

Как известно, сходство сортов пшеницы по электрофоретическому спектру белков характеризует степень генетического родства между ними, что проявляется и по другим признакам. Так, близкие по составу легкорастворимых белков сорта Московская 35 и Люба отличаются повышенным накоплением в зерне белков, более упругой клейковины и высоким числом падения. У сортов Родина и Энита, напротив, более низкое содержание в зерне белков, слабая клейковина, низкое число падения. Сорт Приокская, стоящий ближе по составу белков к Саратовской 29, характеризуется хорошими физическими свойствами клейковины и седиментационной характеристикой муки. Полученные данные свидетельствуют о том, что электрофоретические спектры легкорастворимых белков можно использовать как маркерные признаки при селекционных отборах гено-

типов пшеницы с улучшенными технологическими свойствами зерна.

При разделении субъединиц спирторастворимых белков (рис. 3) было выяснено, что сорта яровой пшеницы в основном различаются по 4 фракциям — *a, b, c* и *d*. Полипептиды фракции *a* содержались только в зерновках у сорта Московская 35, а *b* — у сорта Саратовская 29. Концентрация полипептидов фракции *c* была понижена у сортов Московская 35 и Приокская, в то же время у них интенсивнее выражен компонент *d*.

По общему характеру электрофоретического спектра субъединиц спирторастворимых белков сорта подмосковной селекции можно разделить на 2 группы. К первой группе относятся сорта Московская 35 и Приокская с более выраженным компонентом *d*. Примерно так же выражен этот компонент и у сорта Саратовская 29. Вторая группа

включает сорта Родина, Энита и Люба с повышенной концентрацией полипептидов фракции *c* и менее выраженным на электрофореграммах компонентом *d*. Следует отметить, что сорта пшеницы, близкие по составу субъединиц спирторастворимых белков, заметно различались по качественным показателям зерна — содержанию в зерне белков и клейковины, качеству клейковины, седиментационным свойствам муки, уровню активности гидролитических ферментов. Под действием азотных удобрений соотношение субъединиц спирторастворимых белков в зерновках пшеницы не изменялось.

Таким образом, изучение состава белков зерна пшеницы показывает, что при повышении уровня азотного питания компонентный состав легкостворимых и спирторастворимых белков не изменяется, но существенно изменяется общее соотношение этих белковых фракций. По-видимому, под влиянием азотных удобрений происходят регуляторные сдвиги, связанные с одновременным изменением экспрессии всех генов, кодирующих полипептиды легкостворимых или спирторастворимых белков зерна.

С помощью корреляционного анализа изучалась взаимосвязь между показателями, характеризующими количество и качество урожая (табл. 9). В связи с тем, что в наших опытах урожайность пшеницы и накопление в зерне белков в основном определялись уровнем азотного питания, между этими показателями установлена довольно тесная связь ($r = 0,81 \pm 0,10$). Определенная нелинейность такой связи объясняется тем, что при внесении повы-

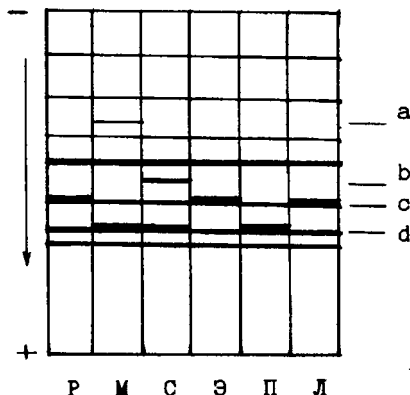


Рис. 3. Электрофореграммы субъединиц спирторастворимых белков.

a, b, c, d - сортоспецифичные компоненты; остальные обозначения те же, что на рис. 1.

шенных норм азота прибавка урожая в расчете на 1 кг д. в. удобрения значительно уменьшалась, тогда как повышение белковости зерна в пределах вносимых норм азота было относительно равномерным. Примерно такой же уровень связи выявлен между урожайностью пшеницы и содержанием в зерновках клейковины ($r = 0,82 \pm 0,10$).

Очень тесная положительная связь ($r = 0,97 \pm 0,03$) установлена между белковостью зерна и содержанием клейковины, свидетельствующая о том, что повышение накопления белковых веществ в зерновках пшеницы при улучшении азотного питания происходит в основном в результате усиления синтеза клейковинных белков. Под влиянием азотных удобрений также увеличивалось отношение спирторастворимых белков к легкорастворимым, выявляя тем самым определенную связь между этим показателем и уровнем урожайности пшеницы, а также содержанием в зерне белков и клейковины.

Физические свойства клейковины, выражаемые показателем ИДК, су-

щественно не зависели от уровня урожайности пшеницы, содержания в зерне белков и клейковины, они в основном определялись генотипом сорта, погодными условиями во время формирования и налива зерна, а также уровнем азотного питания. Из трех указанных факторов наиболее стабильным является генотип. Погодные условия постоянно меняются, поэтому их влияние трудно прогнозировать. Некоторое ухудшение качества клейковины в результате действия азотных удобрений также происходит лишь при определенных погодных условиях (переувлажнение в начале налива зерна в опыте 1991 г.).

Для характеристики технологических свойств зерна был использован показатель — число падения, отражающий уровень активности гидролитических ферментов, и прежде всего α -амилазы. Как установлено, этот показатель не зависит от уровня урожайности пшеницы и количества белков в зерне, а его изменения почти полностью связаны с особенностями генотипа и характером погодных условий во время со-

Таблица 9

Коэффициенты корреляции между показателями, характеризующими количество и качество урожая

Коррелирующие показатели	Число падения	Общая седиментация	Удельная седиментация
Урожай зерна	$0,14 \pm 0,21$	$0,36 \pm 0,16$	$0,17 \pm 0,17$
Содержание в зерне белков	$0,33 \pm 0,20$	$0,57 \pm 0,14^*$	$0,36 \pm 0,16$
Содержание клейковины	$0,45 \pm 0,19$	$0,66 \pm 0,13^*$	$0,45 \pm 0,15^*$
ИДК	$0,13 \pm 0,21$	$0,15 \pm 0,17$	$0,07 \pm 0,17$
Общая седиментация	$0,50 \pm 0,14^*$	—	$0,96 \pm 0,05^{**}$
Удельная седиментация	$0,53 \pm 0,14^*$	—	—

* Корреляция достоверна с вероятностью 0,95.

** То же с вероятностью 0,99.

зревания зерна (при повышении влажности число падения снижалось). Некоторое снижение числа падения наблюдалось в вариантах с внесением азотного удобрения.

Корреляционный анализ показал, что такой качественный показатель зерна, как его седиментационная характеристика, не зависит от уровня урожайности пшеницы. Вместе с тем выявлена заметная связь данного показателя с количеством белков ($r = 0,57 \pm 0,14$) и клейковины ($r = 0,66 \pm 0,13$) в зерне. Вместе с тем установлена определенная связь седиментационных свойств зерна с составом белков. В опыте 1991 г. лучшая седиментационная характеристика муки была при отношении спирторастворимых белков к легкорастворимым — 1,8—2,0. При соотношении этих белков ниже 1,8 значение удельной седиментации муки, как правило, уменьшалось. Увеличение данного отношения от 2 до 3 не сопровождалось существенными изменениями седиментационных свойств муки.

Установлена также определенная связь между показателем седиментации и числом падения ($r = 0,50 \pm 0,14$), свидетельствующая о том, что седиментационные свойства муки зависят от активности гидролитических ферментов: при повышении их активности в зерне отмечается ухудшение седиментационной характеристики муки. В то же время не выявлено существенной связи между качеством клейковины, определяемым ИДК, и седиментационными свойствами муки, а также числом падения, что характеризует эти показатели как взаимодополняющие, выражающие разные по природе технологические свойства зерна.

Заключение

В полевых опытах, проведенных на дерново-подзолистой почве Московской области, показано, что в условиях высокой обеспеченности растений яровой мягкой пшеницы селекции НПО «Подмосковье» элементами питания наибольшей продуктивностью отличаются сорта Московская 35, Приокская, Энита, а лучшими качественными показателями зерна — сорта Московская 35, Приокская и Люба. У сорта Московская 35 — повышенная способность к накоплению в зерне белков и клейковины и высокая устойчивость к скрытому прорастанию зерна, у сортов Приокская и Люба — хорошие физические свойства клейковины и лучшая седиментационная характеристика муки.

В процессе электрофоретических исследований белкового комплекса зерна выяснено, что сорта пшеницы Московская 35 и Люба, Родина и Энита довольно сходны по составу белков альбумино-глобулинового типа, а сорта Родина, Энита и Люба — по набору субъединиц спирторастворимых белков. При этом установлено, что сорта со сходным составом легкорастворимых белков довольно близки по качественным показателям зерна, в связи с чем электрофоретические спектры этих белков могут быть использованы как маркерные признаки при селекционных отборах генотипов пшеницы с улучшенными технологическими свойствами зерна.

При выращивании яровой мягкой пшеницы на дерново-подзолистой почве со средним содержанием легкогидролизуемого азота (4,5—5 мг/100 г) для получения высококачественного зерна необходимо вносить

в расчете на 1 га не менее 160 кг азота. В условиях нашего опыта это обеспечило повышение урожайности пшеницы на 40—50% при содержании белков в зерне 14—15%, сырой клейковины — 28—31% и улучшенной седиментационной характеристике муки (повышение показателя седиментации до 8—10 мл).

В условиях переувлажнения (гидротермический коэффициент выше 4) в созревающих зерновках пшеницы повышаются концентрация легкорастворимых белков и активность гидролитических ферментов, ухудшаются седиментационные свойства муки и качество клейковины, а также снижается общее накопление в зерне белков. Особенно заметное ухудшение качества зерна в этих условиях наблюдалось в вариантах с азотными удобрениями.

Сопоставление общей и удельной седиментации показывает, что с повышением норм азота до определенного уровня улучшение седиментационной характеристики муки происходит в основном за счет изменения состава и свойств белков (снижение концентрации легкорастворимых белков и увеличение отношения спирторастворимых белков к легкорастворимым), а при последующем усилении азотного питания — преимущественно в результате увеличения в зерне общего количества белка.

При влажной погоде в период созревания зерна поздняя некорневая азотная подкормка, хотя и повышает накопление в зерновках клейковинных белков, не улучшает качества клейковины и седиментационной характеристики муки, вследствие чего не обеспечивает получения высококачественного зерна,

отвечающего требованиям, предъявляемым к сильной пшенице.

Анализ взаимосвязей между показателями, характеризующими количество и качество урожая пшеницы, свидетельствует о том, что упругость клейковины, выражаемая ИДК, и число падения существенно не связаны ни с уровнем урожайности, ни с количеством в зерне белков и клейковины, а зависят в основном от особенностей сорта, погодных условий во время созревания зерна и в определенной степени от уровня азотного питания (в условиях переувлажнения при внесении азотных удобрений могут ухудшаться свойства клейковины и в зерновках возрастает активность гидролитических ферментов, вследствие чего заметно снижаются технологические качества зерна).

В результате изучения седиментационных свойств муки выяснено, что этот показатель существенно не связан с уровнем урожайности пшеницы и качеством клейковины, выражаемым ИДК, но в значительной степени определяется генотипом растений, условиями выращивания и количеством в зерне белка и клейковины, а также зависит от состава белков и активности гидролитических ферментов. При влажной погоде (гидротермический коэффициент в период созревания зерна выше 4) и недостаточном азотном питании в зерновках пшеницы ослабляется синтез запасных белков, вследствие чего понижается соотношение спирторастворимых и легкорастворимых белков, вызывая ухудшение седиментационной характеристики зерна.

Изучение качественного состава зерна пшеницы показало, что под влиянием условий выращивания в

нем происходят значительные сдвиги процессов синтеза легкорастворимых и спирторастворимых белков, однако субъединичный и компонентный состав каждой белковой фракции не изменяется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркутова Н. С. Методы оценки и формирования качества зерна. М.: Росагропроимздат, 1991. — 2. Богданов В. П. Сравнительные исследования глютеиновых пшеницы с различными хлебопекарными свойствами. — В кн.: Повышение продуктивности и устойчивости зерновых культур. Алма-Ата: Наука, 1983, с. 149 — 153. — 3. Кокурин Н. Л., Новиков Н. Н., Шатилова Т. И., Плешков А. С. Качество зерна и состав клейковинных белков яровой пшеницы в зависимости от сорта и условий азотного питания. — Изв. ТСХА, 1987, вып. 2, с. 58 — 68. — 4. Новиков Н. Н., Плешков Б. П., Строев В. С. Внутривидовой и внутрисортной полиморфизм белков у перекрестноопыляющихся растений. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 3, с. 96 — 103. — 5. Нови-

ков Н. Н., Кокурин Н. Л., Шатилова Т. Н. Качество зерна и структура урожая яровой пшеницы при разном уровне азотного питания. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 2, с. 67 — 74. — 6. Павлов А. Н. Повышение содержания белков в зерне. М.: Наука, 1985, с. 119. — 7. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. 3-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. — 8. Bright S., Shewry P. R. — Crit. Rev. in plant Sci., 1983, vol. I, p. 49 — 93. — 9. Doekes G. T., Wenekes L. M. J. — Cer. Chemistry, 1982, vol. 59, № 4, p. 276 — 278. — 10. Hamada A. S., McDonald C. E., Sibbitt L. D. — Cer. Chemistry. — 1982, vol. 59, № 4, p. 296 — 301. — 11. Holmes F. S. — J. Nat. Inst. Agr. Botany, 1982, vol. 16, № 1, p. 1 — 6. — 12. Huebner F. R., Bietz J. A. — Cer. chemistry, 1984, vol. 61, № 6, p. 544 — 549. — 13. Laemmli U. K. Nature (L.), 1970, vol. 227, p. 680 — 685. — 14. Ornstein L., Davis B. J. — Ann. N. Y. Acad. Sci., 1964, vol. 121, p. 321 — 403.

Статья поступила 28 апреля
1994 г.

SUMMARY

In field experiments on soddy-podzolic soil of Moscow region genotypical response of spring soft wheat varieties selected by Research-Producing Association «Podmoskovje» to application of nitrogenous fertilizers, as well as their specific features in protein composition and technological grain properties have been studied. In the research process interconnections between different properties which characterize quantity and quality of yield have been detected. It is shown that nitrogenous fertilizers cause considerable changes in the processes of synthesis of freely soluble and alcohol-soluble proteins in caryopses, but subindividual and component composition of each protein fraction remains without change.