

УДК 633.11.581.19:58.032.1

## БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ НЕДОСТАТКЕ ВЛАГИ ПОСЛЕ КОЛОШЕНИЯ

Н. Г. РАКИПОВ, М. СУЛТАН УДДИН БУЙЯ, Н. Н. ТРЕТЬЯКОВ

(Кафедры сельского хозяйства зарубежных стран и физиологии растений)

Современная специальная литература изобилует данными о зависимости биохимического состава и качестве зерна яровой пшеницы от различных факторов. Данной проблеме посвящены обширные обзоры и фундаментальные монографии [1, 3—5, 8, 12, 13, 15, 16]. В то же время недостаточно хорошо освещено влияние дефицита влаги в критические периоды роста и развития растений, в частности в период после колошения, на биохимический состав зерна, содержание в нем белка, его фракционный и аминокислотный состав. Между тем во многих районах возделывания пшеницы именно в период после колошения растений часто наблюдается недостаток влаги в почве [6, 11, 17]. Поэтому целью данной работы было выявить влияние недостатка влаги в период колошения — формирование зерна на биохимический состав и качество зерна разных сортов яровой пшеницы при выращивании растений в контролируемых условиях при двух контрастных уровнях минерального питания.

### Методика

Опыты проводили методом песчаной культуры [2] в Лаборатории физиологии растений Московской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева в 1982 г. Объектом исследований служили четыре сорта яровой пшеницы — Родина (СССР), Саратовская 29 (СССР), К-379 Ред 1499 (К-378 Red 1499, Индия) и Ролетта (Roletta, США). Первые три сорта относятся к мягкой, а четвертый — к твердой пшенице.

Растения выращивали в пластмассовых сосудах, вмещающих 6 кг песка, при двух резко различающихся — нормальном (1,5 н. смеси Кнопа) и высоком (3,0 н. смеси Кнопа) — уровнях минерального питания. В варианте с 1,5 н. смеси Кнопа питательный раствор вносили дробно 3 раза: 50 % до посева, 25 % — в фазу кущения и 25 % — в фазу колошения. В варианте с 3,0 н. смеси Кнопа питательный раствор вносили дробно 6 раз: по 0,5 н. смеси до посева, в начале фазы кущения, в фазы кущения, трубкования, в начале фазы колошения и в фазу колошения.

Недостаток влаги в период колошения — формирование зерна создавали путем снижения влагообеспеченности с 80 до 40 % ПВ в течение 20 дней после начала колошения. Для создания ценоотического эффекта сосуды на стеллажах ставили очень плотно. Число растений в каждом сосуде

20 в начале опытов и 10 во время уборки урожая<sup>1</sup>. Повторность опыта 4-кратная.

Содержание белка в зерне, убранном в фазу полной спелости, определяли путем умножения содержания общего азота на коэффициент 5,7 [13], а содержание сырой клейковины, крахмала, клетчатки и жира в нем — на инфракрасном спектрофотометре «Инфра-Алайзер-400» (фирма «Техникон», США). Фракционный состав белков устанавливали по Осборну в модификации Б. П. Плешкова [9]: альбумины и глобулины выделяли вместе 1-молярным раствором KCl, глиадины — 70 % этиловым спиртом, глютеины — 0,2 н. раствором NaOH. Аминокислотный состав белков определяли методом кислотного гидролиза [9]. Содержание аминокислот в гидролизатах измеряли на анализаторе Hd-1200 E (ЧССР). Следует заметить, что при кислотном гидролизе белков (в 6 н. HCl в течение 24 ч при 105°) освобождающийся триптофан полностью разрушается, серин и треонин частично разлагаются, количество метионина, цистина и цистеина значительно уменьшается. Мы не вводили поправку на уменьшение количества этих аминокислот; содержание триптофана и серина отдельно не определяли.

Полученные данные подвергали статической обработке методом корреляционного анализа [7].

<sup>1</sup> 10 растений использовали для физиологических исследований.

## Результаты и обсуждение

Из данных табл. 1 видно, что наибольшей белковостью зерна (в среднем по вариантам опыта) отличался сорт твердой пшеницы Ролетта, за ним следовали сорта Саратовская 29, Родина и К-378 Ред

Таблица 1

Биохимический состав зерна яровой пшеницы (% к сухой массе)

Показатель	1,5 н. Кюпа				3,0 н. Кюпа			
	Родина	Саратовская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта	Родина	Саратовская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта
Белок (N×5,7)	10,6	10,8	9,2	12,0	16,4	14,1	15,6	21,8
	10,3	11,7	10,7	14,3	18,0	20,6	16,6	17,2
Сырая клейковина	21,7	26,2	21,6	25,9	44,1	36,4	36,1	42,2
	22,7	25,7	23,0	27,7	47,2	51,4	38,4	46,5
Крахмал	71,9	70,0	71,8	72,6	54,7	63,1	61,3	62,2
	70,9	71,5	77,7	67,5	51,5	53,1	59,7	56,7
Клетчатка	4,3	4,5	4,3	5,0	4,9	4,6	4,7	5,3
	4,5	4,5	4,1	5,5	5,2	5,4	5,0	5,5
Жир	1,7	1,8	1,6	2,3	1,4	1,7	1,4	2,1
	1,8	2,0	1,6	2,2	1,4	1,8	1,5	2,0

Примечание. Здесь и в последующих таблицах в числителе — 80 % ПВ; в знаменателе — 40 % ПВ.

1499. Повышение уровня минерального питания вызывало значительное увеличение этого показателя. Недостаток влаги также в ряде случаев приводил к его увеличению, хотя к менее заметному, чем повышение уровня минерального питания. Следует отметить, что у мягкой пшеницы Родина и Саратовская 29 положительное влияние недостатка влаги на белковость зерна проявлялось более сильно при высоком уровне минерального питания, в то время как у сорта Ролетта в этом случае отмечено существенное снижение данного показателя.

Влияние изучаемых факторов на содержание сырой клейковины в зерне было аналогичным, о чем свидетельствует тесная прямая зави-

Таблица 2

Фракционный состав белка зерна яровой пшеницы

Показатель	1,5 н. Кюпа				3,0 н. Кюпа			
	Родина	Саратовская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта	Родина	Саратовская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта
Белок (N×5,7), %	10,0	10,8	9,2	12,0	16,4	14,1	15,5	21,8
	10,3	11,7	10,7	14,3	18,0	20,6	16,6	17,2
Фракции белка, % к сумме:								
альбумины и глобулины	37,0	38,7	39,8	38,9	21,5	21,2	16,4	17,8
	32,0	32,5	31,3	34,0	18,1	16,1	13,0	20,7
глиадины	35,2	30,0	33,0	30,3	44,6	43,5	49,1	45,2
	38,3	34,7	36,6	32,7	50,2	47,1	50,7	43,5
глутенины	20,3	20,2	19,5	20,7	25,8	25,2	25,5	26,8
	23,1	22,5	23,3	25,1	25,2	28,2	28,2	27,0
остаточные белки	7,5	11,1	7,6	10,1	8,1	10,1	9,0	10,1
	6,6	10,3	8,8	8,2	6,5	8,6	8,1	8,8
Глиадины: глутенины	1,7	1,5	1,7	1,5	1,7	1,7	1,9	1,7
	1,6	1,5	1,6	1,3	2,0	1,7	1,8	1,6

## Содержание незаменимых аминокислот в белке зерна яровой пшеницы (г на 100 г)

Аминокислота	1,5 н. Кюпа				3,0 н. Кюпа			
	Родина	Саратов- ская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта	Родина	Саратов- ская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта
Лизин	3,63	3,55	3,47	3,42	3,11	3,14	3,23	3,12
	3,53	3,55	3,41	3,32	3,17	3,16	3,20	3,31
Фенилаланин	4,11	4,01	4,14	3,98	4,31	4,42	4,45	4,39
	4,44	4,42	4,27	4,11	3,37	3,42	3,48	3,61
Лейцин	6,77	6,58	6,57	6,67	6,25	6,22	6,38	6,26
	6,56	6,72	6,61	6,72	6,15	6,01	6,11	6,13
Изолейцин	3,12	3,25	3,17	3,21	3,09	3,13	3,22	3,17
	3,13	3,14	3,22	3,22	3,01	3,10	3,16	3,20
Метионин	1,05	1,07	1,10	1,21	0,81	0,72	0,83	0,79
	1,11	1,12	1,25	1,22	0,91	1,00	0,88	0,92
Валин	4,44	4,37	4,30	4,25	3,81	3,95	3,85	3,87
	4,56	4,42	4,38	4,41	3,97	3,81	3,91	4,02
Треонин	2,77	2,65	2,77	2,76	2,72	2,62	2,37	2,57
	2,78	2,66	2,67	2,85	2,74	2,72	2,61	2,66
Сумма	25,89	25,48	25,52	25,50	24,10	24,20	24,53	24,12
	26,11	26,03	25,81	25,85	23,32	23,22	23,35	23,85

симость между этими важнейшими показателями качества зерна ( $r = +0,9188$ ). Сорты Ролетта, Саратовская 29 и Родина характеризовались примерно одинаковым, но заметно бóльшим, чем сорт К-378 Ред 1499, содержанием в зерне сырой клейковины. При повышении уровня минерального питания этот показатель увеличивался в зависимости от влагообеспеченности растений в 2,0—2,1 раза у сорта Родина, 1,4—2,0 раза — у сорта Саратовская 29 и в 1,6—1,7 раза — у сортов К-378 Ред 1499 и Ролетта. Недостаток влаги также приводил к некоторому повышению содержания сырой клейковины в зерне независимо от уровня минерального питания. Заметим, что у сорта Саратовская 29 при низком уровне минерального питания оно не отмечалось, а при высоком уровне было значительным.

Крахмал — основное запасное вещество зерна. Между его содержанием и содержанием белка в зерне выявлена высокодостоверная отрицательная корреляция ( $r = -0,8372$ ). Сортовые различия по содержанию крахмала были незначительными, хотя К-378 Ред 1499 отличался от других сортов несколько большей крахмалистостью зерна. Отметим, что содержание белка и сырой клейковины у этого сорта было меньше, чем у других сортов. Повышение уровня минерального питания обуславливало сильное снижение содержания крахмала у всех сортов независимо от влагообеспеченности. В то же время недостаток влаги в течение 20 дней после колошения не оказывал определенного влияния на этот показатель у изучаемых сортов, за исключением сорта Ролетта, у которого в данном случае он значительно снижался при обоих уровнях минерального питания.

Повышение уровня минерального питания и ухудшение влагообеспеченности растений вызывали тенденцию к увеличению содержания клетчатки в зерне. Среди сравниваемых сортов бóльшим содержанием клетчатки отличался сорт Ролетта.

Содержание жира в зерне у всех сортов снижалось при повышении уровня минерального питания, но не изменялось при ухудшении условий влагообеспеченности растений. Сорт Ролетта отличался от других сортов несколько более высоким содержанием жира в зерне.

Содержание незаменимых аминокислот в зерне яровой пшеницы (г/кг)

Аминокислота	1,5 н. Кнопка				3,0 н. Кнопка			
	Родина	Саратов- ская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта	Родина	Саратов- ская 20	К-378 Ред 1499	Ролетта
Лизин	3,6	3,8	3,2	4,1	5,1	4,4	5,0	6,8
	3,6	4,2	3,6	4,8	5,7	6,5	5,3	5,7
Фенилаланин	4,1	4,3	3,8	4,8	7,1	6,2	6,9	9,6
	4,6	5,2	4,6	5,9	6,1	7,0	5,8	6,2
Лейцин	6,8	7,1	6,0	8,0	10,2	8,8	9,9	13,6
	6,8	7,9	7,1	9,6	11,1	12,4	10,1	10,5
Изолейцин	3,1	3,5	2,9	3,8	5,1	4,4	5,0	6,9
	3,2	3,7	3,4	4,6	5,4	6,4	5,2	5,5
Метионин	1,1	1,2	1,0	1,4	1,3	1,0	1,3	1,7
	1,1	1,3	1,3	1,7	1,6	2,1	1,5	1,6
Валин	4,4	4,7	4,0	5,1	6,2	5,6	6,0	8,4
	4,7	5,2	4,7	6,3	7,2	7,8	6,5	6,9
Треонин	2,8	2,9	2,6	3,3	4,5	4,0	4,0	5,5
	2,9	3,1	2,9	4,1	4,9	5,6	4,3	4,6
Сумма	25,9	27,5	23,5	30,5	39,5	34,4	38,1	52,5
	26,9	30,6	27,6	37,0	42,0	47,8	38,7	41,0
Белок в зерне, %	10,0	10,8	9,2	12,0	16,4	14,1	15,5	21,8
	10,3	11,7	10,7	14,3	18,0	20,6	16,6	17,2

Таким образом, при повышении уровня минерального питания заметно изменялся биохимический состав зерна: в нем значительно повышалось содержание белка, сырой клейковины и клетчатки и снижалось содержание крахмала и жира. Недостаток влаги в течение 20 дней после колошения не только не ухудшал качества зерна, но даже заметно улучшал его за счет повышения содержания белка и сырой клейковины, при этом содержание крахмала и жира оставалось без изменений.

Данные табл. 2 свидетельствуют о значительном влиянии минерального питания и влагообеспеченности на соотношение белковых фракций в суммарном белке зерна. Повышение уровня минерального питания резко увеличивало содержание суммарного белка в зерне, но при этом в его составе заметно уменьшилось количество наиболее ценных в питательном отношении белковых фракций — альбуминов и глобулинов и увеличилась доля наименее ценных спирторастворимых белков — глиадинов, а также глютеинов; количество нерастворимого остатка оставалось без изменений. Несколько увеличилось отношение глиадинов к глютеинам, что свидетельствует о снижении качества клейковины, а следовательно, хлебопекарных свойств пшеницы [14]. Здесь уместно отметить, что в среднем по вариантам опыта наиболее благоприятным соотношением глиадинов и глютеинов отличались сорта Ролетта (твердая пшеница) и Саратовская 29 (мягкая пшеница).

Недостаток влаги в период после колошения оказывал менее значительное влияние на соотношение белковых фракций в суммарном белке, чем повышение уровня минерального питания. В этом случае несколько уменьшилось количество альбуминов и глобулинов в суммарном белке и увеличилось количество глиадинов и глютеинов. При этом доля остаточных белков и отношение глиадинов к глютеинам оставались почти без изменения.

В целом по опыту содержание белка в зерне отрицательно коррелировало с количеством альбуминов и глобулинов в белке ( $r =$

Сбор незаменимых аминокислот с урожаем зерна яровой пшеницы (мг на сосуд)

Аминокислота	1,5 н. Кюпа				3,0 н. Кюпа			
	Родина	Саратов- ская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта	Родина	Саратов- ская 29	К-378 Ред 1499	Ролетта
Лизин	76	93	73	81	189	169	210	184
	82	104	79	78	158	154	186	146
Фенилаланин	87	105	86	95	263	239	290	259
	104	128	101	96	169	166	203	159
Лейцин	144	174	136	157	377	339	416	367
	154	195	156	155	307	294	354	270
Изолейцин	66	86	66	75	188	169	210	186
	73	91	75	74	150	152	182	141
Метинин	23	29	23	28	48	38	55	46
	25	32	29	28	44	50	52	41
Валин	93	115	91	100	229	216	252	227
	107	128	103	102	199	185	228	177
Треонин	59	71	59	65	66	154	168	148
	66	77	64	66	136	133	150	118
Сумма	548	673	534	601	1460	1324	1601	1417
	611	755	607	599	1163	1134	1355	1052
Белок в зерне, %	10,0	10,8	9,2	12,0	16,4	14,1	15,5	21,8
	10,3	11,7	10,7	14,3	18,0	20,6	16,6	17,2
Урожай зерна, г/сосуд	21,2	24,5	22,7	19,7	37,0	38,5	42,0	27,2
	22,7	24,7	22,0	16,2	27,7	23,7	35,0	25,7

= -0,8472). Связь между содержанием белка в зерне и количеством глиадинов и глютелинов в белке была высокодостоверной ( $r = +0,7639$  и  $r = +0,8658$ ). Доля фракций альбуминов и глобулинов отрицательно коррелировала с долей фракции глиадинов ( $r = -0,9705$ ) и глютелинов ( $r = -0,9551$ ).

Таким образом, повышение уровня минерального питания и недостаток влаги в период после колошения приводили к резкому увеличению содержания суммарного белка в зерне и значительному изменению в нем соотношения белковых фракций. При этом в суммарном белке уменьшалось количество водо- и солерастворимых белков (альбуминов и глобулинов) и увеличилось количество спирто- и щелочерастворимых белков (глиадинов и глютелинов).

В настоящее время хорошо известно, что белковые фракции различаются по содержанию отдельных аминокислот [10, 12, 14]. Поэтому отмеченные выше изменения в соотношении белковых фракций под влиянием уровня минерального питания и влагообеспеченности могли вызвать определенные изменения в аминокислотном составе суммарного белка. Наши исследования показали, что при повышении уровня минерального питания заметно уменьшилось содержание в белке большинства незаменимых аминокислот и их суммы при обоих режимах влагообеспеченности растений (табл. 3). В составе суммарного белка увеличились доли глиадинов и глютелинов (в меньшей степени) за счет уменьшения количества альбуминов и глобулинов. Недостаток влаги в течение 20 дней в критический период водопотребления растений не оказывал существенного влияния на аминокислотный состав белка.

Для оценки пищевой и кормовой ценности зерна необходимо знать содержание в нем незаменимых аминокислот. Как указывалось выше, при повышении уровня минерального питания содержание отдельных

незаменимых аминокислот и их суммы в белке значительно снижалось, однако количество этих аминокислот в зерне заметно увеличивалось (табл. 4) за счет общего повышения содержания белка в зерне. Аналогичное положительное влияние повышения уровня минерального питания на содержание незаменимых аминокислот в зерне отмечено также в вариантах с недостатком влаги.

При уменьшении влагообеспеченности растений до 40 % ПВ в фазу колошения заметно, но значительно слабее, чем при повышении уровня минерального питания, увеличивалось содержание незаменимых аминокислот в зерне.

Следует отметить, что почти во всех вариантах опыта сорт Ролетта отличался от других сортов более высоким содержанием незаменимых аминокислот в зерне, что объясняется повышенной белковостью последнего.

Особый интерес представляют результаты определения сбора незаменимых аминокислот с урожаем зерна. Наши данные свидетельствуют о сильном влиянии уровня минерального питания на этот показатель (табл. 5). Так, при нормальной (80 % ПВ) влагообеспеченности повышение уровня минерального питания приводило к увеличению сбора незаменимых аминокислот у изучаемых сортов с 534—673 до 1324—1601 мг на сосуд, т. е. почти в 3 раза. Примерно такое же положительное влияние повышения уровня минерального питания на сбор незаменимых аминокислот отмечено и при недостатке влаги.

Влияние влагообеспеченности на сбор незаменимых аминокислот с урожаем зерна зависело от уровня минерального питания. При нормальном для пшеницы уровне минерального питания (1,5 н. смеси Кнопа) снижение влагообеспеченности не оказывало отрицательного влияния на этот показатель и даже несколько увеличивало его. Это обусловлено главным образом некоторым повышением содержания белка в зерне (урожай в данном случае оставался практически без изменения). В то же время при высоком уровне минерального питания (3,0 н. смеси Кнопа) недостаток влаги вызывал значительное снижение сбора незаменимых аминокислот, несмотря на повышение белковости зерна, что объясняется заметным снижением урожая зерна. Исключение составил сорт Ролетта, снижение сбора как отдельных, так и всех незаменимых аминокислот у которого в этом случае обусловлено некоторым уменьшением урожая зерна и содержания в нем белка.

### Выводы

1. При повышении уровня минерального питания с 1,5 до 3,0 н. раствора Кнопа заметно изменялся биохимический состав зерна всех изучавшихся сортов яровой пшеницы. При этом содержание белка, сырой клейковины и клетчатки в зерне значительно увеличивалось, а количество крахмала и жира снижалось.

2. Недостаток влаги в течение 20 дней после колошения растений не ухудшал качество зерна. В этом случае в нем повышалось содержание белка и сырой клейковины и почти не изменялось количество крахмала и жира.

3. Повышение уровня минерального питания с 1,5 до 3,0 н. раствора Кнопа в сочетании с недостатком влаги в течение 20 дней после колошения растений снижало концентрацию незаменимых аминокислот в белке зерна вследствие изменения соотношения белковых фракций, но значительно повышало их содержание в расчете на единицу массы зерна благодаря увеличению белковости последнего.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин Н. И., Жемела Г. И. Повышение качества зерна. — В кн.: Пшеница. Киев: Урожай, 1977, с. 220—238. — 2. Журбицкий З. И. Теория и практика вегетационного метода. — М.: Наука, 1968. — 3. Коданев И. М. Повышение

качества зерна. М.: Колос, 1976. — 4. Ко -  
нарев В. Г. Белки пшеницы. — М.: Ко -  
лос, 1980. — 5. Кретович В. Л. Биохимия  
зерна. — М.: Наука, 1981. — 6. Ку -  
маков В. А. Физиология яровой пшеницы.  
— М.: Колос, 1980. — 7. Литтл Т.,  
Хиллз Ф. Сельскохозяйственное опытное  
дело. — М.: Колос, 1981. — 8. Минев  
В. Г., Павлов А. Н. Агрохимические  
основы повышения качества зерна пшеницы.  
— М.: Колос, 1981. — 9. Плешков  
Б. П. Практикум по биохимии растений.  
— М.: Колос, 1976. — 10. Плешков  
Б. П. Биохимия сельскохозяйственных  
растений. — М.: Колос, 1980. — 11. По -  
лимбетова Ф. А., Мамонов Л. К. Физиология  
яровой пшеницы в Казахстане. —  
Алма-Ата: Наука КазССР, 1980. — 12.  
Ракипов Н. Г. Исходный материал для  
селекции на качество зерна. — М.:

ВИНИТИ АН СССР, 1982. — 13. Созинов  
А. А. Химический состав и качество  
зерна. — В кн.: Пшеница. Киев: Урожай,  
1977, с. 206—220. — 14. Тютюрев С. Д.,  
Чмелева Э. В., Мойса И. И., Дорофеев  
В. Ф. Изучение содержания белка и  
незаменимых аминокислот в зерне видов  
пшеницы и ее диких сородичей. — Тр. по  
прикл. ботанике, генетике и селекции. Л.:  
ВИР. 1973, т. 52, вып. 1, с. 222—240. —  
15. Muncik L. — Hereditas, 1972, vol. 72,  
N 11, p. 1—128. — 16. Norton G. Plant  
proteins. L.: Butterworths, 1978. — 17. Raz -  
zaque M. A. Wheat production manual. —  
Bangladesh Agric. Res. Inst., Agric. Inf.  
Serv., FAO/UNDP Project, Strengthening  
the Agric. Extension Service, 1982.

*Статья поступила 10 августа 1985 г.*

#### SUMMARY

Experiment with four spring wheat varieties in sand culture has shown that higher level of mineral nutrition changes considerably the biochemical composition of grain towards higher content of protein, crude gluten and fiber and lower content of starch and fat. Moisture deficiency during 20 days after ear formation has increased the content of protein and crude gluten in the grain and has had almost no influence on starch and fat content. Higher level of mineral nutrition and moisture deficiency during 20 days after ear formation reduced the content of indispensable amino acids in the grain protein of all the varieties studied and increased their content per unit of grain mass due to higher protein content of the latter.