

УДК 581.1

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕРНОВЫХ ЗЛАКОВ

В.В. МОРГУН, В.В. ШВАРТАУ, Д.А. КИРИЗИЙ

*Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины
03022 Киев, ул. Васильковская, 31/17
e-mail: plant@ifrg.kiev.ua*

Обзор посвящен основным факторам, которые обуславливают наиболее полное раскрытие генетического потенциала продуктивности зерновых злаков. Проанализированы мировые тенденции производства зерна и место Украины среди ведущих стран-производителей. Рассмотрены условия получения рекордных урожаев, физиологические основы продукционного процесса растений, роль минерального питания в формировании высоких урожаев, факторы, которые лимитируют продуктивность, в частности влияние сорняков, вредителей и болезней, а также стратегические вопросы дальнейшего наращивания продуктивности зерновых злаков. Подчеркивается, что Украина по своим потенциальным возможностям способна внести существенный вклад в решение продовольственной проблемы в мировых масштабах, при этом главную роль будут играть сорта, удобрения и технологии.

Ключевые слова: зерновые злаки, продуктивность, минеральное питание, технологии.

Быстрый рост населения земного шара ставит перед мировым сообществом задачи, от успехов в решении которых зависит последующее существование человечества. Предполагается, что к середине XXI ст. население Земли достигнет своего максимума, а расширение площадей пахотных земель, которое длилось в течение последних 5000 лет человеческой истории, полностью прекратится. В 1960-х годах две трети всех людей проживали в сельской местности, а в 2030-х ожидается такая же пропорция для городских жителей. Увеличение количества пищи и другой сельскохозяйственной продукции будет зависеть от интенсификации земледелия и технологий, сосредоточенных на повышении эффективности использования ресурсов и минимизации влияния на окружающую среду. Из анализа ФАО для сельскохозяйственного производства следует, что в дальнейшем будет преобладать спрос, по сравнению с производством, причем последнее будет зависеть от наукоемких технологий.

Вместе с тем в последние годы мировое сообщество все больше обеспокоено состоянием глобальной обеспеченности продовольствием. В июне 2008 г. в Риме состоялась встреча представителей 180 стран и Европейского Союза при участии руководителей многих государств и правительств, которые считают, что международному сообществу необходимо предпринять срочные и скоординированные усилия для борьбы с нехваткой продовольствия, особенно в самых бедных странах мира. Такая обеспокоенность вполне обоснована. Впервые с начала мониторинга

ФАО количество хронически голодающих людей превысило показатели базового периода 1990—1992 гг. По оценкам ФАО, количество голодающих в мире выросло в 2007 г. на 75 млн и достигло 923 млн человек [14]. Первые успехи в борьбе с голодом, достигнутые в ряде регионов до конца 1990-х годов, оказались неустойчивыми. За последние 10 лет продовольствия произведено больше, чем когда-либо, но голод продолжает распространяться. Такой неутешительный результат, по мнению Генерального директора ФАО, отображает отсутствие согласованных мероприятий по борьбе с голодом, несмотря на обязательства, которые берут на себя развитые страны. ООН поставила перед собой задание по сокращению числа голодающих на 500 млн человек до 2015 г., что требует больших и решительных усилий, а также конкретных действий в глобальном масштабе.

В связи с этим хлебные злаки привлекают внимание ученых, экономистов и государственных деятелей во всем мире, поскольку они занимают центральное место в рационе питания человека и охватывают половину мировых пахотных земель. Если учитывать прямое потребление (хлеб или приготовленное зерно) с непрямым (приблизительно 40 % всего зерна идет на корм животным для получения мяса и молока), то зерновые злаки составляют приблизительно две трети общего потребления калорий человеком. Поэтому как позитивные, так и негативные тенденции их производства в глобальных масштабах во многом отражаются на безопасности существования человечества и находятся под контролем мирового сообщества.

Из экономических факторов, негативно влияющих на производство продуктов питания, можно отметить высокие цены на удобрения и транспортные расходы, ограниченность земельных и водных ресурсов, а также быстрый рост спроса на биотопливо. По данным Международного энергетического агентства, в последующие 20 лет часть мировых земель, которые обрабатываются для выращивания биомассы с целью получения жидкого биотоплива, может вырасти втрое. За 2007—2008 гг. для производства биотоплива использовано около 100 млн т зерновых, что составляет 4,7 % их мирового производства. В частности, возросший спрос на зерновое сырье для биотоплива стимулировал резкое увеличение мирового производства кукурузы, что хорошо иллюстрирует рис. 1 (по

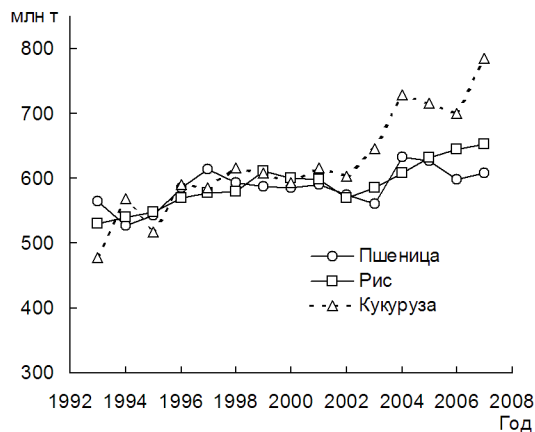


Рис. 1. Динамика валовых сборов основных зерновых культур в мире (по данным ФАО)

данным ФАО [<http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>]). Если в 1990-е годы валовое производство главных зерновых культур — пшеницы, риса и кукурузы — было почти одинаковым, то с 2002 г., когда в развитых странах активно стали разворачиваться государственные программы получения биотоплива, стимулируемые стремительным ростом цен на нефть, производство кукурузы стало существенно превышать производство пшеницы и риса. Такая тенденция вызывает

обеспокоенность, поскольку площадь пахотных земель практически достигла предела экологической безопасности, и производство зерна на биотопливо неминуемо приведет к сокращению его количества для пищевых нужд.

Глобальные аспекты производства зерна хлебных злаков. Самыми крупными производителями зерна хлебных злаков являются США, Китай и Индия (табл. 1). Вместе эти три государства производят около половины всего зерна в мире. По 2,3—3,4 % мирового валового сбора производят Франция, Германия, Россия, Канада, Бразилия. Украина по этому показателю находится на уровне таких государств как Австралия, Аргентина, Великобритания.

Среди хлебных злаков по своей значимости пшеница занимает первое место, поскольку ее пищевая ценность и высокая экологическая пластичность (которая делает ее пригодной для выращивания в самых разнообразных климатических условиях) являются непревзойденными [7, 8, 10]. Эта культура выращивается практически во всех странах, которые имеют достаточно развитое сельскохозяйственное производство, и составляет основу пищевого рациона подавляющей части человечества.

Больше всего пшеницы в расчете на душу населения в начале 1990-х годов производила Канада, она же была и самым крупным экспортером зерна по этому показателю (табл. 2). Однако в последнее время ее опередила Австралия. Много зерна относительно количества населения производят и экспортируют Франция и Аргентина. Украина по производству и экспорту зерна пшеницы на душу населения находится рядом с такими государствами, как Германия, Великобритания, Россия и даже США. Следует отметить, что в последней стране с начала XXI в. заметно сократились посевные площади и сбор зерна пшеницы, что хорошо видно из данных табл. 3. Это связано с отмеченным выше расширением посевов кукурузы, выращиваемой в качестве сырья для биотоплива.

Несмотря на это США остаются крупнейшим в мире экспортером зерна пшеницы по валовым показателям. В 2005 г. они экспортировали 27,4 млн т, тогда как Украина — чуть больше 6 млн т. Много зерна экспортируют Франция — 17,1 млн т, Австралия и Канада — приблизительно по 14 млн т, Россия и Аргентина — по 10 млн т. Великобритания в 2005 г. экспортировала лишь 2,7 млн т. Заметим, что вдвое больший показатель экспорта зерна Австралией по сравнению с Украиной при приблизительно одинаковом валовом производстве объясняется, в частности, в 2,5 раза меньшим количеством ее населения.

Из ведущих стран мира больше всего пшеницы производят Китай, Индия и США (см. табл. 3), но первые две страны почти все зерно потребляют для собственных нужд (см. табл. 2), а в США за последние 15 лет валовое производство зерна этой культуры, как уже отмечалось, сократилось на 8,5 %. Следующими по валовому производству идут Россия, Франция, Канада и Германия. Украина по сбору зерна пшеницы находится рядом с Великобританией, Австралией, Аргентиной. Следует отметить, что если в Украине и Аргентине посевные площади под пшеницей отличаются мало, то в Великобритании они почти втрое меньше, а в Австралии — вдвое больше. Соответственно и средняя урожайность пшеницы в последние годы в Великобритании составляет 77,8 ц/га, тогда как в Австралии — лишь 13, а в Украине и Аргентине — около 25 ц/га. Самые большие посевные площади пшеницы имеют Китай, Индия, Россия и США (20—25 млн га), вдвое меньше — Австралия (около

ТАБЛИЦА 1. Производство зерна хлебных злаков (по данным ФАО)

Страна	Производство, тыс. т					Часть в мире, %				
	1989—1991	1999—2001	2003	2004	2004	1989—1991	1999—2001	2003	2004	2004
Великобритания	22 644	21 691	21 511	22 030	22 030	1,19	1,04	1,03	1,04	0,97
Франция	57 683	63 426	54 940	70 534	70 534	3,03	3,04	2,63	3,04	3,11
Германия	37 910	46 473	39 426	51 097	51 097	1,99	2,23	1,89	2,23	2,25
Российская Федерация	—	67 190	65 562	76 231	76 231	—	3,22	3,14	3,22	3,36
Украина	—	28 878	19 662	40 997	40 997	—	1,39	0,94	1,39	1,81
США	29 2217	33 4614	348 897	389 066	389 066	15,35	16,05	16,73	16,05	17,14
Канада	52 917	49 502	50 174	52 684	52 684	2,78	2,37	2,41	2,37	2,32
Бразилия	37 702	50 148	67 453	63 812	63 812	1,98	2,41	3,23	2,41	2,81
Аргентина	19 988	36 569	33 961	34 212	34 212	1,05	1,75	1,63	1,75	1,51
Индия	195 478	238 012	233 406	232 360	232 360	10,27	11,42	11,19	11,42	10,23
Китай	390 171	420 308	376 123	413 166	413 166	20,49	20,16	18,03	20,16	18,2
Австралия	21 390	36 232	41 652	31 520	31 520	1,12	1,74	2,00	1,74	1,39
Всего в мире	190 3961	2 084 615	2 085 774	2 270 360	2 270 360	100	100	100	100	100

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ

ТАБЛИЦА 2. Производство и экспорт зерна пшеницы (кг на человека в год, по данным ФАО)

Страна	Производство			Экспорт		
	1990—1992	1995—1997	2003—2005	1990—1992	1995—1997	2003—2005
Аргентина	313	385	374	184	197	234
Австралия	786	1083	1214	622	774	717
Бразилия	19	15	30	0	0	3
Канада	1116	891	768	784	606	450
Китай	84	91	70	0	1	1
Франция	586	575	589	346	307	291
Германия	198	230	276	55	63	73
Индия	61	68	62	0	1	2
Российская Федерация	309	245	293	0	3	55
Украина	379	317	281	16	25	69
Великобритания	247	261	248	78	66	59
США	252	231	202	125	115	99

12 млн га), еще меньше — Канада (с тенденцией к сокращению), дальше идут Украина, Аргентина и Франция (5,3—6 млн га), потом Германия и Великобритания. Вместе с тем последние три страны значительно опережают другие по средней урожайности (около 70 ц/га), тогда как в Австралии этот показатель в последние годы самый низкий (очевидно, из-за неблагоприятных погодных условий, в первую очередь — засухи). Достаточно высокая урожайность пшеницы достигнута в Китае. Украина по этому показателю находится на уровне США, Аргентины, Канады, Индии и опережает такие страны, как Бразилия и Россия.

Если исходить из данных ФАО по отдельным странам за последние 15 лет, можно отметить разнонаправленную динамику средней урожайности. В Китае она существенно выросла, такая же тенденция к увеличению (хотя и на другом среднем фоне) наблюдается в России, Аргентине, Бразилии, Канаде. В Австралии, напротив, за последние 10 лет наблюдалось уменьшение этого показателя. В Украине средняя урожайность пшеницы, после некоторого снижения по сравнению с началом 1990-х годов стабилизировалась на уровне 25 ц/г. Однако вне сомнений, что Украина по своему потенциалу способна получать урожаи намного выше, чем Франция или Германия. Определенную надежду на это дает тот факт, что по данным Госкомстата Украины средняя урожайность пшеницы в 2008 г. составляла 36,7 ц/га. Вместе с некоторым расширением посевных площадей это позволило получить валовой сбор 25,9 млн т зерна, что на 86 % больше, чем в 2007 г., и вывести нашу страну по этому показателю на один уровень с Канадой или Германией и опередить Австралию и Великобританию. Разумеется, существенную роль при этом сыграли благоприятные погодные условия, но такой успех был бы невозможен без усилий, приложенных селекционерами и хлеборобами в «битве» за урожай.

Рекордные урожаи в Украине и мире. В последнее десятилетие селекционерами Института физиологии растений и генетики НАН Украины и Мироновского института пшеницы им. В.Н. Ремесло НААН Украины

ТАБЛИЦА 3. Урожайность пшеницы в ведущих странах мира (среднее по годам, по данным ФАО)

Страна	1993—1995	1996—1998	1999—2001	2002—2004	2005—2007
Валовое производство зерна, млн т					
Аргентина	10,23	14,60	15,68	14,27	13,71
Австралия	13,98	21,68	23,72	19,39	16,32
Бразилия	1,94	2,68	2,50	5,03	3,71
Канада	25,05	26,05	24,70	21,27	23,88
Китай	102,64	114,53	102,46	89,58	103,93
Франция	30,20	36,53	35,31	36,37	35,16
Германия	16,69	19,65	21,36	21,83	22,50
Индия	60,94	65,93	72,45	70,23	70,96
Российская Федерация	35,26	35,40	37,48	43,38	47,36
Украина	17,32	15,63	15,04	13,89	15,48
Великобритания	13,51	15,52	14,38	15,24	14,32
США	62,60	66,28	58,78	55,42	53,40
Посевные площади, млн га					
Аргентина	5,00	6,15	6,53	5,95	5,32
Австралия	8,50	10,97	12,00	12,55	12,37
Бразилия	1,28	1,58	1,35	2,49	1,91
Канада	11,42	11,45	10,61	9,44	9,25
Китай	29,36	29,81	26,72	22,51	23,01
Франция	4,61	5,13	5,04	5,11	5,28
Германия	2,47	2,71	2,82	3,03	3,10
Индия	25,15	25,86	26,91	26,05	26,97
Российская Федерация	22,81	22,14	21,31	22,47	24,06
Украина	5,24	6,01	5,99	4,91	6,18
Великобритания	1,81	2,02	1,86	1,94	1,84
США	25,02	24,90	20,97	20,08	19,96
Средняя урожайность, ц/га					
Аргентина	20,4	23,8	24,1	24,0	25,7
Австралия	16,3	19,7	19,8	15,1	13,0
Бразилия	15,3	16,9	18,3	19,8	19,2
Канада	21,9	22,7	23,3	22,4	25,8
Китай	35,0	38,4	38,3	39,9	45,2
Франция	65,5	71,2	69,9	70,9	66,6
Германия	67,4	72,5	75,7	71,9	72,6
Индия	24,2	25,5	26,9	27,0	26,3
Российская Федерация	15,4	15,8	17,5	19,2	19,7
Украина	32,8	25,9	24,6	25,6	24,9
Великобритания	74,6	76,9	77,1	78,5	77,8
США	25,0	26,7	28,0	27,4	26,7

под руководством академика НАН Украины В.В. Моргуна, благодаря разработанным оригинальным методам селекции, создано 30 сортов озимой пшеницы, которые занесены в Государственный реестр сортов Украины и рекомендованы для выращивания во всех зонах Украины. Среди них высокоинтенсивные сорта — Смуглянка, Колумбия, Золотоколоса, Володарка, Фаворитка; сорта с высоким качеством зерна — Ятрань 60, Киевская 8, Переяславка, Ласуня, Зимоярка, Трипольская, Сонечко, Наталка, Почаївка; сорта универсального использования — Подолянка, Богдана, Снегурка, Видбирна, Винничанка, Трипольская; созданные впервые в Украине сорта специального использования — Пивна, Зимоярка и Хуторянка. Генетический потенциал этих сортов достигает свыше 100—124 ц/га. Следует отметить принципиально новые озимо-ярые сорта Зимоярка и Хуторянка — двуручки, которые отличаются исключительной пластичностью и могут высеваться осенью или весной. Важной чертой высокопродуктивных сортов является раннеспелость. К группе раннеспелых сортов относятся Веснянка, Почаївка, Солоха, Колумбия.

Созданные сорта впервые за всю историю Госсортоиспытаний в Украине сформировали рекордные стабильные урожаи зерна в 115,2—124,1 ц/га: Смуглянка — 115,2, Золотоколоса — 117,3, Фаворитка — 124,1 ц/га. В крайне засушливых условиях 2007 г. сорта озимой пшеницы селекции ИФРГ НАН Украины обеспечили высокий урожай зерна во всех зонах Украины. Сорт Смуглянка сформировал урожай 43,0—109,5 ц/га в 20 хозяйствах 16 областей; Подолянка — 48,6—87,0 ц/га в 20 хозяйствах 8 областей; Володарка — 70,9—78,0 ц/га в 4 хозяйствах 4 областей; Фаворитка — 52,4—80,9 ц/га в 7 хозяйствах 5 областей; Золотоколоса — 41,4—76,6 ц/га в 10 хозяйствах 7 областей. И в 2008 г. сорта селекции ИФРГ НАН Украины обеспечили высокие уровни урожайности — до 90—100 ц/га и больше. Специалистами НПП «Райз-Агро» получены на производственных посевах такие урожаи зерна: сортов Богдана — 96 ц/га, Ятрань 60 — 93 ц/га в Подлисинском филиале Сумской обл.; Фаворитка — 106 ц/га, Богдана — 97 ц/га в Хухрянском филиале Сумской обл.; Богдана — 84 ц/га, Золотоколоса — 86 ц/га в Лубненском филиале Полтавской обл.

На полях Винницкой обл. в ЗАО «Зернопродукт МХП» в Гайсинском филиале урожайность составляла: Подолянки — 96,1 ц/га, Смуглянки — 79,4, Колумбии — 83,4, Золотоколосой — 80,2, Переяславки — 85,9, Володарки 87,7 ц/га; в Томашполе, ООО «Зернопродукт—Липовка» Колумбии — 75 ц/га.

На полях ПСП «Росава» Кагарлыцкого р-на Киевской обл. урожайность озимой пшеницы на площади 689 га составила 91,8 ц/га, в том числе сортов: Смуглянка — 95,6 ц/га, Винничанка — 91,3, Подолянка — 84,2, Колумбия — 85,5, Володарка — 88,1, Золотоколоса — 88,4 ц/га. На полях ООО «Заря» Днепропетровской обл. сорт Смуглянка сформировал урожай 104,9 ц/га зерна. Высокие урожаи получены в агроцентрах компании «Сингента». В агроцентре «Агрозахист Донбасс» сорт Подолянка сформировал 92 ц/га зерна на производственных посевах. В агроцентре «АгроРось» г. Корсунь-Шевченковский сорт Видбирна обеспечил урожай 80,5 ц/га, Фаворитка — 83,4, Веснянка — 79,9, Смуглянка — 80,1, Подолянка — 74,3, Золотоколоса — 78,5 ц/га. Именно такие сорта нужны Украине, чтобы вывести ее на достойное место среди ведущих государств-экспортеров пшеницы.

Литературные данные также свидетельствуют, что потенциал продуктивности озимой пшеницы может быть чрезвычайно высоким. В странах с наивысшей средней урожайностью (Великобритания, Германия и Франция) она составляет лишь половину официально зарегистрированных мировых рекордов. Еще в 1981 г. в Великобритании в полевых условиях был получен урожай 139,9 ц/га в смешанном посеве разных сортов [28]. Позже, в Новой Зеландии в Книгу рекордов Гиннеса были занесены урожаи двух английских фуражных сортов в 143 и 162 ц/га при влажности зерна 14 %, полученные с двух полей. В сезоне 2002—2003 гг. группа исследователей из Новой Зеландии в полевых опытах продемонстрировала пример получения урожая свыше 150 ц/га [21]. Опыты проводили с озимой фуражной пшеницей сорта Саванна в условиях искусственного орошения и двух доз (N_{207} и N_{230}) азотного питания, которые вносили в три приема. Фоновое содержание минерального азота в верхнем слое почвы (25 см) составляло 50 кг/га. Учитывая высокую подвижность этого элемента, можно предположить, что в метровом слое почвы, где размещается основная масса корней пшеницы, его запасы были в 2—3 раза больше. Результаты этих опытов приведены в табл. 4, из которой видно, что прибавка урожая при внесении высоких доз азотных удобрений была обусловлена увеличением как количества колосьев на 1 м², так и количества зерен в колосе. В результате количество зерен на 1 м² посева увеличилось почти на 50 %, что привело к соответствующему повышению урожайности. Масса одной зерновки практически не изменилась, что свидетельствует о высокой аттрагирующей способности зерновок этого сорта.

Особенностью проведенных опытов было то, что в контрольном варианте без внесения азота получен очень хороший (по утверждению самих авторов) урожай в 111 ц/га. Это можно объяснить несколькими факторами. Во-первых, исследуемый сорт был фуражным и, следовательно, вынос азота им ниже по сравнению с сильными или ценными сортами. Во-вторых, фоновое содержание азота в почве было достаточно высоким, а его доступность обеспечивалась искусственным орошением. В-третьих, погодные условия были очень благоприятными и совмещали умеренную среднесуточную температуру в течение налива зерна (16,5 °С) с высокой инсоляцией, которая была больше среднегодовой. Одной из составляющих высокого потенциала продуктивности является удлинение периода налива зерна, который в анализируемой работе составлял 40 сут.

Исходя из этих данных, можно сделать вывод, что в формировании рекордного урожая пшеницы при благоприятных погодных условиях

ТАБЛИЦА 4. Показатели зерновой продуктивности (влажность 14 %) фуражной озимой пшеницы сорта Саванна, выращенной в условиях искусственного орошения в Новой Зеландии в 2003 г. [21]

Вариант, дополнительное внесение N, кг/га	Урожай, т/га	Масса одной зерновки, мг	Колосьев на 1 м ² , шт.	Зерен на колос, шт.	Зерен на 1 м ² , шт.
0	11,1	52,9	402	52,2	20980
207	15,1	52,9	491	58,1	28530
230	15,5	53,3	494	58,9	29100
НСР ₀₅	0,74	2,15	47,7	—	—

(влагообеспеченность, температура, инсоляция) и оптимальной густоте посева вклад сорта составлял 60–70 %, а усиление минерального питания (в первую очередь азотного) — 30–40 %. Неблагоприятные погодные условия могут существенно уменьшить урожайность в зависимости от устойчивости генотипа.

В целом такие рекордные урожаи достаточно редки и, как правило, достигаются в результате благоприятного стечения обстоятельств. К тому же они нуждаются во внесении чрезвычайно высоких доз азотных удобрений, что предопределяет снижение коэффициентов усвоения азота. Из данных табл. 4 видно, что повышение обеспеченности азотом от фоновой в несколько раз привело к увеличению урожайности менее чем на 30 %.

Высокие урожаи зафиксированы и в Китае. На небольших участках в Тибете урожаи яровой и озимой пшеницы составляли соответственно 14,8 и 13,0 т/га. В Qinghai на небольших участках был получен урожай 15,3 т/га [43].

Результаты работ по достижению рекордных урожаев демонстрируют потенциальные возможности пшеницы и, среди прочего, дают основание для вывода о необходимости повышения эффективности использования азота новыми высокопродуктивными сортами, т. е. обеспечение получения высоких урожаев при меньших его дозах [13], особенно в связи со стремительным ростом мировых цен на удобрения в последние годы.

Статистика ФАО свидетельствует, что в США средняя урожайность пшеницы выросла с 11 ц/га в конце 1940-х годов до 26 ц/га в конце 1990-х, тогда как использование минеральных удобрений увеличилось с 20 до 120 кг/га. Во Франции за тот же период урожайность пшеницы выросла с 18 до 70 ц/га при применении минеральных удобрений соответственно 45 и 250 кг/га. Это свидетельствует о том, что повышение урожайности происходило меньшими темпами, чем повышение минерального питания, а следовательно, эффективность использования последнего растениями уменьшилась.

В то же время экономический анализ не отрицает целесообразности получения высоких урожаев даже при низких коэффициентах усвоения элементов питания (табл. 5).

Возвращаясь к анализу глобальных тенденций отметим, что валовой сбор зерна пшеницы в мире постепенно растет (см. рис. 1), хотя этот процесс подвержен некоторым колебаниям, как в результате влияния погодных условий, так и аграрной политики отдельных государств. Можно утверждать, что прирост обеспечивается именно повышением средней урожайности. Это хорошо видно на рис. 2, из которого следует, что в глобальном масштабе за последние 15 лет урожайность пшеницы выросла с 25 до 28,5 ц/га. По мнению многих исследователей, именно увеличение урожайности осталось единственным двигателем наращива-

ТАБЛИЦА 5. Стоимость единицы продукции при получении высоких урожаев пшеницы [79]

Показатель	Средний урожай в штате	Наивысший урожай у фермеров	Предыдущий интенсивный показатель	Наивысший показатель 1997 г.
Урожай, т/га	4,032	5,376	8,4	10,15
Цена за бушель, дол. США	3,76	3,25	2,55	2,15

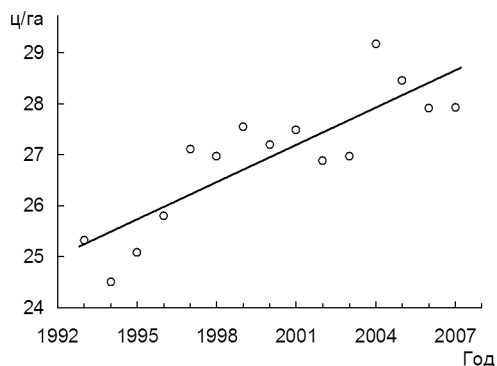


Рис. 2. Динамика средней урожайности пшеницы в мире (по данным ФАО)

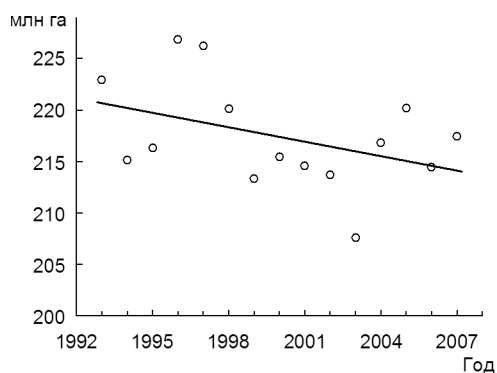


Рис. 3. Динамика посевных площадей пшеницы в мире

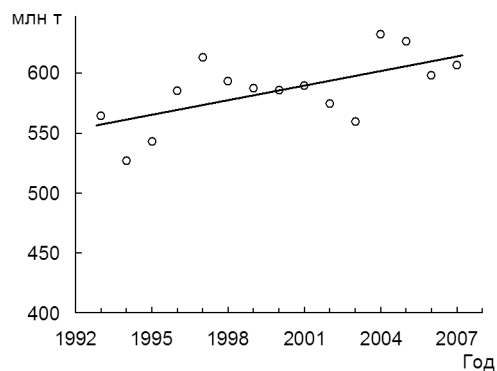


Рис. 4. Динамика валового сбора зерна пшеницы в мире

ния производства зерна [31]. Это подтверждается и данными рис. 3 и 4: наблюдается тенденция к сокращению посевных площадей пшеницы в мире, что вызвано отведением части земель под выращивание культур для получения биотоплива, для экологических программ, развития промышленности и т. п. При этом валовые сборы зерна в мире все же растут.

Решающую роль в повышении урожайности играет создание новых сортов с высоким генетическим потенциалом продуктивности и экологической пластичности, а также усовершенствование технологий выращивания, таких как методы возделывания почвы, управление питанием, контроль сорняков, вредителей, болезней.

Что касается первой составляющей получения высоких урожаев, то, невзирая на большие успехи селекционеров в выведении высокопродуктивных генотипов культурных растений, в том числе и пшеницы, создание новых сортов остается чрезвычайно сложной задачей, поскольку необходимые признаки часто отрицательно коррелируют друг с другом, и их сочетание в отдельном генотипе требует решения многих фундаментальных и прикладных научных проблем. При этом особое значение приобретают физиологические исследования. Определение физиологических механизмов, которые обуславливают проявление нужных признаков, расширяет возможности селекционеров и

может обеспечить более быстрое и эффективное достижение результата, чем простой отбор на урожайность [9]. Более глубокое понимание общей и частной физиологии культурных растений повышает эффективность генетических и генноинженерных технологий. В свою очередь, это стимулирует развитие физиологических исследований, расширяет и углубляет их задания и обеспечивает новую экспериментальную базу.

Роль питания в формировании высоких урожаев. Раскрытие генетического потенциала продуктивности озимой пшеницы неразрывно свя-

зано с внесением высоких сбалансированных доз NPK и микроэлементов. Главным направлением развития систем питания растений и создания высокоэффективных удобрений является разработка комплексных сложных форм препаратов. Наибольшее внимание уделяется созданию комплексных удобрений для внекорневой подкормки, которая дает возможность повысить коэффициенты усвоения питательных веществ растением и снизить их поступление в окружающую среду. Требования к элементам питания изменяются не только в зависимости от видовых и сортовых особенностей, но и от фаз роста и развития озимой пшеницы. Высокопродуктивные сорта озимой пшеницы являются азотофилами и основное количество азота вносится в I и II подкормки. По данным ФАО, самые высокие дозы азота применяются в Великобритании и Германии, где урожайность этой культуры наибольшая (табл. 6). Однако во Франции, где урожайность почти такая же, средняя доза азота вдвое меньше. Зато во Франции значительно больше вносится фосфора и калия. С одной стороны, это можно объяснить разницей агрохимических свойств почв, с другой — очевидно, что именно сбалансированность минерального питания пшеницы позволяет получать такие высокие урожаи. В США средняя доза азота, вносимого под пшеницу, не намного меньше, чем во Франции, но фосфора вносится в 2,6, а калия — в 7 раз меньше. При этом средняя урожайность пшеницы в США в 2,5 раза ниже, чем во Франции (см. табл. 3). Меньше всего азота вносится в Бразилии, хотя и на фоне относительно высокого внесения фосфора и калия (опять разбаланс), и, соответственно, средняя урожайность пшеницы в этой стране одна из самых низких. Эти примеры еще раз наглядно иллюстрируют аксиому, что минеральное питание растений должно быть сбалансированным по элементам, хотя и с обязательным учетом грунтово-климатических особенностей конкретного региона.

К сожалению, в Украине средние показатели внесения минеральных удобрений значительно сократились по сравнению с 1990 г. И хотя в последние годы наблюдается тенденция к их повышению, они все еще остаются ниже зафиксированных в развитых странах. По данным Госкомстата, по состоянию на 2006 г. в Украине в среднем вносилось: азотных удобрений — 27, фосфорных — 7, калийных — 6 кг/га (табл. 7). Очевидно, что средняя урожайность пшеницы в Украине, которая не хуже этого показателя в США, Канаде, Индии или Аргентине, где минеральных удобрений вносится в 2—3 раза больше, обусловлена высоким плодородием

ТАБЛИЦА 6. Внесение макроэлементов с минеральными удобрениями на посевах пшеницы в некоторых странах мира в 1998—2002 гг. (по данным ФАО)

Страна	Внесение, кг/га			Общее потребление, тыс. т		
	N	P	K	N	P	K
Аргентина	40,0	26,0	—	217,36	141,28	—
Бразилия	12,0	50,0	47,0	24,77	103,20	97,01
Канада	50,0	26,0	6,0	558,10	290,21	66,97
Франция	80,0	80,0	70,0	25,60	25,60	22,40
Германия	165,0	30,0	40,0	481,97	87,63	116,84
Индия	99,6	30,2	6,9	537,54	162,99	37,24
Великобритания	183,0	40,0	45,0	384,30	84,00	94,50
США	70,0	30,0	10,0	2014,61	863,41	287,80

ТАБЛИЦА 7. Динамика внесения минеральных, органических удобрений и химических мелиорантов в Украине [<http://minagro.kiev.ua>]

Показатель	1990	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Внесение минеральных удобрений								
всего тыс. т/	4242/	279/	401/	399/	379/	518,6/	557,9/	699,3/
в т. ч. на 1 га, кг	141	13	19	21	22	29	32	40
из них								
азотные								
всего тыс. т/	1784/	223/	318/	313/	272/	365/	376,9/	466,8/
в т. ч. на 1 га, кг	59	10	15	16	15,5	20,5	22	27
фосфорные								
всего тыс. т/	1280/	38/	52/	55/	65/	89/	101,6/	128,8/
в т. ч. на 1 га, кг	43	2	2,5	3	4	5	6	7
калийные								
всего тыс. т/	1178/	18/	31/	31/	42/	64/	79,4/	103,7/
в т. ч. на 1 га, кг	39	1	1,5	2	2,5	3,5	4	6
Внесение органических удобрений								
всего млн. т/	257/	28,4/	26,5/	22,7/	17,4/	15,1/	13,2/	13,0/
в т. ч. на 1 га, т	8,6	1,3	1,3	1,2	1,0	0,8	0,8	0,7
Известкование:								
тыс. га/	1439/	24/	26,7/	21,5/	23,5/	40,9/	41,7/	43,9/
всего тыс. т	7627	169,7	191,1	143,8	132,0	222,8	243,1	283,4
Гипсование:								
тыс. га/	305/	5/	3,6/	5/	1,6/	3,8/	2,7/	5,7/
всего тыс. т	1341	27	14,3	25	5,4	16,5	12,1	30,4

украинских почв, которые без преувеличения можно назвать национальным достоянием. Однако уровень их плодородия находится под угрозой, поскольку в последние годы практически не вносятся органические, фосфорные и калийные удобрения (см. табл. 7), что вызывает истощение запасов гумуса, а предлагаемое использование соломы как биотоплива может окончательно уничтожить украинские черноземы.

Эффективность использования удобрений в Украине также низкая. По данным ФАО, прибавка урожая зерна от применения 1 кг азота составляет: в Германии — 20,3, Франции — 21,2, Великобритании — 24,3 кг, тогда как в Украине не превышает 11–12 кг [37]. Частично это можно объяснить грунтово-климатическими условиями, но основной причиной является несовершенство систем питания.

Низкие уровни внесения удобрений в Украине не соответствуют технологическим возможностям национальной промышленности, поскольку страна занимает ведущее положение по экспорту удобрений в мире (табл. 8). В Украине имеются мощные предприятия по производству азотных удобрений [18], и вместе с тем не задействованы большие залежи калия, серы и микроэлементов.

Данные табл. 9 свидетельствуют, что в целом как озимой, так и яровой пшеницей к середине вегетационного периода поглощается более 60 % возможного максимума общего относительного поглощения элементов ($N + P_2O_5 + K_2O$). Отметим важность доступного для растений фосфора в начале вегетации. Ингибирование поглощения ионов во второй половине вегетации при неблагоприятных условиях выращивания, которые угнетают функционирование корневой системы (переувлажне-

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ

ТАБЛИЦА 8. Главные мировые экспортеры удобрений (экспорт, тыс. т питательных веществ) (по данным ФАО)

Страна	1998	1999	2000	2001	2002
Беларусь	2866	3230	3126	3594	3732
Канада	9836	10 027	9986	10 108	10 077
Германия	3500	3403	3331	3329	3491
Израиль	1891	1824	2057	1891	2242
Нидерланды	1811	1188	1307	1 008	1141
Россия	7686	8505	9619	9455	9938
Украина	1328	1664	1899	1742	1941
США	9318	9100	7370	7840	6952

ние, засуха, высокие температуры), обуславливает высокую эффективность внекорневого внесения элементов минерального питания.

Обобщенные данные по выносу азота, фосфора и калия растениями пшеницы приведены в табл. 10.

Многочисленные дискуссии в литературе относительно доз удобрений, которые нужно вносить под высокие урожаи, можно обобщить данными, приведенными в табл. 11. Они свидетельствуют, что урожаи озимой пшеницы в 7 т/га и больше могут быть получены при вполне приемлемых уровнях питания. При этом следует обеспечить физиологически обоснованный баланс элементов питания по фазам развития рас-

ТАБЛИЦА 9. Поглощение азота, фосфора и калия растениями пшеницы на протяжении вегетационного периода [по World Fertilizer Use Manual (www.fertilizer.org) с дополнениями авторов]

Фаза роста и развития	Относительное поглощение элементов по фазам развития растений							
	Озимая пшеница			Биомасса* (сухая)	Яровая пшеница			Биомасса* (сухая)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Относительное поглощение элементов, % от максимума								
Начало роста	13	2	1	1	8	3	6	1
Кущение	24	9	10	4	25	17	36	2
Выход в трубку	68	45	38	31	71	64	95	20
Колошение	84	75	90	58	97	100	100	36
Цветение	100	91	100	80	100	93	82	51
Формирование зерна	100	100	89	100	100	90	72	78
Физиологическая зрелость								
Биомасса*	95	90	77	100	100	86	68	100
Зерно	70	71	20	49	78	86	20	50
Максимум поглощения (кг/га) каждого элемента питания и максимальное количество (т/га) биомассы* и зерна								
Все растение	187	55	252	13,7	129	58	125	9,0
Зерно	130	39	51	6,7	100	50	25	4,5

*Здесь и в табл.10 вся надземная часть растения.

ТАБЛИЦА 10. Вынос азота, фосфора и калия растениями озимой и яровой пшеницы [World Fertilizer Use Manual (www.fertilizer.org)]

Показатель	Продуктивность, т/га	Вынос макроэлементов, кг/га		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница				
Биомасса*	13,7	187	55	252
Зерно	6,7	130	39	51
Яровая пшеница				
Биомасса*	9,0	129	58	125
Зерно	4,5	100	50	25

тений конкретного сорта. Данные табл. 11 еще раз подчеркивают нецелесообразность получения средних и низких урожаев пшеницы, а также необходимость обеспечения высоких урожаев надлежащими системами питания и защиты.

Обеспечение элементами питания существенно зависит от грунтово-климатических условий региона выращивания пшеницы. Согласно данным ведущих зернопроизводителей, уровни питания, необходимые для получения высоких урожаев пшеницы, весьма значительны. Например, для получения 5 т/га зерна пшеницы в Германии вносят до N₁₂₀P₁₂₀K₂₄₀ (по действующему веществу) (табл. 12).

На сегодняшний день, в связи с ростом цен на удобрения и энергоресурсы главной проблемой при внедрении систем питания высокоурожайных сортов зерновых является повышение коэффициентов усвоения макро- и микроэлементов. Главными направлениями решения этой проблемы являются: разделение дозы элемента на несколько внесений; локальное внесение удобрений (эффективное прежде всего для сортов пшеницы интенсивного типа, которые хорошо реагируют на повышенные дозы удобрений); внекорневая подкормка; интеграция систем питания и защиты посевов. Важным компонентом разработки систем питания растений и создания высокоэффективных удобрений является применение сложных, физиологически сбалансированных форм препаратов. Большое внимание должно уделяться созданию комплексных удобрений для внекорневой подкормки, которая дает возможность значи-

ТАБЛИЦА 11. Необходимые уровни питания (кг/га) для получения высоких урожаев пшеницы [79]

Питание	Урожай, т/га						Вынос соломой*, 3 т
	2,69		4,70		6,72		
	Поглощение	Вынос	Поглощение	Вынос	Поглощение	Вынос	
Азот	75	46	130	89	188	115	35
Фосфор (P ₂ O ₅)	27	22	47	38	68	55	14
Калий (K ₂ O)	81	14	142	24	203	34	80
Магний	12	3	21	5	30	8	5
Сера	10	2	18	4	25	7	3

*Средний вынос элементов с 3 т соломы.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ

ТАБЛИЦА 12. Применение удобрений в Германии (кг/га) в расчете на урожай зерна пшеницы 5 т/га [World Fertilizer Use Manual (www.fertilizer.org)]

Класс обеспечения*	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	Cu	Mn	Zn	Mo
A — очень низкий	120	120	240	80	1,5	4	10	2
B — низкий	90	90	180					
C — средний или нормальный	60	60	120	40	0,5—1	2	5	1
D — высокий	30	30	60		1			
E — очень высокий	—	—	—	—	—	—	—	—

* Уровень плодородия почвы.

тельно повысить коэффициенты усвоения питательных веществ. Азотные удобрения нельзя применять в высоких дозах в посевах, поскольку повышенные концентрации азота в почве могут неблагоприятно подействовать на растения на первых этапах их развития. В то же время не следует допускать и азотного голодания растений пшеницы в начале вегетации. Следовательно, в осенний период важно обеспечить умеренное азотное питание путем внесения небольших доз азотных удобрений, преимущественно в аммонийной форме. Необходимым является обеспечение растений фосфором и калием, которые, в отличие от азотных удобрений, применяют в основное внесение. По вегетации фосфорные и калийные удобрения нужно вносить только в форме водорастворимых жидких комплексных удобрений. Эффективность использования растениями основных элементов питания усиливается при повышении уровня сбалансированности между элементами питания, в частности азотом, фосфором, калием, серой, магнием, кальцием и микроэлементами (марганец, медь, цинк, железо, бор, молибден). Микроэлементы имеют большое значение для интенсификации роста и развития растений, которая возможна лишь при применении комплексных, специализированных для культуры и сорта минеральных удобрений.

В технологиях выращивания высокопродуктивных сортов стоимость минеральных удобрений уже сравнялась или превышает стоимость энергозатрат. Поэтому для повышения отдачи от минеральных удобрений наряду с тщательным сбалансированием систем питания по элементам необходимо вносить органические удобрения и особое внимание уделять выращиванию и заделыванию сидератов, в качестве которых используют бобовые и крестоцветные культуры. Дозы удобрений должны определяться согласно запланированной урожайности, почвенным условиям и погодным особенностям вегетационного сезона.

В целом система питания высокопродуктивных сортов озимой пшеницы состоит из многих этапов, значительное количество которых интегрировано в системы защиты посевов. Последние также являются важной составляющей получения высоких урожаев зерновых культур, особенно пшеницы, поскольку сорняки, вредители и болезни при их избыточном развитии приводят к существенным потерям урожайности.

Факторы, лимитирующие продуктивность. Влияние сорняков, вредителей и болезней на урожай пшеницы. Сорняки конкурируют с культурными растениями за основные жизненные ресурсы — воду, питательные вещества и свет. По разным данным, в зависимости от вида сорняков, их количества, региона выращивания пшеницы и погодных условий, потери урожая могут составлять от 10 до 50 %, а в крайних случаях — и до

70—80 % [83]. Поэтому в системах защиты посевов борьба с сорняками занимает главное место, особенно в Украине, где засоренность полей является чрезвычайно высокой. В среднем она превышает 150 тыс. семян сорняков на 1 м² и для ее уменьшения требуются годы тщательного контроля с помощью высокоэффективных агротехнических методов и современных гербицидов с четким соблюдением технологий их применения (дозы, сроки, фазы развития растений, погодные условия и т. д.).

Следует отметить сложность контроля многолетних одно-, двудольных и однолетних однодольных видов сорняков в посевах зерновых колосовых. Борьбу с многолетними однодольными видами необходимо проводить в предшественниках. Значительные засорения посевов теплолюбивыми однолетними видами сложно контролировать граминицидами, имеющими низкий уровень селективности [24] и совместимости в композициях с другими агрохимикатами. В связи с этим следует отметить высокоселективный на культуре пшеницы граминицид — ингибитор ацетил-КоА-карбоксилазы класса фенилпиразолинов пиноксаден.

Вредители также могут значительно уменьшить продуктивность посевов и качество зерна. Вредные насекомые распространены на посевах пшеницы во всех зонах ее выращивания. Среди них наиболее вредоносными считаются тля, цветочные галлицы, пыльщики, гессенская муха. Потери урожая от вредителей на незащищенных посевах или на неустойчивых растениях в среднем составляют 20—30 %, но в экстремальных случаях могут достигать 50 % и больше. И хотя по оценкам ФАО среднемировое уменьшение урожайности пшеницы под воздействием вредителей меньше, чем, например, у риса, этим негативным фактором нельзя пренебрегать, если речь идет о получении высоких урожаев.

Селекция сортов пшеницы с повышенной устойчивостью к вредителям — важное звено в создании новых высокопродуктивных генотипов. В этом плане перспективными являются биотехнологические подходы, включающие идентификацию и модификацию генов, которые кодируют защитные белки. Важна также селекционная оптимизация прохождения растением критических для поражения вредителями фаз развития (так называемое фенологическое избежание), поскольку вредоносная активность цветочных галлиц и стеблевых пыльщиков проходит в узких фенологических «окнах». По мнению некоторых специалистов [57], такой путь повышения устойчивости растений пшеницы к вредителям является не менее перспективным, чем при повышении, например, засухоустойчивости. Необходимо также улучшение физиологических механизмов, которые позволяют, в известной мере, компенсировать негативное влияние вредителей на растение (например, повышение интенсивности фотосинтеза как ответ на уменьшение площади поверхности листьев, или обеспечения растения ассимилятами). Это будет способствовать уменьшению пестицидной нагрузки на окружающую среду и повышению урожайности, поскольку ни одно из химических средств защиты не обеспечивает полного уничтожения вредителей.

Спецификой третьего обсуждаемого фактора — болезней, который должен обязательно учитываться в системах защиты посевов пшеницы, является непосредственное влияние патогена на ход физиологических процессов в растении и его морфологию, что ведет к повреждениям и значительным потерям урожая. Среди главных физиологических процессов, которые нарушаются патогеном, можно назвать угнетение метаболизма проростков и уменьшение вследствие этого полевой всхожести;

нарушение поглощения воды и элементов питания (корневые гнили), а также их транспорта по ксилеме стебля (вилт). Многие возбудители болезней нарушают фотосинтетические процессы в результате поражения и отмирания листьев, что приводит к уменьшению листового индекса. К ним относятся возбудители, вызывающие увядание листьев, ржавчина, ложная и настоящая мучнистая роса. В зависимости от степени поражения потери урожая могут колебаться от 10 до 50 %. Ряд возбудителей болезней, таких как головня, конкурируют с зерном за ассимиляты, уменьшая его выполненность и качество, или делают зерно вообще непригодным к употреблению.

Кроме грибных и бактериальных возбудителей болезней в метаболизм растительного организма могут вмешиваться разного рода вирусы, уменьшая вследствие синтеза собственных (вирусных) белков доступность азотсодержащих соединений для самого растения. Вирусы снижают интенсивность фотосинтеза в результате уменьшения содержания хлорофилла в листьях, а также нарушают фитогормональный баланс. В то же время, дыхательные расходы у пораженных вирусом растений значительно увеличиваются.

Следовательно, борьба с болезнями является составляющей технологий получения высоких урожаев пшеницы. Как и против вредителей, в данном случае следует применять химические средства, а также повышать устойчивость новых сортов селекционно-генетическими методами.

Полегание пшеницы. Еще одним важным элементом высокоинтенсивных технологий выращивания пшеницы является предотвращение полегания, которое значительно снижает урожай и качество зерна. Необходимость таких мероприятий обусловлена применением высоких доз азотных удобрений для максимального раскрытия потенциала продуктивности сортов. В этих условиях, особенно в сочетании с переувлажнением и низкой инсоляцией, стебель пшеницы может вытягиваться и терять механическую прочность. Условия вегетации озимой пшеницы в 2008 г. на оптимальных фонах минерального питания способствовали формированию высоких урожаев зерна (80—115 ц/га). Во многих случаях эти посевы сильно полегли, что привело к значительным потерям урожая. При этом даже короткостебельные сорта имели среднерослый травостой и вылегли, хотя в значительно меньшей мере по сравнению со среднерослыми сортами. Поэтому обязательным условием выращивания высоких урожаев озимой пшеницы является обработка посевов ретардантами, в том числе и короткостебельных сортов.

Большинство современных ретардантов — ингибиторы биосинтеза гиббереллинов, прежде всего это ониевые соединения: хлормекватхлорид, мепикватхлорид, хлорфониум и АМО-1618, которые ингибируют превращение геранилгеранилпирофосфата в *ent*-каурен. Следующее превращение в *ent*-кауренат катализируется цитохром- P_{450} -зависимой монооксигеназой. Вещества, которые содержат N-гетероциклы: анцимидол, флурпримидол, тетцикласис, паклобутразол, униконазол-Р и инабенфид, ингибируют те же ферменты образования *ent*-каурена и *ent*-каурената. Высокоэффективными являются ацилциклогександионы: тринексапак-этил (Моддус), прогексадион-Са и даминозид, ингибирующие преимущественно β -гидроксилирование и образование высокоактивных гиббереллинов из неактивных производных [61, 86].

Посевы вылегают также при засорении выющимися сорняками и грибных повреждениях стеблей и корней.

Стратегические вопросы наращивания продуктивности зерновых злаков. Поиск дальнейших путей повышения потенциала урожайности пшеницы должен быть направлен на углубление изучения физиологических процессов, принимающих участие в формировании зерновой продуктивности, с целью выявления звеньев, которые лимитируют интенсивность их протекания. Это дает возможность целенаправленного генетического усовершенствования физиологических основ продукционного процесса как на уровне отдельных органов, так и на организменном и ценоотическом. Кроме того, с техническим усовершенствованием физиологических методик и появлением нового поколения приборов для измерения физиологических показателей в полевых условиях становится возможным внедрение в селекционный процесс массового отбора не только по внешним фенологическим признакам и показателям зерновой и биологической продуктивности, но и по динамике физиологических характеристик в течение вегетационного периода [13]. Поэтому пристальное внимание исследователей привлекают поиски связей между разными физиологическими показателями и интегральной урожайностью пшеницы или отдельными хозяйственно-ценными признаками [70]. Чаще всего такие исследования проводятся в сравнительном аспекте, когда в определенных условиях выращивания изучают физиологические показатели старых и современных сортов и линий, их связь с продуктивностью, чтобы обнаружить физиологические процессы, интенсификация которых сопровождалась повышением урожайности, и оценить перспективы их последующей оптимизации.

В настоящее время продолжают поиски физиологических параметров, связанных с урожайностью пшеницы в широком диапазоне условий выращивания, которые были бы полезными для ускорения селекционного процесса [13]. Невзирая на то что в литературе часто различают потенциальную урожайность в оптимальных условиях и фактическую при действии неблагоприятных факторов (исходя из того, что вклад разных физиологических признаков в формирование продуктивности в контрастных условиях отличается), существует мнение, что генотипы с высокой потенциальной урожайностью будут более продуктивными и при менее благоприятных условиях (кроме жесткого стресса) [70]. Очень важно идентифицировать физиологические признаки, которые бы свидетельствовали одновременно о высокой потенциальной продуктивности и устойчивости к неблагоприятным факторам. Это сделало бы возможным создание новых сортов с высокой пластичностью, способных давать высокие урожаи в широком диапазоне условий выращивания и агротехнического обеспечения. Такие признаки должны обуславливать поглощение растениями большего количества ресурсов или более эффективное их использование для формирования зерновой продуктивности [11]. Примером последнего варианта является укорочение стебля (до определенного предела, без уменьшения способности растения к ассимиляционной деятельности), однако возможности использования этого признака для дальнейшего повышения урожайности на сегодняшний день считаются практически исчерпанными. Среди физиологических показателей, которые предлагаются для использования в селекции на повышение продуктивности в широком диапазоне условий выращивания, можно назвать повышенную устьичную проводимость и удлинение продолжительности фазы роста стебля (за счет сокращения предыдущих фаз без изменения общей продолжительности вегетации) [70], а также

увеличенную общую надземную биомассу, что при условии неизменного и высокого $K_{\text{хоз}}$ позволит получить больший урожай зерна с единицы площади посева [66, 68].

Обобщив вклад физиологических процессов в формирование высокой урожайности пшеницы, можно сделать вывод, что современные высокопродуктивные сорта пшеницы имеют более мощный фотосинтетический аппарат, ассимиляционный потенциал которого обусловлен большими площадью и удельной массой листьев, содержанием в них хлорофилла, длительностью активного функционирования листовой поверхности в течение вегетации, чем старые сорта. При этом возможности улучшения эффективности фотосинтетического аппарата и его продуктивности селекционно-генетическим путем еще далеко не исчерпаны. Дальнейший прогресс в этом направлении приведет к увеличению как общей биологической продуктивности посева, так и урожая зерна.

Большую роль может сыграть модификация длительности и распределения во времени фаз развития растений пшеницы для лучшего приспособления к изменениям ФАР, температуры и водного режима в течение вегетации, а также увеличение интенсивности развития площади листовой поверхности на ранних фазах роста и более быстрого смыкания ценоза. Важность отдельных признаков будет зависеть от условий выращивания. Увеличение интенсивности фотосинтеза генетическим путем лучше проводить непрямыми методами, например селекцией на высокую устьичную проводимость в период выхода в трубку или через усиление распределения ассимилятов в колос, начиная с ранних фаз его развития. Ожидается, что последний подход должен повысить активность фотосинтетического аппарата вследствие обратной регуляции спросом на ассимиляты. Допускается также возможность дальнейшего повышения фотосинтетической продуктивности как улучшением стабильности функционирования фотосинтетического аппарата на протяжении дня, так и благодаря удлинению продолжительности жизни листьев.

Решающую роль в повышении продуктивности играет создание сортов с высоким усвоением макро- и микроэлементов из труднодоступных субстратов и разработка современных, специализированных для группы сортов/сорта, комплексных удобрений и систем питания. Пути повышения коэффициентов усвоения элементов питания также являются разделением дозы элемента, локальное внесение, внекорневая подкормка и современные виды удобрений. При разработке комплексных удобрений для внекорневой подкормки снижение солевого индекса может достигаться добавлением органических веществ (аминокислоты, компоненты цикла синтеза никотинамида) со свойствами переносчиков ионов в растения и нефитотоксичных хелатирующих агентов. В качестве последних перспективны модифицированные сапропели, гуматы.

Важное значение в реализации потенциала продуктивности имеет внедрение высокоэффективных, специализированных для группы сортов технологий защиты от вредителей, болезней, сорняков и физиологически обоснованное интегрирование систем питания и защиты посевов.

Таким образом, решение проблемы дальнейшего повышения урожайности зерновых злаков нуждается в скоординированных усилиях ученых разных специальностей — физиологов растений, генетиков, агрохимиков и агрономов, специалистов по защите растений. Большие надежды возлагаются на генетическую инженерию, хотя возможности классической генетики еще далеко не исчерпаны. Научные сотрудники

Института физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины плодотворно работают над развитием нового научного направления — физиологической генетики, которая является фундаментальной основой достижения высоких урожаев пшеницы и других культурных растений. Полученные фундаментальные результаты они творчески используют в прикладных работах по созданию новых сортов и разработке высокоинтенсивных технологий их выращивания. Поэтому на вопрос, может ли Украина сделать свой вклад в решение проблемы дефицита продовольствия в мировых масштабах, ученые без сомнения отвечают — да. По своим потенциальным возможностям Украина должна собирать стабильно не менее 50—60 млн т зерновых. В этой «битве» за большой хлеб ведущую роль будут играть сорта, удобрения и технологии.

1. Гуляев Б.И. Обоснование путей повышения фотосинтетической продуктивности посевов // Фотосинтез и продукционный процесс. — М.: Наука, 1988. — С. 218—222.
2. Гуляев Б.И. Фотосинтез и продуктивность растений: проблемы, достижения, перспективы исследований // Физиология и биохимия культ. растений. — 1996. — 28, № 1—2. — С. 15—35.
3. Гуляев Б.И. Фотосинтез і фотосинтетична продуктивність рослин: глобальні екофізіологічні та екологічні аспекти // Регуляція фотосинтезу і продуктивність рослин. — К.: Фітосоціоцентр, 2006. — С. 302—321.
4. Киризий Д.А. Фотосинтез и рост растений в аспекте донорно-акцепторных отношений. — Киев: Логос, 2004. — 192 с.
5. Моргун В.В. Філософія українського хліба // Сільські вісті. — 2007. — 29 березня.
6. Моргун В.В. Хліб наш насущний // Сільські вісті. — 2007. — 29 серпня.
7. Моргун В.В., Санін Є.В., Швартау В.В. та ін. Клуб 100 центнерів. Сорти озимої пшениці Інституту фізіології рослин і генетики НАН України та система захисту компанії «Сингента». — К.: Логос, 2008. — 87 с.
8. Моргун В.В., Шадчина Т.М., Кірізій Д.А. Фізіолого-генетичні проблеми селекції рослин у зв'язку з глобальними змінами клімату // Физиология и биохимия культ. растений. — 2006. — 38, № 5. — С. 371—389.
9. Моргун В.В., Швартау В.В., Кірізій Д.А. Фізіологічні основи отримання високих врожаїв пшениці // Там же. — 2008. — 40, № 6. — С. 463—479.
10. Применение физиологии растений в селекции пшеницы / Пер. с англ. под ред. В.В. Моргуна — Киев: Логос, 2007. — 492 с.
11. Состояние продовольственной неопределенности в мире. — Рим: ФАО, 2008. — 63 с.
12. Шадчина Т.М., Прядкіна Г.О., Моргун В.В. Зв'язок між характеристиками фотосинтетичного апарату та зерновою продуктивністю у різних сортів озимої пшениці // Досягнення і проблеми генетики, селекції та біотехнології. — К.: Логос, 2007. — С. 410—415.
13. Швартау В.В., Гуральчук Ж.З. Мінеральні добрива в Україні. — К.: Логос, 2008. — 333 с.
14. Araus J.L., Ferrio J.P., Buxo R., Voltas J. The historical perspective of dryland agriculture: lessons learned from 10000 years of wheat cultivation // J. Exp. Bot. — 2006. — 58, N 2. — P. 131—145.
15. Araus J.L., Reynolds M.P., Acevedo E. Leaf posture, grain yield, growth, leaf structure and carbon isotope discrimination in wheat // Crop Sci. — 1993. — 33. — P. 1273—1279.
16. Armour T., Jamieson P.D., Nicholls A., Zyskowski R. Breaking the 15 t/ha wheat yield barrier // New directions for a diverse planet: Proc. of the 4th Int. Crop Sci. Congr. — Brisbane, Australia, 2004. — P. 4.
17. Asseng S., Turner N.C. Modeling genotype environment management interactions to improve yield, water use efficiency and grain protein in wheat // Scale and Complexity in Plant Systems Research: Gene-Plant-Crop Relations. — N.Y.: Springer, 2007. — P. 93—104.
18. Bazzaz F.A., Ackerly D.D., Reekie E.G. Reproductive allocation in plants // Seeds: the ecology and regeneration of plant communities. 2nd edn. — Wallingford: CAB International, 2000. — P. 1—29.
19. Bilalis D., Efthimiadis P., Karagiannis G. The phytotoxicity of various graminicides in durum wheat in Greece // J. Agron. Crop Sci. — 2001. — 187. — P. 121—126.
20. Byerlee D., Traxler G. Estimation of actual spillovers of national and international wheat improvement research // The Global Wheat Improvement System: Prospects for Enhancing Efficiency in the Presence of Spillovers. CIMMYT Research Report No. 5. — Mexico: CIMMYT, 1999. — P. 46—59.

21. *Calderini D.F., Dreccer M.F., Slafer G.A.* Genetic improvement in wheat yield and associated traits. A re-examination of previous results and latest trends // *Plant Breed.* — 1995. — **114**. — P. 108–112.
22. *Calderini D.F., Reynolds M.P., Slafer G.A.* Genetic gains in wheat yield and main physiological changes associated with them during the 20th century // *Wheat: Ecology and Physiology of Yield Determination.* — N.Y.: Food Prod. Press, 1999. — P. 351–357.
23. *Chalmers H.* Record wheat crop at 16 t/ha. — *Rural News (NZ).* — 2003. — Iss. **307**. — P.12.
24. *Dyson T.* World food trends and prospects to 2025 // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* — 1999. — **96**. — P. 5929–5936.
25. *Ehdaie B., Alloush G.A., Madore M.A. et al.* Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water-soluble carbohydrates // *Crop Sci.* — 2006. — **46**, N 5. — P. 2093–2103.
26. *Evans L.T.* *Crop evolution, adaptation and yield.* — Cambridge: Cambr. Univ. Press, 1993. — 500 p.
27. *Evans L.T.* *Feeding the 10 Billion: Plants and Population Growth.* — London: Cambr. Univ. Press, 1998. — 245 p.
28. *Fertilizer Use by Crop in Ukraine.* — Rome: FAO, 2005. — 70 p.
29. *Fischer R.A., Rees D., Sayre K.D.* Wheat yield progress associated with higher stomatal conductance and photosynthetic rate and cooler canopies // *Crop Sci.* — 1998. — **38**. — P. 1467–1475.
30. *He Z.H., Rajaram S., Xin Z.Y., Huang G.Z.* A history of wheat breeding in China. — Mexico. D.F.: CIMMYT, 2001. — 95 p.
31. *Hoisington D., Khairallan M., Reeves T. et al.* Plant genetic resources: what can they contribute toward increased crop productivity? // *Proc. Nat. Acad. Sci. USA.* — 1999. — **96**. — P. 5937–5943.
32. *Horton P.* Prospects for crop improvement through the genetic manipulation of photosynthesis: morphological and biochemical aspects of light capture // *J. Exp. Bot.* — 2000. — **51**, SI. — P. 474–485.
33. *Lambers H., Chapin I., Pons T.L.* *Plant physiological ecology.* — N. Y.: Springer, 2008. — 610 p.
34. *Loomis R.S., Amthor J.S.* Limits to yield revisited // *Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers.* — Mexico: CIMMYT, 1996. — P. 76–89.
35. *Loomis R.S., Amthor J.S.* Yield potential, plant assimilatory capacity and metabolic efficiencies // *Crop Sci.* — 1999. — **39**. — P. 1584–1596.
36. *Miralles D.J., Katz S.D., Colloca A., Slafer G.A.* Floret development in near isogenic wheat lines differing in plant height // *Field Crops Res.* — 1998. — **59**. — P. 21–30.
37. *Passioura J.B.* Drought and drought tolerance // *Plant Grow. Regul.* — 1996. — **20**. — P. 79–83.
38. *Pfeiffer W.H., Sayre K.D., Payne T.S., Reynolds M.P.* Increasing durum wheat yield potential and yield stability // *Proc. of the Warren E. Kronstad Symposium: Held in Ciudad Obregon, Sonora, Mexico, 15–17 March 2001.* — J. Reeves, A. McNab, S. Rajaram, CIMMYT Wheat Program. — Mexico: CIMMYT, 2001. — P. 17–20.
39. *Pfeiffer W.H., Sayre K.D., Reynolds M.P., Payne T.S.* Increasing yield potential and yield stability in durum wheat // *Wheat in a Global Environment. Int. Wheat Conf., 6; Budapest, Hungary; 5–9 Jun 2000. Abstracts.* — Budapest: Agr. Res. Institute of the Hung. Acad. of Sci., 2000. — P. 96.
40. *Pfeiffer W.H., Sayre K.D., Mergoum M.* Enhancing genetic grain yield potential in durum wheat and triticale // *Increasing Yield Potential in Wheat: Breaking the Barriers.* — Mexico: CIMMYT, 1996. — P. 208–213.
41. *Rademacher W.* Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways // *Ann. Rev. Plant Physiol. and Plant Mol. Biol.* — 2000. — **51**. — P. 501–531.
42. *Reynolds M.P., Calderini D.F., Condon A.G., Rajaram S.* Physiological basis of yield gains in wheat associated with the LR19 translocation from *Agropyron elongatum* // *Euphytica.* — 2001. — **119**. — P. 137–141.
43. *Reynolds M.P., Pellegrineschi A., Skovmand B.* Sink-limitation to yield and biomass: a summary of some investigations in spring wheat // *Ann. Appl. Biol.* — 2005. — **146**, N 1. — P. 39–49.
44. *Richards R.A.* Increasing the yield potential of wheat: manipulating sources and sinks // *Increasing yield potential in wheat: breaking the barriers.* — Mexico: CIMMYT, 1996. — P. 134–149.
45. *Richards R.A.* Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops // *J. Exp. Bot.* — 2000. — **51**, SI. — P. 447–458.
46. *Sharma-Natu P., Ghildiyal M.C.* Potential targets for improving photosynthesis and crop yield // *Curr. Sci.* — 2005. — **88**, N 12. — P. 1918–1928.
47. *Shearman V.J., Sylvester-Bradley R., Scott R.K., Foulkes M.* Physiological processes associated with wheat yield progress in the UK // *Crop Sci.* — 2005. — **45**. — P. 175–185.

48. *Sinclair T.R., Purcell L., Sneller C.* Crop transformation and the challenge to increase yield potential // *Trends Plant Sci.* — 2004. — **9**, N 2. — P. 70–75.
49. *Slafer G.A., Araus J.L.* Physiological traits for improving wheat yield under a wide range of conditions // *Scale and Complexity in Plant Systems Research: Gene-Plant-Crop Relations.* — N.Y.: Springer, 2007. — P. 147–156.
50. *Spink J.H., Foulkes M.J., Gay A.* Reducing winter wheat production costs through crop intelligence information on variety and sowing date, rotational position, and canopy management in relation to drought and disease control // *Home-Grown Cereals Authority Project Report N 235.* — London: HGCA, 2000. — 20 p.
51. *Swaminathan M.S.* An evergreen revolution // *Crop Sci.* — 2006. — **46**. — P. 2293–2303.
52. *Usherwood N.R.* High yield wheat in the Eastern U.S. // *Better Crops.* — 2000. — **84**, N 1. — P. 30–32.
53. *Watanabe N., Evans J.R., Chow W.S.* Changes in the photosynthetic properties of Australian wheat cultivars over the last century // *Aust. J. Plant Physiol.* — 1994. — **21**. — P. 169–183.
54. *Wheat: Ecology and physiology of yield determination* / Ed. E.H. Satorre, G.A. Slafer. — N.Y.: Food Prod. Press, 1999. — 486 p.
55. *Zagonel J., Fernandes E.C.* Rates and application times of growth reducer affecting wheat cultivars at two nitrogen rates // *Planta Daninha.* — 2007. — **25**, N 2. — P. 331–339.

Получено 10.05.2010

ФІЗИОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ФОРМУВАННЯ ВИСОКОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЗЕРНОВИХ ЗЛАКІВ

В.В. Моргун, В.В. Швартау, Д.А. Кірізії

Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України, Київ

Огляд присвячено основним чинникам, що обумовлюють якнайповніше розкриття генетичного потенціалу продуктивності зернових злаків. Проаналізовано світові тенденції виробництва зерна та місце України серед провідних країн-виробників. Розглянуто умови отримання рекордних урожаїв, фізіологічні основи продукційного процесу рослин, роль мінерального живлення у формуванні високих урожаїв, чинники, які лімітують продуктивність, зокрема вплив бур'янів, шкідників та хвороб, а також стратегічні питання подальшого нарощування продуктивності зернових злаків. Наголошується, що за своїми потенційними можливостями Україна здатна зробити суттєвий внесок у вирішення продовольчої проблеми у світових масштабах, при цьому головну роль відіграватимуть сорти, добрива і технології.

PHYSIOLOGICAL FUNDAMENTALS OF GRAIN CEREALS HIGH PRODUCTIVITY FORMING

V.V. Morgun, V.V. Schwartau, D.A. Kiriziy

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylykivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

Main factors that cause most perfect realization of genetic potential productivity of grain cereals are reviewed. On basis of extensive statistic evidence the world tendencies of grain production and place of Ukraine among leading producing countries have been analyzed. Conditions of record yields getting, physiological basis of plant productivity, role of mineral nutrition in forming of high yields, productivity limiting factors, in particular effects of weeds, pests and diseases, and strategic questions of further increase of grain cereals productivity have been considered. It is emphasized, that Ukraine for it's potential possibilities is able to make considerable contribution in solution of food problem on a global scale, at that main role will play cultivars, fertilizers and technologies.

Key words: grain cereals, productivity, mineral nutrition, technologies.