



## БИОЛОГИЯ

УДК 633.11: 581.4

### ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МОРФОГЕНЕЗА ПРОРОСТКОВ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

С. А. Степанов, Н. С. Ильин, Е. Л. Гагаринский, М. Ю. Касаткин

Саратовский государственный университет  
E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Проанализированы рост и развитие зародышевой корневой системы группы сортов яровой мягкой пшеницы. Длина зоны роста составляет от 8 до 2,5 мм, уменьшаясь у всех зародышевых корней по мере удлинения корня. Величина корнеобеспеченности проростков пшеницы существенно снижается при повышении температуры. Выявлены существенные сортовые различия в содержании хлорофиллов и каротиноидов в пластинке листа.

**Ключевые слова:** пшеница, зародышевые корни, зона роста, хлорофилл, каротиноиды.

#### Physiological Features of Morphogenesis of Seedlings of Spring Soft Wheat

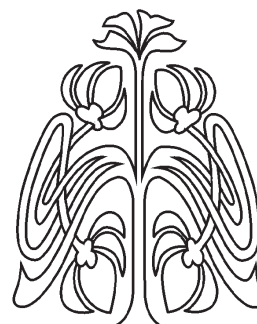
S. A. Stepanov, N. S. Ilyin, E. L. Gagarinckiy, M. Yu. Kasatkin

Analyzed the growth and development of embryonic root system of a group of varieties of spring wheat. The length of the zone of growth is from 8 up to 2.5 mm, decreasing from all embryonic roots as the length of the root. The value of corporationes wheat germ is significantly decreases with increasing temperature. Significant varietal differences in the content of chlorophylls and carotenoids in the leaf blade.

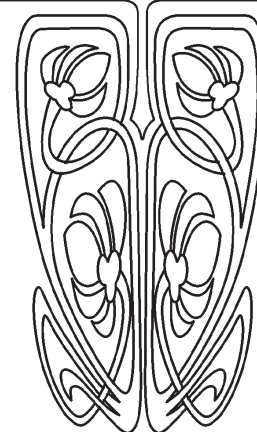
**Key words:** wheat, embryo roots, growth area, chlorophyll, carotenoids.

С момента посева зерновки морфогенез проростка пшеницы первоначально определяется особенностями предшествующего, эмбрионального, этапа онтогенеза и условиями внешней среды – величиной температуры, наличием доступной воды в почве [1, 2]. С учётом данного обстоятельства при изучении особенностей формирования отдельных органов проростка наибольшее внимание уделяется пластохронным и онтогенетическим изменениям конуса нарастания побега, росту и развитию листьев, узлов и междоузлий, побегов кущения. Менее исследованным разделом является физиология роста корневой системы пшеницы вследствие методических проблем и значительной трудоёмкости её изучения [3, 4].

Корневая система пшеницы представлена зародышевыми и узловыми корнями, степень развития которых у разных сортов являются фактором, предопределяющим морфогенез надземных органов, содержание пигментов фотосинтеза [5, 6]. Для яровой пшеницы зародышевые корни, состоящие из главного, нижней и верхней пары придаточных корней, имеют исключительное значение при засухе, когда развитие узловых может не наблюдаться [4, 7].



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





Немногочисленные исследования сортовых особенностей морфогенеза корней свидетельствуют, что их основой, очевидно, являются различия в скорости роста [8] и динамике взаимосвязей побег/корень в онтогенезе растения [9]. При значительных различиях сортов по глубине залегания корней в почве (1–2 метра), зона роста всех корней не превышает сантиметра и представлена двумя участками – деления и растяжения клеток, выше которых располагается зона дифференциации [8]. В доступной нам литературе не выявлены сведения о генезисе зоны роста разных зародышевых корней, соотносительного развития между ними и побегом, что и определило цель нашей работы – установить некоторые физиологические особенности морфогенеза проростков яровой мягкой пшеницы.

#### Материал и методы исследования

Исследования проводились в лабораторных условиях. Объектами изучения являлись 13 сортов у почти изогенных линий, полученных в разные годы в лаборатории генетики и цитологии НИИСХ Юго-Востока и Краснокутской селекционной станции: Фаворит, Альбидум 31, Белянка, Воевода, Лебедушка, Л 503, Л 503 194/11, Л 503 Lr 19+26, Л 505, Л 505 656/11, Добрыня, Добрыня 10/11, Milan+Добрыня 662/11. Сорты и линии отличались по морфологии побега, качеству зерна, устойчивости к засухе и листовой ржавчине, урожайности. Динамику роста зародышевых корней, развитие зон роста и дифференциации оценивали при проращивании семян пшеницы на фильтровальной бумаге в чашках Петри с дистиллированной водой (20 мл) в течение 7 суток в термостате ТС-200 СПУ ( $T = 18^{\circ}\text{C}$ ). Определение массы побега и зародышевых корней, величины корнеобеспеченности проростков осуществляли через 10 суток после выращивания растений в климатокамере КС-200 ( $T = 12, 18$  и  $22^{\circ}\text{C}$ , величина фотопериода день/ночь = 18/6 часов). Для этого использовали пластиковые стаканчики с вермикулитом, насыщенным дистиллированной водой. Для определения содержания пигментов фотосинтеза использовали среднюю часть пластинок листьев массой 0,07–0,08 г, тщательно растирали в фарфоровой ступке с небольшим количеством 100% ацетона (2–4 мл), кварцевого песка и мела. После настаивания (3–4 мин) экстракт переносили на стеклянный фильтр № 3 и фильтровали в колбу Бунзена, соединенную с вакуумным насосом НВМ-1,5. Вытяжку выливали в мерную колбу на 25 мл, объем вытяжки доводили чистым растворителем до

метки. Содержание хлорофиллов  $a$ ,  $b$  и каротиноидов определяли в полученной вытяжке пигментов без предварительного их разделения. Для этого измеряли оптическую плотность экстракта на спектрофотометре LEKI SS2109UV. Концентрацию ( $C$ ) пигментов рассчитывали по уравнениям:

$$\begin{aligned}C_{\text{хл.}a} &= 9,784 \cdot E_{662} - 0,990 \cdot E_{644} \\C_{\text{хл.}b} &= 21,426 \cdot E_{644} - 4,650 \cdot E_{662} \\C_{\text{каротиноиды}} &= (1000 \cdot E_{470} - 1,9 \cdot C_{\text{хл.}a} - \\ &\quad - 63,14 \cdot C_{\text{хл.}b}) / 214\end{aligned}$$

Содержание пигментов в исследуемом материале рассчитывали с учетом объема вытяжки и веса пробы:  $A = C \cdot V / P \cdot 1000$ , где  $C$  – концентрация пигментов, мг/л;  $V$  – объем вытяжки пигментов, мл;  $P$  – навеска растительного материала, г;  $A$  – содержание пигмента в растительном материале, мг/г свежего веса [10]. Все процедуры количественного определения пигментов проводили не менее 3 раз. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2007.

#### Результаты и их обсуждение

Как показали проведенные исследования, морфогенез проростков характеризуется быстрым ростом зародышевой корневой системы в отличие от более медленного роста побега, что способствует в дальнейшем благоприятному переходу от гетеротрофного питания за счёт эндосперма к фототрофному питанию по мере достижения первым листом зародыша зерновки своей предельной площади. Рост и развитие зародышевой корневой системы происходит в определенной последовательности: наиболее активно вначале растёт главный зародышевый корень, более медленно – придаточные корни нижнего яруса, позднее, через 3 или 4 суток, корни верхнего яруса (рис. 1).

Установлено, что некоторым сортам яровой мягкой пшеницы свойственен более ранний рост зародышевых корней верхнего яруса. Возможной причиной различий сортов по срокам генезиса корней верхнего яруса является различие по степени развития листьев эмбрионального побега зародыша, отмеченное ранее [2]. Об этом также свидетельствует топография проводящей системы побега и зародышевой корневой системы на разных участках проростка пшеницы [5].

Отмечено различие в динамике роста зародышевых корней среди исследуемых сортов

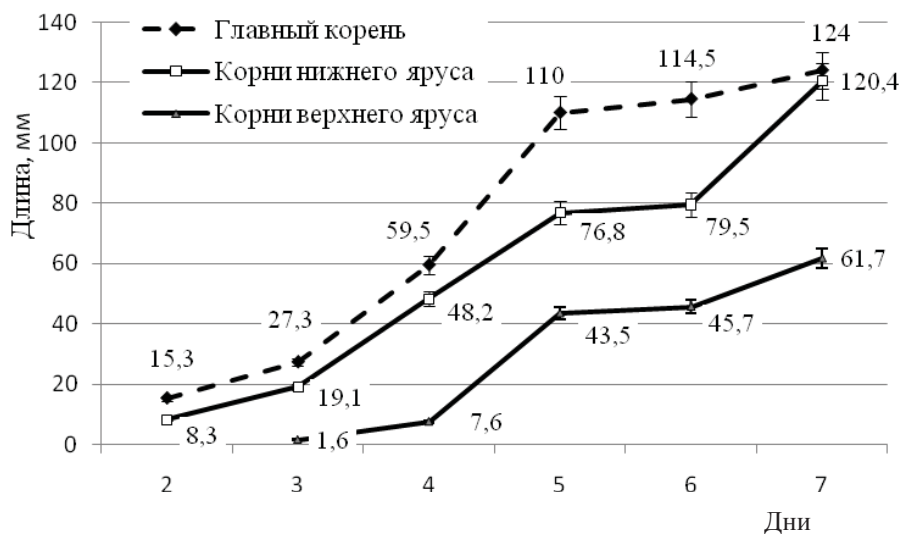


Рис. 1. Динамика роста зародышевых корней пшеницы Л503

яровой мягкой пшеницы. Наблюдаемое возрастание длины всех типов зародышевых корней (см. рис. 1) сопровождалось изменением длины зоны роста, в частности её последовательным уменьшением примерно от 8 до 2,5 мм и менее (рис. 2), что свидетельствует об увеличении абсолютной скорости роста корня [8]. Установлено, что уже с момента прорастания зерновок проявляется различие сортов по протяженности зоны

роста зародышевых корней. Наиболее выражено качественное различие сортов по данному признаку на 4-е сутки с момента прорастания, что, возможно, связано с условиями опыта. Тем не менее, выявленный феномен позволяет, на наш взгляд, проводить тестирование сортов на скорость роста зародышевой корневой системы в условиях краткосрочного эксперимента в чашках Петри.

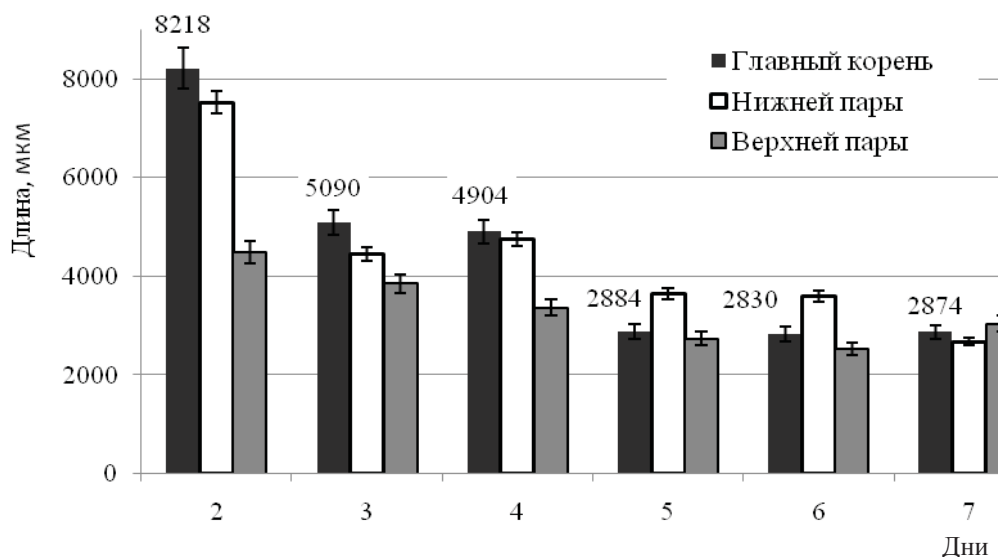


Рис. 2. Динамика изменений зоны роста зародышевых корней пшеницы Л503

Выявлено различие по толщине зародышевых корней и длине корневых волосков. В частности, в среднем по группе сортов и линий (Фаворит, Добрыня 10/11, Л503 и Белянка) показано, что через 2 суток от про-

растания зерновок толщина главного корня в начале зоны дифференциации составляет 616 мкм, придаточного корня нижнего яруса – 504 мкм. Через 7 суток толщина корней на этом участке составляла: главного



– 498, нижнего яруса – 465, верхнего яруса – 446 мкм. Через 2 суток с момента прорастания максимальные значения длины корневых волосков главного зародышевого корня равнялись 621 мкм, корней нижнего яруса – 447 мкм. Через 7 суток максимальные значения длины корневых колосков главного корня достигали примерно 1,5 мм, меньшие значения отмечены у корней нижнего и верхнего ярусов – немного более 1 мм.

При выращивании растений в условиях климатокамеры установлено существенное различие изучаемых сортов и линий яровой мягкой пшеницы по массе корней, побега, проростка,

величине корнеобеспеченности. В частности, при  $T = 18^{\circ}\text{C}$  наибольшая масса зародышевых корней наблюдалась у сорта Л503, меньшая – у сорта Фаворит и линии Л505 656/11. Масса побега у большинства сортов и линий составляла от 81 до 94 мг, однако у трёх сортов она была больше – Л503, Воевода, Беянка. Самая маленькая масса побега отмечена у линии Добрыня 10/11 – 60 мг. Совокупная масса зародышевых корней и побега, определяемая как масса проростка, достигала максимальных значений у сортов Л503 и Добрыня, меньших – у 5 из 13 сортов и линий: Фаворит, Альбидум 31, Лебедушка, Л505 656/11 и Добрыня 10/11 (табл. 1).

Таблица 1

**Масса растений и величина корнеобеспеченности через 10 суток выращивания пшеницы в климатокамере при  $T = 18^{\circ}\text{C}$**

Сорта и линии	Масса, мг			Корнеобеспеченность
	корней	побега	проростка	
Фаворит	122±4	89±2	211±6	1,37
Альбидум 31	126±5	81±2	207±6	1,56
Беянка	131±5	99±2	230±7	1,32
Воевода	138±5	100±3	238±7	1,38
Лебедушка	127±4	88±2	215±6	1,44
Л 503	189±6	106±3	295±8	1,78
Л503 194/11	145±4	86±2	231±6	1,69
Л 503 Lr 19+26	156±3	88±2	244±5	1,77
Л 505	147±4	94±2	241±6	1,56
Л505 656/11	122±3	92±2	214±5	1,33
Добрыня	159±4	94±2	253±6	1,69
Добрыня 10/11	150±3	60±1	210±4	2,5
Milan +Добрыня 662/11	139±3	92±2	231±5	1,51

В итоге различие по величине массы побега и зародышевой корневой системы, определяемое физиологическими особенностями роста и развития проростка у каждого из исследуемых сортов, отразилось на величине корнеобеспеченности. В этом аспекте линии и сорта яровой мягкой пшеницы чётко разделились на три группы: с низкими значениями корнеобеспеченности (1,32–1,38) – Фаворит, Беянка, Воевода, Л505 656/11; средними (1,44–1,78) – у большинства линий и сортов; высоким значением корнеобеспеченности (2,5) – Добрыня 10/11 (см. табл. 1). При выращивании растений в разных температурных условиях, что позволяет отразить их реакцию на колебания температуры ночью и днём в полевых условиях, выявлено

существенное различие сортов по величине корнеобеспеченности: от 1,26 до 2,01 при  $T = 12^{\circ}\text{C}$ ; от 1,0 до 1,25 при  $T = 22^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, более высокие температуры снижают величину корнеобеспеченности проростков пшеницы, что влияет на способность снабжения побега водой и минеральными элементами в начале вегетации растений.

Установлены существенные сортовые различия по содержанию фотосинтетических пигментов и соотношению между ними в пластинке 1-го листа при выращивании растений в условиях климатокамеры. Содержание пигментов варьировало: хлорофилла *a* – от 0,5 до 1,45 мг/г; хлорофилла *b* – от 0,15 до 0,42 мг/г; каротиноидов – от 0,64 до 1,88 мг/г сырой массы (табл. 2).



Таблица 2

**Содержание хлорофиллов и каротиноидов, соотношения между ними через 10 суток выращивания пшеницы в климатокамере при  $T = 22^{\circ}\text{C}$**

Сорта и линии	Хлорофилл <i>a</i>	Хлорофилл <i>b</i>	Каротиноиды	Соотношение пигментов	
				хл. <i>a</i> /хл. <i>b</i>	хл. /каротин.
Фаворит	1,06±0,051	0,3±0,012	1,36±0,025	3,52	3,98
Альбидум 31	0,97±0,043	0,27±0,010	1,24±0,018	3,53	4,38
Белянка	0,5±0,021	0,15±0,007	0,64±0,016	3,4	4,26
Воевода	0,93±0,037	0,28±0,012	1,21±0,015	3,3	4,21
Лебедушка	1,15±0,048	0,35±0,014	1,5±0,020	3,18	4,15
Л 503	1,09±0,032	0,32±0,012	1,41±0,021	3,39	4,35
Л503 194/11	1,18±0,018	0,38±0,014	1,56±0,036	3,07	3,3
Л 503 Lr 19+26	1,45±0,027	0,42±0,011	1,88±0,039	3,42	4,13
Л 505	0,94±0,032	0,29±0,009	1,23±0,016	3,24	4,48
Л505 656/11	0,73±0,024	0,21±0,03	0,95±0,027	3,43	4,26
Добрыня	0,68±0,017	0,2±0,011	0,88±0,027	3,42	4,21
Добрыня 10/11	0,74±0,018	0,22±0,011	0,96±0,031	3,28	4,19
Milan +Добрыня 662/11	0,73±0,018	0,21±0,010	0,94±0,030	3,45	3,92

Наиболее низким содержанием пигментов отличался сорт Белянка, более высоким – линии Л503 Lr 19+26 и Л503 194/11. Соотношение хлорофилла *a* к *b* составляло от 3,07 до 3,53. Наиболее высокое соотношение хлорофиллов *a/b* было отмечено у сортов Фаворит и Альбидум 31, низкое – Л503 194/11. Соотношение хлорофиллов к каротиноидам варьировало от 3,3 (Л503 194/11) до 4,48 (Л 505), но для большинства сортов оно составляло от 4,13 до 4,38 (см. табл. 2).

#### Список литературы

1. Реймерс Ф. Э., Или И. Э. Прорастание семян и температура. Новосибирск : Наука, 1978. 189 с.
2. Степанов С. А., Ивлева М. В., Касаткин М. Ю. Физиологическое значение листьев главной почки зародыша зерновки пшеницы // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12, вып. 2. С. 57–60.
3. Waines J. G., Ehdaie B. Domestication and Crop Physiology : Roots of Green-Revolution Wheat // Ann. of Botany. 2007. Vol. 100, № 5. P. 991–998.
4. Добрынин Г. М. Рост и формирование хлебных и кормовых злаков. Л. : Колос, 1969. 276 с.
5. Красовская И. В. Закономерности строения корневой системы хлебных злаков // Бот. журн. 1950. Т. 35, № 4. С. 374–384.
6. Boffey S. A., Sellden G., Leech R. M. Influence of Cell Age on Chlorophyll Formation in Light-grown and Etiolated Wheat Seedlings // Plant Physiology. 1980. Vol. 64, № 4. P. 680–684.
7. Красовская И. В. Корневая система растений и рост её в зависимости от внешних факторов // Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции. 1925. Т. XV, № 5. С. 57–114.
8. Иванов В. Б. Клеточные механизмы роста растений. М. : Наука, 2011. 104 с.
9. Hutchings M., John E. A. The Effects of Environmental Heterogeneity on Root Growth and Root/Shoot Partitioning // Ann. of Botany. 2004. Vol. 94, № 1. P. 1–8.
10. Гавриленко В. Ф., Жигалова Т. В. Большой практикум по фотосинтезу. М. : Академия, 2003. 256 с.