

В последующие сутки ингибирующее действие вещества этой концентрации усиливалось и в дальнейшем сохранялось на том же уровне до конца опыта. Раствор S в концентрациях 10^{-6} М и 10^{-12} М в общем действовал однотипно: в первые сутки вызывал снижение размера зоны биосинтеза белков, в последующие увеличивал, при этом эффект действия раствора данного вещества меньшей концентрации превосходил такой при его большей концентрации. К концу опыта ингибирующий эффект всех концентраций возрастал, но не превышал уровня, установленного в первые сутки проведения опыта.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать заключение о том, что испытуемые гетероциклические соединения обладают физиологически активным действием. Независимо от концентраций 2-имино-4,6-дифенил-4-фенацил-2,3,4,5-тетрагидропиримидина активировал рост корня пшеницы более чем в 2 раза, в то время как 2-имино-4,6-дифенил-4-фенацил-1,3-дигидротиазин вызывал тот же эффект только при концентрации вещества 10^{-6} М. Соединение 4,6-дифенил-4-фенацил-2,3,4,5-тетрагидро-1,3-пиримидин-2 обладало слабовыраженным ингибирующим эффектом. Растворы всех исследуемых веществ в корнях лука вызывали сокращение размера зоны деления.

Список литературы

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1986. 336 с.

Паламарчук И.А., Веселова Т.Д. Изучение растительной клетки. М.: Просвещение, 1969. 143 с.

УДК 633.11:[581.823+581.824]+578.686

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО СТРЕССА НА МОРФОГЕНЕЗ ПРОРОСТКА ПШЕНИЦЫ

М.Ю. Касаткин, С.А. Степанов

*Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского
410012, Саратов, ул. Астраханская, 83; e-mail: stepanovsa@info.sgu.ru*

Изучались реакции проростков пшеницы на механический стресс и направленный световой поток. Обнаружено, что метамеры проростка и колеоптиль по-разному чувствительны к механическому стрессу и освещению всего растения. Ре-

акция листьев зависит от их возраста, что позволяет предположить морфогенное влияние почвенного давления на последовательность заложения и рост очередных листьев.

Ключевые слова: механический стресс, колеоптиль, эпикотиль, зародышевые листья, свет.

При прорастании растения основными факторами воздействия внешней среды являются свет и механическое давление почвы. Если отдельно эти факторы изучены достаточно полно, то выявление их взаимодействия может помочь в понимании процессов морфогенеза на начальных стадиях онтогенеза растения. Механический стресс может оказывать влияние на различные процессы роста и развития растений: деление, растяжение и дифференциацию клеток (Иванов, 1987; Lintilhac, Vesecky, 1980). Наибольшее число публикаций касается влияния данного фактора на деятельность латеральных меристем – камбия и феллогена, а также на развитие цитогистологических зон конуса нарастания побега и апекса корня (Kwiatkowska, 2004). В научной литературе не представлены работы по изучению влияния механического стресса на интеркалярные, маргинальные и диффузные меристемы. В то же время особенности развития проводящих тканей в колеоптиле позволяют предполагать немаловажное значение механического давления в деятельности интеркалярных меристем. До сих пор механизмы их роста из-за наличия различных, достаточно дифференцированных типов клеток в них остаются предметом научных дискуссий (Эсау, 1980; Kwiatkowska, 2004). Целью данной работы является изучение реакции проростков пшеницы на механический стресс и направленный световой поток.

Материал и методика

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского государственного университета им. Н.Г.Чернышевского. Объектом изучения являлась яровая мягкая пшеница *Triticum aestivum* сорта Саратовская 29. Семена пшеницы были получены из лаборатории селекции пшеницы НИИСХ Юго-Востока (Саратов).

Для исследования влияния механического давления на проростки в условиях освещения опыты проводились в специальной установке, представляющей собой емкость с почвой, на которой устанавливался держатель для пробирок. Проростки в возрасте 48 ч с прозрачными грузиками из органического стекла весом 2 и 4 г помещались на поверхность почвы и накрывались перевернутыми пробирками для создания влажной ростовой камеры. Число растений в выборке 7–10 шт. Темнота создавалась путем

закрывания пробирки футляром из черной фотографической бумаги. Грузики изготавливались прямоугольной формы с равными сторонами для создания точных вертикальных нагрузок на проросток и избежания полегания растений вследствие латеральных напряжений. Диагональ получающегося кубика выбиралась с таким расчетом, чтобы соответствовать внутреннему диаметру пробирки.

Результаты исследований подвергались статистической обработке по Б.А. Доспехову (1985) с помощью специализированного математического программного обеспечения Scilab–3.1.1 для операционной системы FreeBSD 6.1.

Результаты и их обсуждение

На основании экспериментов было установлено, что на свету создаваемое грузом давление не оказывало влияние на рост coleoptily в длину – у контрольных и опытных растений его длина составляла 43.7 ± 3.0 и 43.0 ± 3.0 мм соответственно. При отсутствии света coleoptиль контрольных растений более чем в два раза увеличивал свою длину по сравнению с его длиной при наличии света; создаваемое грузом механическое давление приводило к уменьшению его длины у опытных растений – 98.0 ± 3.2 и 75.7 ± 3.0 мм соответственно (рис. 1).

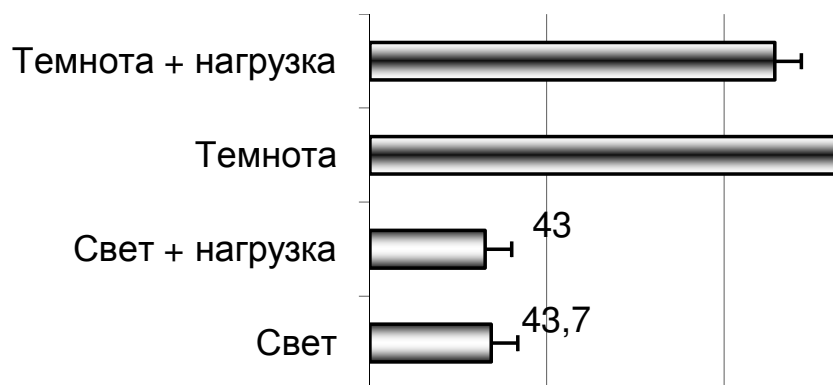


Рис. 1. Действие механического давления груза на рост coleoptily мягкой пшеницы Саратовская 29. * – $p \leq 0,05$ относительно контроля в темноте

Анализ изменений диаметров coleoptily по длинной (в плоскости проводящих пучков) и короткой осям на поперечных срезах показал, что на свету в условиях нагрузок диаметр coleoptily увеличивался в направлении оси расположения проводящих пучков. В направлении, перпендикулярном к оси расположения проводящих пучков, диаметр coleoptily не изменялся (табл. 1).

Таблица 1. Влияние механического давления на развитие колеоптиля при наличии и отсутствии света

Параметры		Свет, контроль	Свет, груз 2 г	Темнота, контроль	Темнота, груз 2 г
Диаметр колеоптиля, мкм	короткой оси	1302±7	1330±17	1260±13	1078±18*
	длинной оси	1876±9	2058±11*	1862±12	1778±15
Диаметр полости колеоптиля, мкм	короткой оси	980±20	882±14	938±14	784±23*
	длинной оси	1036±22	910±24	980±31	840±23
Расстояние между проводящими пучками, мкм		14.5±0.4	12.3±0.1*	13.7±0.2	11.7±0.4*

Примечание: * – $p \leq 0.05$ относительно контроля.

При отсутствии света создаваемое механическое давление приводило к уменьшению диаметра колеоптиля как в направлении оси расположения проводящих пучков, так и перпендикулярной к ней оси. Механическое давление способствовало уменьшению диаметра полости колеоптиля по обеим осям как при наличии света, так и при его отсутствии (см. табл. 1). Расстояние между проводящими пучками также уменьшалось. Эти данные свидетельствуют о том, что создаваемое в процессе роста проростков в почве механическое давление влияет на перераспределение внутренних нагрузок в этом органе. Как показали анатомические исследования, данные морфологические изменения колеоптиля связаны главным образом с изменением поперечных размеров паренхимных клеток, примыкающих к проводящим пучкам, что, по нашему мнению, способствует увеличению светопроведения по паренхимным клеткам в условиях почвенных нагрузок.

Создаваемое механическое давление груза отражалось на соотношении диаметров колеоптиля во взаимно перпендикулярных плоскостях – если на свету оно изменялось от 1.44 до 1.55, то в темноте данное соотношение возрастало от 1.48 до 1.65. В отличие от внешнего диаметра соотношение диаметров внутренней полости практически не изменялось и составляло на свету – 1.05 (контроль) и 1.03 (опыт), в темноте – 1.04 (контроль) и 1.07 (опыт). Эти данные указывают на то, что перераспределение напряжений в тканях колеоптиля в условиях нагрузки происходит равномерно, без потери устойчивости всей конструкции и с равномерным давлением на расположенные под ним листья проростка. В целом при отсутствии света создаваемое механическое давление способствовало уменьшению поперечных размеров колеоптиля и некоторой деформации его внутренней полости. При этом, как и в условиях освещения, расстояние между проводящими пучками уменьшалось (см. табл. 1).

В ходе экспериментов было выявлено, что как на свету, так и при его отсутствии создаваемое грузом механическое давление не оказывало влияние на рост эпикотилия, однако если в темноте его длина составляла 1,27 мм, то при наличии света рост не наблюдался (рис. 2).

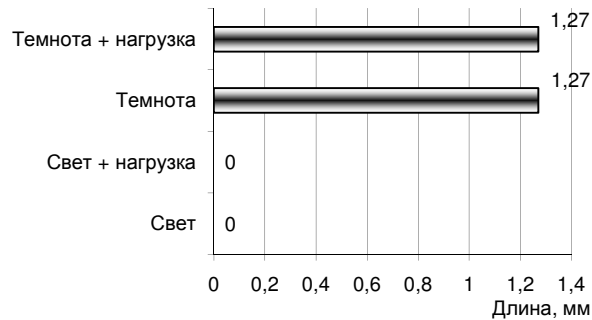


Рис. 2. Действие механического давления груза на рост эпикотилия мягкой пшеницы Саратовская 29. * – $p \leq 0,05$ относительно контроля

Своеобразная реакция на механическое давление отмечена со стороны листьев проростка пшеницы. При наличии света длина 1-го листа у опытных растений была существенно меньше, аналогичная тенденция наблюдалась и при отсутствии света (рис. 3).

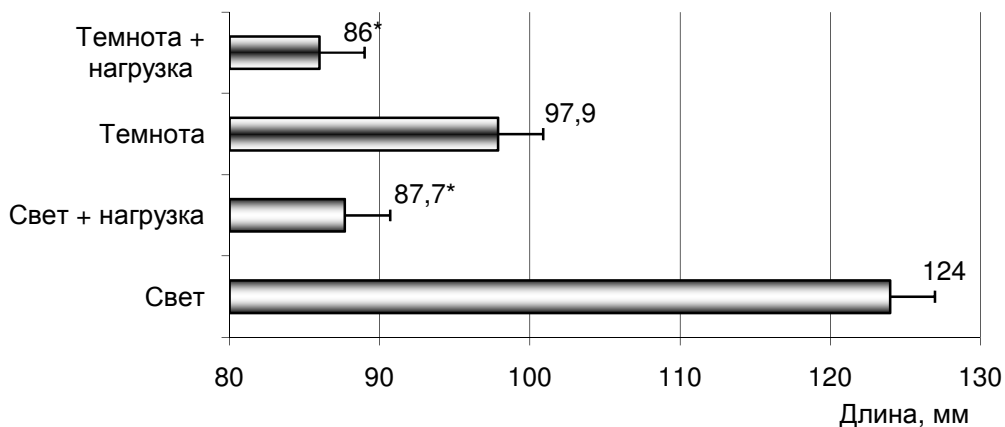


Рис. 3. Действие механического давления груза на рост 1-го листа мягкой пшеницы Саратовская 29. * – $p \leq 0,05$ относительно контроля

Для 2–5-го листьев проростка пшеницы наблюдалась иная реакция на создаваемое механическое давление на свету и в темноте. В частности, для 2-го листа по завершении роста его длина на свету составляла

60.0±2.8 мм (контроль) и 34.5±2.9 мм (опыт), в темноте – 22.3±2.7 мм (контроль) и 31.0±2.8 мм (опыт). Таким образом, при отсутствии света длина 2-го листа, как и 1-го, была меньше; создаваемое грузом в 2 г механическое давление приводило к увеличению его длины (рис. 4).

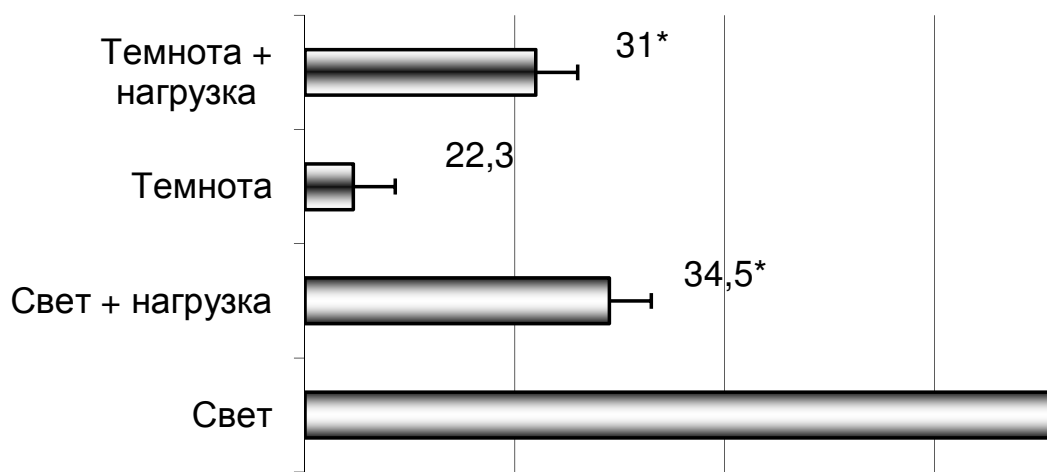


Рис. 4. Действие механического давления груза на рост 2-го листа мягкой пшеницы Саратовская 29. * — $p \leq 0,05$ относительно контроля

Для 3-го и 4-го листьев наблюдалась та же тенденция, что и для 2-го листа. При действии света длина листьев была больше, чем у растений, растущих в темноте. Создаваемое механическое давление тормозило рост листьев, растущих при наличии света, и стимулировало при отсутствии света (рис. 5, 6).

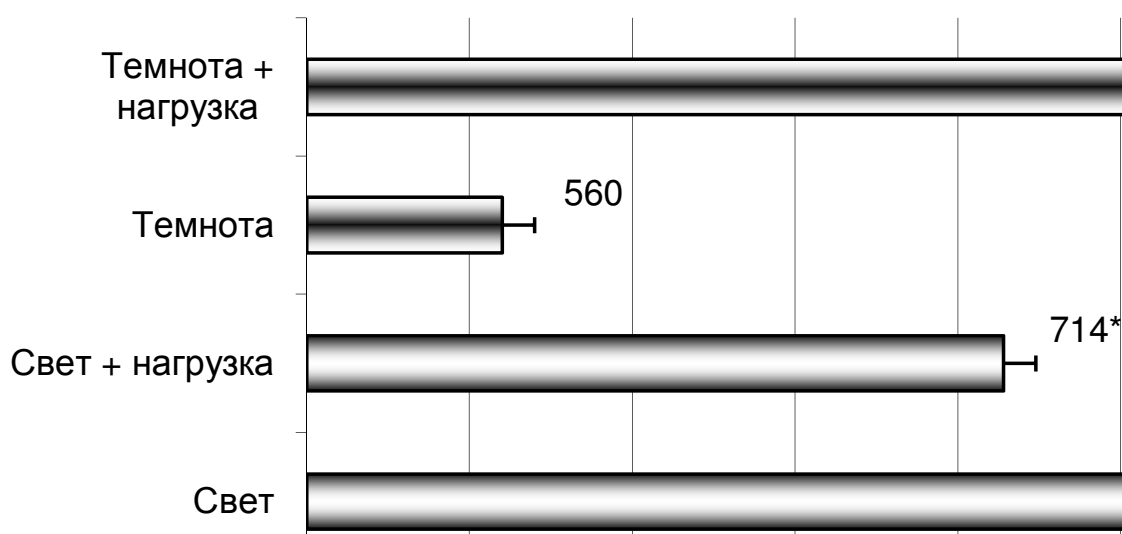


Рис. 5. Действие механического давления груза на рост 3-го листа мягкой пшеницы Саратовская 29. * – $p \leq 0,05$ относительно контроля

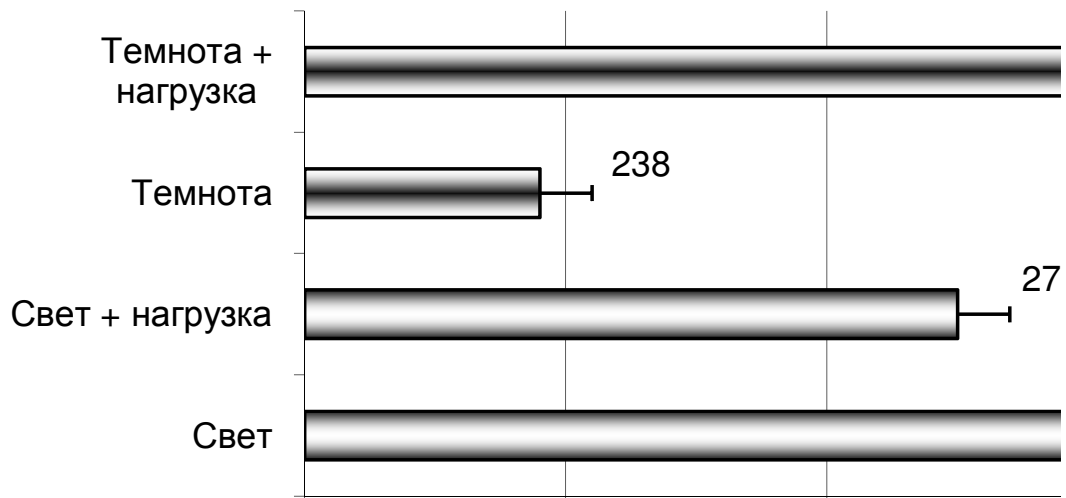


Рис. 6. Действие механического давления груза на рост 4-го листа мягкой пшеницы Саратовская 29. * – $p \leq 0,05$ относительно контроля

Для 5-го листа отмечалась уже отличная от других листьев реакция на создаваемое механическое давление. В частности, как на свету, так и при его отсутствии наблюдалась стимуляция его роста в длину механическим давлением груза в 2 г. Однако, как и в отношении других листьев, его длина у контрольных растений в темноте была меньше, чем у контрольных растений, растущих на свету (рис. 7).

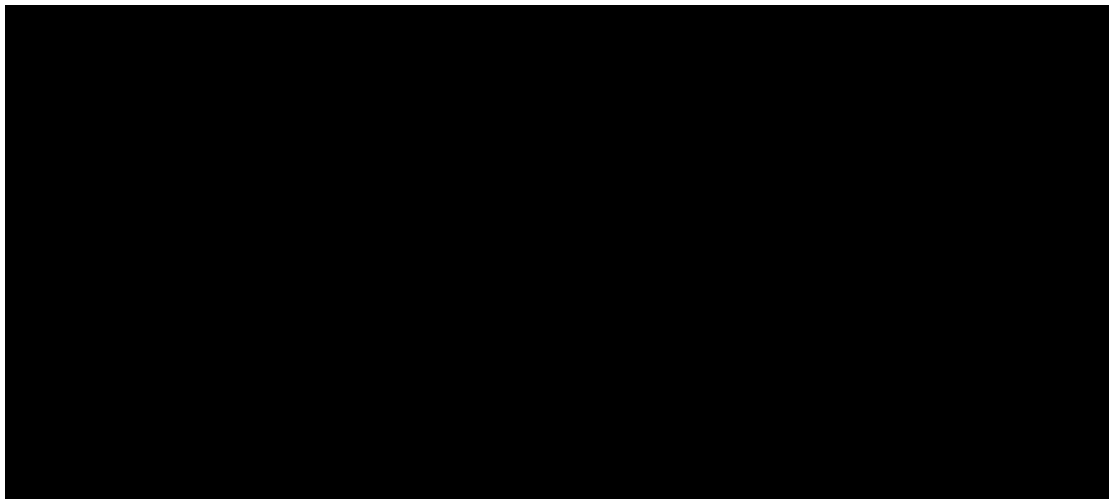


Рис. 7. Действие механического давления груза на рост 5-го листа мягкой пшеницы Саратовская 29. * – $p \leq 0,05$ относительно контроля

Таким образом, проведенные исследования позволяют утверждать, что в условиях отсутствия света происходит торможение ростовых процессов в почке главного побега пшеницы. При этом основным информативным фактором внешней среды становятся механические нагрузки, возникающие в процессе роста проростков в почве. Очевидно, что в зависимости

от типа почвы, степени ее плотности величина создаваемого давления и, соответственно, выраженность анатомо-морфологической реакции будет различна. В зависимости от степени развития той или иной структуры эмбрионального побега по мере роста проростков будет наблюдаться специфичность реакции на создаваемое давление, что определяется анатомическими и физиологическими особенностями листьев и колеоптиля.

Определение длины колеоптиля при слабом освещении в условиях давления различной интенсивности (груз 2 и 4 г) показало, что ответная ростовая реакция колеоптиля на действие механического фактора не зависит от его количественной характеристики. В то же время в некоторых вариантах опытов отмечено изменение диаметра колеоптиля, его полости, длины листьев и высоты конуса нарастания (табл. 2). В частности, отмечено большее изменение диаметра колеоптиля по короткой оси при давлении, создаваемом грузом 4 г. Диаметр полости колеоптиля при давлении груза 4 г больше, чем при давлении груза 2 г. Существенно изменялась длина листьев и высота конуса нарастания – во втором варианте опыта она была больше.

Таблица 2. Действие давления на рост колеоптиля, листьев и конуса нарастания побега проростков пшеницы при рассеянном освещении

Параметры		Варианты опыта		
		контроль	опыт 1, груз 2 г	опыт 2, груз 4 г
Длина колеоптиля, мм		42.0±1.8	39.0±1.2	39.3±1.5
Диаметр колеоптиля, мкм	короткой оси	1282±7	1290±9	1356±7*
	длинной оси	1761±13	1821±11	1829±12*
Диаметр полости колеоптиля, мкм	короткой оси	978±2	869±5*	989±8**
	длинной оси	998±7	891±10*	1024±8**
Длина 1-го листа, мм		49.00±2	48.33±2	87.33±3***
Длина 2-го листа, мм		14.25±0,3	13.73±0,2	32.67±0,2***
Длина 3-го листа, мкм		642±3	663±5	826±4***
Длина 4-го листа, мкм		219±21	219±27	280±22
Длина 5-го листа, мкм		40±2	54±3*	98±5***
Высота конуса нарастания, мкм		80±4	93±6	107±2***

Примечание: * — $p \leq 0,05$ относительно контроля; ** – $p \leq 0,05$ относительно опыта.

Таким образом, метамеры проростка по-разному чувствительны к нагрузкам колеоптиля и освещению всего растения. Реакция листьев зависит от их возраста, что позволяет предположить регуляцию нагрузкой последовательности заложения очередных листьев и их роста. Не менее важ-

на и интенсивность воздействия факторов. Так, при сильном направленном освещении проростков свет полностью снимает ингибирующее действие механического давления груза на развитие coleoptilya, тогда как при рассеянном свете малой интенсивности прослеживается небольшой ингибирующий эффект на рост этого органа. Особенности соотношения светового фактора различной интенсивности и механического давления груза разной массы позволяют выделить несколько отдельных типов ответных реакций элементов метамера проростков пшеницы.

Список литературы

- Иванов В.Б.* Пролиферация клеток в растениях // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Цитология. 1987. № 5. С. 219–225.
- Lintilhac P.M., Vesecky T.B.* Mechanical stress and cell wall orientation in plant. I. Photoelastic derivation of principal stresses. With a discussion of a concept of axillarity and the significance of the «arcuate shell zone» // Amer. J. Bot. 1980. Vol. 67. P. 1477–1483.
- Kwiatkowska D.* Structural integration at the shoot apical meristem: models, measurements, and experiments // Amer. J. Bot. 2004. Vol. 91. P. 1277–1293.
- Эсау К.* Анатомия семенных растений. М., 1980. Т. 1. 558 с.
- Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 1985. 333 с.

УДК 581.823

СКЛЕРЕНХИМА ЗЕРНОВКИ И ПОБЕГА МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

В.В. Коробко, С.А. Степанов, М.В. Ивлева

*Саратовский государственный университет им. Н.Г.Чернышевского
410012, Саратов, ул. Астраханская, 83; e-mail: stepanovsa@info.sgu.ru*

Установлено наличие разных типов склереид у основания некоторых трихом зерновки пшеницы. Наибольшее разнообразие склереидных клеток характерно для бороздки зерновки пшеницы. В онтогенезе побега пшеницы, наряду с процессами заложения и последующего развертывания метамеров главного и боковых побегов, одновременно происходят закономерные изменения морфологического разнообразия склереид в узлах стебля.

Ключевые слова: склереиды, зерновка, побег, пшеница.

Дифференциация клеток склереиды оказывает влияние на последующий морфогенез растения на клеточном и тканевом уровнях. В частности, F. Wilbur и J. Riopel (1971) отметили, что одними из первых в культуре