

С. Н. ДРОЗДОВ, А. А. КОМУЛАЙНЕН
и Л. А. ПЕРМИНОВА

УСТОЙЧИВОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПРОТИВ ЗАМОРОЗКОВ

Заморозки — понижение температуры приземного слоя воздуха ниже нуля в теплое время года — возможны на всей территории Советского Союза. Для растений особенно опасны позднеосенние и летние заморозки. В это время растительность садов и полей уже значительно развилась и очень чувствительна к понижениям температуры ниже нуля. Такие понижения часто приводят к гибели растений.

Вопросы, связанные с организацией борьбы с заморозками, решаются в настоящее время в широких масштабах. Вскрыта природа различных типов заморозков, налажена служба прогнозов с довольно точным указанием времени возможного заморозка, разработаны физические методы борьбы. Тем не менее народное хозяйство страны продолжает нести значительные потери от позднеосенних, летних и раннеосенних заморозков. Это в значительной мере объясняется тем, что до настоящего времени не изучена физиологическая сторона действия заморозков на растения, а поэтому биологические способы борьбы с вредом, наносимым заморозками (подбор и выведение морозоустойчивых сортов; подбор удобрений, форм, доз и соотношений их; подкормки, закалки; предпосевные обработки и т. д.), не дают должного эффекта, так как не имеют достаточного теоретического обоснования.

Мы не останавливаемся на истории вопроса, так как этому специально посвящена работа И. М. Васильева (1957). Следует отметить, что подавляющее число исследований морозоустойчивости растений выполнено с зимующими растениями, находящимися в периоде покоя. Исследований действия заморозков на яровые однолетние растения значительно меньше. Яровые растения сталкиваются с заморозками неподготовленными, в период их активной вегетации. В этом и состоит некоторая специфика вопроса об устойчивости яровых растений против заморозков, которая несколько выделяет его из общей проблемы морозоустойчивости. В то же время теория вопроса морозоустойчивости яровых органически связана с теорией морозоустойчивости зимующих растений.

Сведения об устойчивости растений против заморозков, содержащиеся в агрономической и агрометеорологической литературе, основаны в большинстве случаев на случайных наблюдениях и поэтому нередко противоречивы (Чудновский, 1949).

В. Н. Степанов (1948) по степени устойчивости вегетативных органов против заморозков подразделяет сельскохозяйственные культуры на 5 основных экологических групп: 1) наиболее устойчивые, такие как яровые хлеба, зернобобовые; 2) устойчивые — морковь, люпин многолетний; 3) среднеустойчивые — соя, могар; 4) малоустойчивые — кукуруза, картофель; 5) неустойчивые — бахчевые, хлопчатник. Наиболее детальную характеристику отношения растений к заморозкам с некоторым учетом

экологических условий произрастания можно составить только для зерновых; на их примере можно проследить изменения устойчивости растений в онтогенезе.

У яровых зерновых наибольшая холодостойкость наблюдается в фазе наклюнувшихся семян; она резко снижается к фазе первого листа (Перцев, 1933; Якунин, 1934; Загоревский, 1939; Кокина, 1947; Степанов, 1948; Эндрус, 1960).

С появлением первого зеленого листа и началом ассимиляционной деятельности в фазе полных всходов холодостойкость несколько возрастает (Степанов, 1948), а затем постепенно снижается к фазе цветения. Наименее устойчивый орган — пыльники — у яровой пшеницы гибнут при -3° , приобретая темно-зеленую окраску и подсыхая (Таранец, 1949). По данным Л. М. Голубинского (1955), особенно уязвимы проросшие зерна пыльцы (исследования проводились с пыльцой яблони, груши, примулы), которые погибают при падении температуры ниже нуля; в то же время пыльцевые зерна в пыльниках выдерживают более сильное промерзание, которое даже несколько стимулирует дальнейшее прорастание пыльцы. Рыльца и столбики более устойчивы, чем проросшая пыльца. Завязи еще более стойки против низких температур. Как показывают литературные данные (Степанов, 1948) и наши наблюдения, холодостойкость снижается по мере старения растения и каждого его органа. У листьев злаковых в первую очередь повреждается верхняя часть, затем основание и влагалище. Ранее возникшие листья повреждаются сильнее, чем вновь образующиеся верхние (Таранец, 1949).

Вопросу влияния заморозков в период налива зерна на его качество и всхожесть посвящены работы ряда исследователей (Кулешов и др., 1935; Таранец, 1949; Курмангалин, 1956, и др.), показавших, что повреждение созревающего зерна заморозками на корню снижает урожайность, ухудшает товарные и мукомольно-хлебопекарные качества зерна, затрудняет хранение зерна и отражается на его посевных свойствах.

Наиболее сильно яровая пшеница в период налива зерна повреждается в фазе зеленой спелости. В этот период даже заморозок -3° снижает всхожесть зерна на 20—25%, а при -5° на 74—78%. В фазе молочной спелости опасны заморозки -5° , снижающие абсолютный вес зерна и его посевные качества; при -9° зерно полностью теряет всхожесть. В фазе восковой спелости опасны только заморозки примерно -7° , а в фазу полной спелости даже заморозок -11° на всхожесть зерна существенно не влияет.

Приведенные литературные данные по устойчивости растений против заморозков довольно относительны, так как устойчивость значительно зависит от интенсивности заморозка и его продолжительности, а также от физиологического состояния растения. Устойчивость растительного организма представляет собой динамическое свойство и сильно зависит от состояния развития растения, интенсивности физиологических процессов и активности роста, что в свою очередь обуславливается действием окружающей среды и особенностями каждого экотипа.

По мнению И. М. Васильева (1946), основным, ведущим условием, определяющим морозоустойчивость, является интенсивность роста растений в период закалывания. Такого же мнения придерживается и И. И. Туманов (1951), показавший, что важными условиями закалки служат факторы, замедляющие рост: низкие температуры, свет, высокая концентрация сахаров. Исследованиями С. М. Иванова (1939), проведенными с плодовыми деревьями, показано, что морозостойкость последних находится в обратной зависимости от активности роста и связанным с ней функциональным состоянием клеток. Р. Рейн в 1908 г. испытал действие мороза на большом количестве различных растений и показал, что устой-

чивость их находится в зависимости от условий жизни, систематического и географического происхождения их. Растения умеренного климата более морозостойки, чем субтропические и тропические. При понижении температуры в предшествующий заморозку период холодостойкость повышается только у растений умеренного климата. Тропические растения вымерзают при одной и той же температуре независимо от того, в каких температурных условиях они находились до замораживания. Автор подробно изучил скорость, с какой изменяется морозостойкость растений

Таблица 1

Влияние заморозка в различные фазы развития на продуктивность яровой пшеницы (1960 г.)

Фаза развития растений	Интенсивность заморозка (в °С)	Воздушно-сухой вес 1 растения						Число зерен главного колоса	Абсолютный вес зерен главного колоса (в г)
		надаемная масса		зерна главного колоса		все зерна			
		г	% от контроля	г	% от контроля	г	% от контроля		
Контроль	—	7.06	100.0	1.12	100.0	2.65	100.0	30.96	36.17
3-й лист	-5.4	6.81	96.4	1.18	105.6	2.64	99.5	31.43	37.63
Появление 5-го листа. {	-3.0	7.40	104.8	1.25	111.5	2.83	106.7	33.41	37.48
	-5.2	7.41	105.0	1.19	106.4	2.70	101.9	31.98	37.27
Появление головок пыльников. {	-3.4	6.72	95.2	0.95	84.7	2.29	86.3	27.15	34.95
	-5.1	2.13	30.1	0.00	0.0	0.48	18.0	0.00	—
Первые тетрады пыльцы. {	-2.0	6.11	86.5	1.02	90.7	2.35	88.8	28.31	35.89
	-4.8	5.52	78.2	0.96	85.6	1.75	66.2	26.96	35.57
Начало цветения. {	-3.1	7.33	103.8	0.93	83.0	2.42	91.0	26.08	35.67
	-5.2	5.63	79.7	0.00	0.0	1.53	57.7	0.00	—
Зеленая спелость. {	-3.0	8.30	115.9	0.963	86.8	2.81	105.8	28.36	33.95
	-5.0	5.37	76.0	0.168	15.0	0.78	29.3	20.15	8.33
Молочная спелость. {	-3.0	8.29	117.4	1.06	94.4	2.89	109.3	30.06	35.18
	-5.1	7.66	108.5	0.84	74.7	2.08	78.5	32.70	25.59
Начало восковой спелости. {	-3.1	7.47	105.8	1.05	93.8	2.57	97.1	28.67	36.69
	-5.0	7.77	110.8	0.99	88.3	2.41	90.9	31.15	31.87
Полная спелость. {	-3.0	7.20	102.0	1.16	103.7	2.97	112.1	31.98	36.5
	-5.0	7.13	101.0	1.15	102.3	2.81	105.9	32.18	34.64

при их закаливании, и установил, что у разных растений она колеблется в пределах от 0.04 до 0.21° в расчете на день.

В наших исследованиях была поставлена задача — изучить изменения устойчивости яровой пшеницы в онтогенезе против краткосрочных слабых и средних заморозков, часто наблюдающихся в практике, действие которых на растения очень слабо изучено. Растения выращивались в вегетационных сосудах, на открытом воздухе и только в ненастную погоду и при возможности ночного заморозка укрывались в вегетационном домике. Метод создания заморозков тот же, что описан в первой статье этого же сборника. Повторность опытов 4—6-кратная.

Двухлетние исследования показали, что устойчивость яровой пшеницы в онтогенезе значительно изменяется в зависимости от фазы развития растения (табл. 1), снижаясь к моменту закладки генеративных органов. Наименьшая устойчивость вегетативных органов растений отмечена в период закладки пыльцевых бугорков, когда даже заморозок —3° значительно повреждает листья растений, временно приостанавливая рост,

а заморозок около -5° полностью убивает надземную часть, и дальнейший урожай строится за счет отрастания новых побегов. В дальнейшем устойчивость вегетативных органов против заморозка повышается, но уязвимыми становятся генеративные органы. Во время цветения заморозки -3° значительно снижают урожай зерна за счет снижения озерненности главного колоса, а -5° приводит к его полной стерильности. Опасен заморозок -3° в фазе зеленой спелости и начале молочной спелости, снижающий урожай зерна как за счет озерненности, так и за счет резкого уменьшения абсолютного веса зерна. В конце молочной и начале восковой спелости опасны заморозки -5° , снижающие урожай зерна путем уменьшения его абсолютного веса. Заморозок -3° в фазе конца восковой—начало полной спелости положительно сказывается на общем урожае зерна.

Таблица 2

Влияние заморозка на всхожесть семян яровой пшеницы через разные сроки после уборки (1959 г.; в %)

Фаза развития	Интенсивность заморозка (в $^{\circ}\text{C}$)	5 месяцев		9 месяцев	
		энергия прорастания	полная всхожесть	энергия прорастания	полная всхожесть
Молочная спелость.	-1	75.3	99.0	99.0	100.0
	-3	22.0	43.6	15.7	47.0
Восковая спелость.	-1	42.6	97.3	97.0	99.0
	-3	47.3	98.3	96.6	98.3
Полная спелость.	-1	58.0	97.0	97.0	98.6
	-3	43.0	95.3	97.6	99.3
Контроль.	—	32.6	99.3	96.3	99.0

Исследования по влиянию заморозков в различные фазы налива зерна на его биологические качества показали (табл. 2), что в фазе молочной спелости даже небольшие заморозки, примерно -3° , резко снижают всхожесть получаемого зерна, одновременно с этим снимая период послеуборочного дозревания. В более поздние фазы налива зерна слабые заморозки не оказывают отрицательного влияния на биологические качества семян.

Влияние кратковременных заморозков на урожай в значительной мере зависит от температуры предшествующего периода. В опытах 1959 г. растения, перед тем как они были подвергнуты заморозку, на 6 суток ставились в стеклянные боксы — небольшие вегетационные камеры с регулируемой температурой воздуха. Как показали опыты, выдерживание растений в предшествующий заморозку период при повышенной среднесуточной температуре воздуха (24.4°) снижает устойчивость растений и заметно понижает как общий урожай, так и урожай зерна (табл. 3).

Так как у нас не было возможности в должной мере регулировать в боксе температуру воздуха, в следующем году мы несколько изменили методику и температурную подготовку растений осуществляли в ночные часы, понижая температуру воздуха на 2° в течение 6 дней. В дневные часы температура оставалась естественной. Опыты, проведенные с яровой пшеницей, находящейся в фазе цветения, показали, что изменение температуры ночного периода даже в пределах 2° влияет как на устойчивость растения против заморозка, так и на величину и структуру урожая (табл. 4).

Повышение температуры предшествующего заморозку ночного времени суток на 2° в фазе цветения яровой пшеницы положительно сказало на урожае, но снизило устойчивость растения против заморозка.

При сопоставлении имеющихся литературных данных по изменению хода физиологических показателей в онтогенезе яровой пшеницы с изменением ее устойчивости против заморозков намечается ряд интересных моментов. Устойчивость пшеницы против заморозков хорошо коррелирует с активностью цитохромоксидазы в листьях растения, которая уменьшается в фазе трубкавания и остается низкой до фазы цветения, после чего

Таблица 3

Влияние заморозка в фазе 3 листьев на продуктивность яровой пшеницы в зависимости от температуры предшествующего периода

Средняя суточная температура до заморозка (в °С)	Интенсивность заморозка (в °С)	Воздушно-сухой вес 1 растения				Число зерен главного колоса	Абсолютный вес зерен главного колоса (в г)
		надземная масса		зерно			
		г	% от контроля	г	% от контроля		
24.4	Контроль . . .	5.44	100.0	2.07	100.0	28.3	35.9
	-2	5.28	97.0	1.95	94.2	28.8	36.6
	-5	4.86	89.3	1.54	74.6	24.2	36.2
20.6	Контроль . . .	5.53	100.0	1.86	100.0	29.3	34.0
	-2	5.41	97.8	1.97	105.9	29.3	34.2
	-5	5.20	94.0	1.69	91.1	25.1	35.5

резко возрастает (Княгиничев, 1958). К концу световой стадии резко снижается и активность полифенолоксидазы, но заметно повышается активность пероксидазы (Гунар и Крастина, 1952). Наблюдается зави-

Таблица 4

Влияние заморозка -2.7° в фазе цветения на продуктивность яровой пшеницы в зависимости от предшествующих ночных температур

Средняя ночная температура до заморозка (в °С)	Вариант	Воздушно-сухой вес 1 растения						Число зерен главного колоса	Абсолютный вес зерен главного колоса (в г)
		надземная масса		зерна главного колоса		вес зерна			
		г	% от контроля	г	% от контроля	г	% от контроля		
15—17	Контроль . . .	5.08	100.0	1.14	100.0	2.01	100.0	30.5	37.4
	Заморозок . . .	4.78	94.3	1.06	92.9	1.69	84.2	27.9	38.0
17—19	Контроль . . .	5.55	100.0	1.23	100.0	2.03	100.0	32.3	38.0
	Заморозок . . .	4.60	82.8	1.04	84.8	1.71	84.2	28.2	36.9

симость между энергией дыхания, которая снижается по мере старения листьев растения, и устойчивостью их против заморозков.

Наши данные по устойчивости яровой пшеницы в онтогенезе против заморозков несколько расходятся с данными П. А. Генкеля и К. П. Марголиной (1952), которые указывают, что растения в фазе кушения или в начале фазы выхода в трубку страдают от заморозка значительно серьезней, чем растения, полностью перешедшие в фазу выхода в трубку. Авторы связывают изменение устойчивости растений в онтогенезе против заморозков с изменением вязкости протоплазмы, которая, по их данным, возрастает от прорастания до кушения и падает в фазе трубкавания.

По нашим данным, наименьшая устойчивость вегетативных органов у яровой пшеницы отмечается в период закладки пыльцевых бугорков (третья стадия развития).

Условия, необходимые для скорейшего прохождения третьей стадии развития, еще очень мало исследованы. Однако известно, что у злаков в третью стадию развития возрастает потребность в более повышенной температуре (Новиков, 1953) и изменяются требования к качеству света (Куперман, 1955). Третья стадия характеризуется максимальным относительным содержанием фосфатидов и нуклеопротеидов. Отношение фосфора РНК и ДНК к общему фосфору в это время достигает максимума. Поступление фосфора в растение снижено, содержание минерального фосфора в растении (в % от общего) минимально. Отмечено интенсивное поступление фосфора в колосья и энергичное включение его в нуклеопротеиды и фосфатиды (Казанская, 1960).

Третья стадия развития характеризуется и максимальным накоплением в листьях пшеницы растворимых сахаров и крахмала (Витковская, 1955).

Имеющиеся данные по изменению хода физиологических процессов в онтогенезе растений и их устойчивости против заморозков, находящиеся в нашем распоряжении, не дают достаточных оснований выделить в настоящее время какой-нибудь отдельный физиологический показатель как определяющий заморозкоустойчивость растений.

ВЫВОДЫ

1. Устойчивость растений яровой пшеницы к заморозкам значительно изменяется в онтогенезе. Наблюдается постепенное снижение устойчивости в ходе развития. Наименьшая устойчивость вегетативных органов к заморозкам наблюдается в момент закладки пыльцевых бугорков.

2. Для урожая зерна особенно опасны даже слабые заморозки в период цветения растений. Слабые и средние заморозки в конце восковой—начале полной спелости оказывают положительный эффект на величину урожая зерна, не снижая его биологических свойств.

3. Устойчивость яровой пшеницы к заморозкам в значительной мере зависит от температуры предшествующего периода — повышение температуры до заморозка снижает устойчивость яровой пшеницы.

ЛИТЕРАТУРА

- В а с и л ь е в И. М. (1946). Морозостойкость озимых культур в зависимости от роста в период закаливания. Докл. Всес. совещ. по физиол. раст., 1.
- В а с и л ь е в И. М. (1957). Из истории проблемы вымерзаний и морозостойкости растений. Тр. Инст. естествозн. и техн., 14, 2.
- В и т к о в с к а я В. В. (1955). Динамика углеводов в онтогенезе яровой пшеницы. Зап. Ленингр. с.-х. инст., 9.
- Г е н к е л ь П. А. и К. А. Б а д а н о в а. (1956). Значение вязкости протоплазмы в устойчивости растений к высоким и низким температурам. Физиол. раст., 3, 5.
- Г е н к е л ь П. А. и К. П. М а р г о л и н а. (1952). О физиологических особенностях, повышающих устойчивость зерновых против заморозков. ДАН СССР, 82, 5.
- Г о л у б и н с к и й Л. М. (1955). Влияние низкой температуры на прорастание пыльцевых зерен некоторых растений. Бот. журн., 12, 4.
- Г у н а р И. И. и Е. Е. К р а с т и н а. (1952). К физиологии и биохимии стадийного развития яровой пшеницы. ДАН СССР, 86, 1.
- З а г о р е в с к и й А. И. (1939). Влияние низких температур на растения в начале роста. Зап. Воронежск. с.-х. инст., 17, 1.
- И в а н о в С. М. (1939). Активность ростовых процессов — основной фактор морозоустойчивости цитрусовых растений. ДАН СССР, 22, 5.
- К а з а н с к а я Л. Н. (1960). Динамика нуклеиновых кислот и других фосфоросодержащих соединений в листьях яровой пшеницы. Диамант в онтогенезе. Научн. докл. высш. шк., биол. науки, 2.

- Княгиничев М. И. (1958). Биохимия пшеницы. В кн.: Биохимия культурных растений. Сельхозгиз, М.—Л.
- Коккина С. И. (1947). Влияние предпосевного наклеивания и солевой обработки семян пшеницы на скорость прорастания их и холодоустойчивость всходов. Тр. научн.-произв. конф. по сельск. хоз. К.-Ф. ССР, Петрозаводск.
- Кулешов Н. Н., Г. А. Корниенко и Е. М. Волкова. (1935). Влияние повреждения зерна пшеницы и ржи заморозками на его посевные качества. Изв. Восточносиб. с.-х. инст., 1.
- Куперман Ф. М. (1955). Основные этапы развития и роста злаков. Вестн. МГУ, 1.
- Курмангалин Н. А. (1956). Влияние заморозков в период налива яровой пшеницы на качество и всхожесть зерна. Зап. Ленингр. с.-х. инст., 11.
- Новиков В. А. (1953). Некоторые особенности стадийного развития растений и образование новых форм у хлебных злаков. Агробиол., 4.
- Перцев П. А. (1933). Влияние предварительной закалки на морозоустойчивость яровых культур в условиях Татарской республики. Вестн. гидрометслужбы, 6.
- Степанов В. Н. (1948). Характеристика сельскохозяйственных культур по устойчивости их к заморозкам. Сов. агроном., 4.
- Таранец М. П. (1949). Морозостойкость яровой пшеницы на разных фазах развития в Коми АССР. ДАН СССР, 17, 5.
- Туманов И. И. (1951). Основные достижения советской науки в изучении морозостойкости растений. Тимирязевские чтения, 11.
- Чудновский А. Ф. (1949). Заморозки. Гидрометиздат, Л.
- Эндрюс Д. Ж. (1960). Холодостойкость проростков озимой пшеницы в зависимости от продолжительности и температуры закалки. Сельск. хоз. за рубежом, 6.
- Якунин М. В. (1934). Результаты опыта по сверххранному посеву овса и пшеницы в лаборатории искусственного климата. Тр. Центр. инст. эксперимент. гидрол. и метеорол., 1 (43).