

РАСТЕНИЕВОДСТВО

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ОВОЩНЫХ ЗОНТИЧНЫХ КУЛЬТУР

Д.Н. Балеев, А.Ф. Бухаров

Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства
д. Веря, стр. 500, Раменский р-н, Московская обл., Россия, 140153

В ходе исследований изучено влияние температуры при прорастании семян некоторых видов овощных зонтичных культур. При этом различные культуры по-разному реагируют на температурный фактор: изменяется количество суток до наступления максимальной скорости прорастания и доля проросших семян. Изучено действие температуры на рост зародыша в семенах изучаемых культур. Проанализирован показатель «степень недоразвития зародыша» (СНЗ), который характеризует морфо-анатомические особенности зародыша. Рассчитан температурный коэффициент (Q_{10}) для скорости роста зародыша овощных зонтичных культур.

Ключевые слова: семена, зародыш, прорастание семян, зонтичные, температура, температурный коэффициент (Q_{10}), степень недоразвития зародыша (СНЗ).

Прорастание семян — сложнейший биологический процесс, который все еще остается во многом непознанным. Сложность процесса прорастания семян определяется не только тем, что он сопряжен с многочисленными последовательно проявляющимися морфолого-анатомическими и физиолого-биохимическими явлениями, но и тем обстоятельством, что на него оказывает сильное влияние обширный комплекс внешних факторов. Все воздействия, регулирующие прорастание, называются факторами прорастания: они, замедляя или ускоряя биохимические превращения, вызывают глубокие изменения в физиологических процессах, предопределяющих характер и скорость прорастания семян. Факторы, запускающие прорастание — это периодически действующие факторы окружающей среды, стимулирующие или ингибирующие прорастание [4]. Наиболее важными факторами, регулирующими прорастание семян, являются влажность, температура, аэрация, а также освещение.

Решающее значение при прорастании имеет температура. Она оказывает влияние на биохимические процессы, определяющие скорость прорастания. Ф. Габерландтом установлены три кардинальные точки температуры — минимальная, оптимальная и максимальная [4]. При оптимальной температуре в кратчайшее время можно добиться наибольшего количества проростков. Минимальная и мак-

симальная температура прорастания — это самая низкая и самая высокая температура, при которой возможно прорастание [6; 7].

Колебания температуры, которые обычно имеют место в природе, для многих семян могут быть благоприятны, что проявляется в увеличении всхожести и скорости прорастания, или просто необходимы для того, чтобы прорастание произошло. Положительную реакцию на переменные температуры можно рассматривать как приспособительную функцию, выработанную в процессе эволюции. Несмотря на понимание экологической целесообразности такого свойства семян, физиологические причины этого процесса еще не раскрыты [3; 5].

Период прорастания семян представляет особый интерес для исследователя своей теоретической и практической перспективностью. Недостаток информации относительно прорастания семян в различных температурных условиях является серьезным препятствием при разработке современных эффективных физиологических и биохимических методов повышения активности семян. Целью данных исследований явилось изучение специфики влияния температурного фактора на рост зародыша в период прорастания и на процесс прорастания не покоящихся семян различных видов овощных зонтичных культур.

Материалы и методы. Исследования проводили в ГНУ ВНИИО (Государственное научное учреждение «Всероссийский научноисследовательский институт овощеводства»). Объектом исследований являлись семена укропа (сорт Кентавр), моркови (сорт Рогнеда), петрушки корневой (сорт Любаша), сельдерея корневого (сорт Купидон), любистока лекарственного (сорт Дон Жуан), кориандра (сорт Янтарь) и пастернака (сорт Кулинар), хранившиеся в течение 1 года в лабораторных условиях.

Изучение динамики прорастания семян исследуемых культур проводили на разных температурных фонах: $t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (ст); $t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = +30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (8 час.) / $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (16 час.), при этом другие факторы: влажность, аэрация, свет (во всех вариантах семена проращивались без доступа света) были равнозначны. Повторность опыта трехкратная, в каждой повторности исследовали 100 шт. семян. Число суток до наступления максимальной скорости прорастания семян рассчитывали по G. Gassner [2], температурный коэффициент (Q_{10}) для скорости роста зародыша рассчитывали по формуле Вант-Гоффа.

Измерения длины зародыша во время прорастания проводили с помощью микроскопа «Микромед» при 40-кратном увеличении с использованием программы Score Photo. Повторность опыта трехкратная, в каждой повторности исследовали не менее 10 шт. семян. Статистический и математический анализ осуществляли по Б.А. Доспехову [1] и с использованием пакета программ Statistica 8.0.

Результаты и их обсуждение. Для понимания изменений, происходящих в семенах во время прорастания, изучение динамики размеров и веса сухой массы целых семян дает недостаточно информации. Между тем анализ отдельных элементов семени, прежде всего зародыш, позволяет обнаружить весьма существенные изменения. Как показали наши исследования, развитие зародыша в семе-

нах различных овощных зонтичных культур при прорастании идет по-разному в зависимости от действия температурного фактора.

Под влиянием постоянной положительной температуры ($t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$) скорость роста зародыша в первые сутки после постановки семян на проращивание характеризуется резким скачком, при этом она достигает 0,10—0,29 мм/сут. в зависимости от изучаемой культуры.

Последующий анализ роста зародыша в семенах моркови, сельдерея корневого, пастернака, любистока лекарственного и кориандра показывает, что его скорость резко снижается — до 0,02—0,08 мм/сут., после чего наблюдается постепенное повышение интенсивности роста зародыша. Темпы роста зародыша в семенах петрушки корневой и укропа, напротив, остаются стабильными в течение периода набухания и удерживаются в пределах 0,18 и 0,20 мм/сут. соответственно, что определяет наступление прорастания (рис. 1).

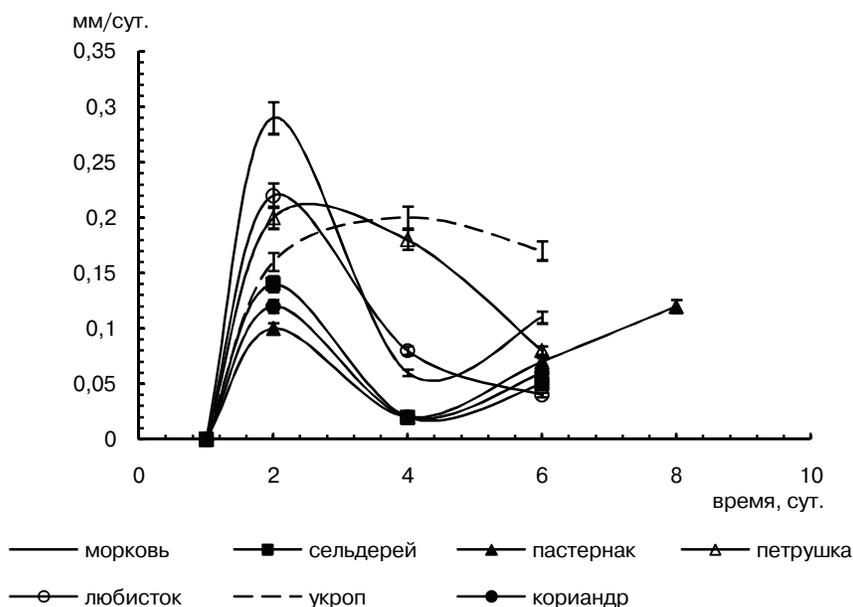


Рис. 1. Рост зародыша в процессе прорастания семян овощных зонтичных культур при температуре проращивания $t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ингибирующее действие на рост зародыша у всех изучаемых овощных зонтичных культур оказывает постоянная высокая температура ($t = +30\text{ }^{\circ}\text{C}$) (рис. 2). Уже в начальный период проращивания темпы роста зародыша очень низкие, особенно у семян сельдерея корневого, при этом скорость роста зародыша составляет 0,01 мм/сут. В течение десяти суток проращивания отмечен слабый скачкообразный рост зародыша сельдерея корневого. После этого интенсивность роста резко падает, и зародыш прекращает рост. Зародыш семян моркови и петрушки корневой в течение 10—14 сут. проращивания развивается со скоростью 0,02—0,05 мм/сут., однако, достигая размеров полости эндосперма, зародыш останавливается в росте и через некоторое время погибает. У семян укропа, пастернака, любистока лекар-

ственного и кориандра рост зародыша происходит схожим между собой образом. Особенностью роста зародыша у этой группы культур является высокая скорость в первые сутки проращивания (0,06—0,08 мм/сут.) и последующее замедление вплоть до полной остановки.

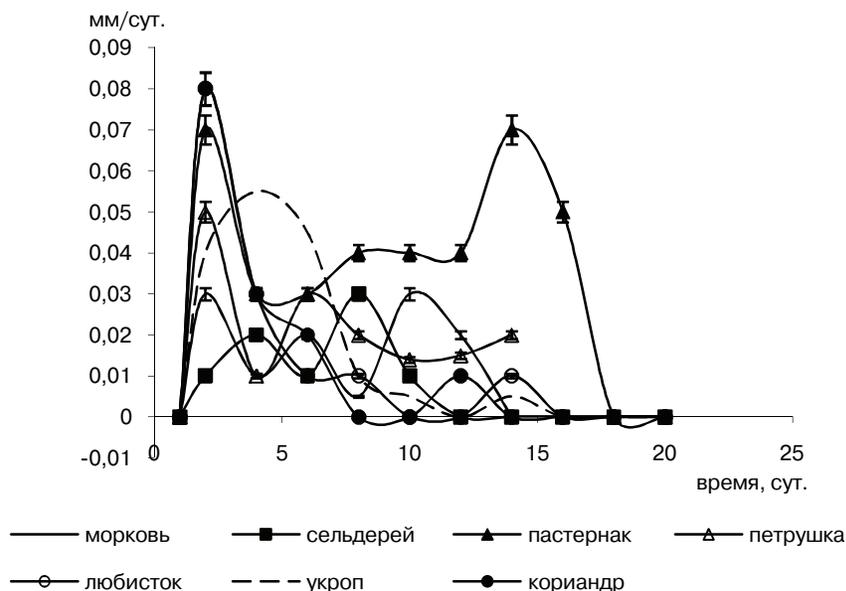


Рис. 2. Рост зародыша в процессе проращивания семян овощных зонтичных культур при температуре проращивания $t = +30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Нами выявлено, как влияет пониженная температура на рост зародыша в семенах при проращивании (рис. 3). Развитие зародыша в семенах изучаемых культур под действием постоянной пониженной температуры ($t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$) происходит с меньшей интенсивностью по сравнению со стандартом. В первые сутки после постановки семян на проращивание интенсивность роста зародыша резко возрастает у всех изучаемых культур, скорость роста зародыша при этом составляет: 0,04 мм/сут. у моркови; 0,06 мм/сут. у сельдерея корневого; 0,08 мм/сут. у петрушки корневой; 0,07 мм/сут. у пастернака; 0,08 мм/сут. у кориандра; 0,07 мм/сут. у укропа и 0,15 мм/сут. у любистока лекарственного. Рост зародыша у разных видов овощных зонтичных культур при температурном режиме $t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит аналогичным образом, однако при $t = +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ имеет место резкое снижение скорости роста зародыша после первых суток проращивания и последующее постепенное увеличение интенсивности роста зародыша вплоть до наступления проращивания.

Использование переменной температуры при проращивании семян овощных зонтичных культур в ряде случаев положительно влияет на рост зародыша (рис. 4). При этом у всех изучаемых культур начальная скорость роста зародыша достигает максимальных значений по сравнению с другими температурными режимами (до 0,24 мм/сут. — петрушка корневая; 0,19 мм/сут. — укроп) и сопровождается началом проращивания семян.

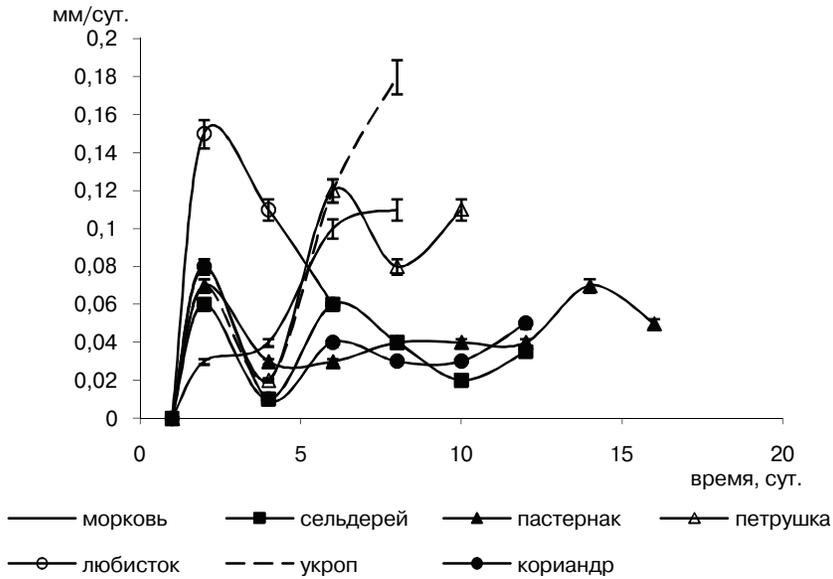


Рис. 3. Рост зародыша в процессе прорастания семян овощных зонтичных культур при температуре проращивания $t = +3$ °C

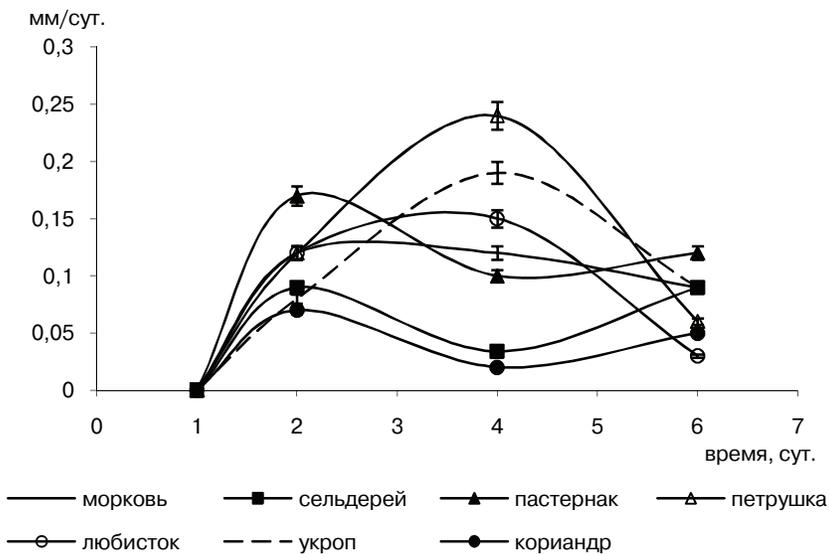


Рис. 4. Рост зародыша в процессе прорастания семян овощных зонтичных культур при температуре проращивания $t = +3/20$ °C

Динамика прорастания семян разных видов овощных культур на исследуемых температурных режимах проращивания имеет свои особенности.

Следует отметить, что в условиях постоянной положительной температуры ($t = +20$ °C) прорастание происходит у всех изучаемых культур. Однако характер и скорость прорастания отличаются.

У группы культур, в которую входят морковь, укроп, кориандр, сельдерей корневой, петрушка корневая и любисток лекарственный, семена начинают про-

растать на 3—5-е сут. после постановки на проращивание. При этом полное прорастание в этой группе отмечено на 13—18-е сут.

Число суток до наступления максимальной скорости прорастания семян у указанных культур варьирует от $7,6 \pm 0,7$ до $9,4 \pm 0,2$. Быстрее при указанной температуре прорастают семена моркови и укропа — $7,6 \pm 0,7$ и $7,8 \pm 0,3$ сут., при этом доля проросших семян находится на уровне 78 и 72% соответственно. Наступление максимальной скорости прорастания у любистока лекарственного и кориандра происходит на $9,2 \pm 0,6$ и $9,4 \pm 0,2$ сут. с долей проросших семян 63 и 66% соответственно.

Прорастание семян петрушки корневой и сельдерея корневого происходит с меньшей скоростью, а процент проросших семян составляет 68 и 58% соответственно.

Из изучаемых культур семена пастернака под действием постоянной повышенной температуры ($t = +20$ °C) прорастают медленнее всех. Прорастание наступает на 8-е сут., а полное прорастание отмечено на 23-и сут., при этом число суток до наступления максимальной скорости прорастания в этом варианте составляет $15,0 \pm 1,2$ (табл. 1).

Таблица 1

**Прорастание семян овощных зонтичных культур
в зависимости от температурного режима проращивания**

Культура	Характеристика процесса прорастания			Прорастание семян (max), %
	начало прорастания, сут.	полное прорастание, сут.	число суток до наступления max скорости прорастания семян, сут.	
$t = +20$ °C (st)				
Морковь	3	13	$7,6 \pm 0,7$	78
Укроп	3	14	$7,8 \pm 0,3$	72
Сельдерей	5	17	$10,8 \pm 0,4$	58
Петрушка	4	18	$11,1 \pm 0,9$	68
Пастернак	8	23	$15,0 \pm 1,2$	60
Любисток	5	16	$9,2 \pm 0,6$	63
Кориандр	4	17	$9,4 \pm 0,2$	66
НСР ₀₅	—	—	—	3,1
$t = +3$ °C				
Морковь	9	25	$15,2 \pm 0,4$	75
Укроп	9	23	$15,0 \pm 1,7$	62
Сельдерей	13	32	$22,8 \pm 0,8$	76
Петрушка	11	29	$19,6 \pm 0,7$	69
Пастернак	16	33	$25,1 \pm 0,2$	70
Любисток	6	19	$12,6 \pm 0,4$	60
Кориандр	13	31	$22,1 \pm 1,4$	56
НСР ₀₅	—	—	—	4,3
$t = +30$ °C				
Морковь	—	—	—	—
Укроп	15	27	$17,6 \pm 0,6$	7
Сельдерей	—	—	—	—
Петрушка	—	—	—	—
Пастернак	—	—	—	—
Любисток	10	29	$22,7 \pm 0,8$	17
Кориандр	6	31	$20,3 \pm 0,4$	4
НСР ₀₅	—	—	—	2,2

Культура	Характеристика процесса прорастания			Прорастание семян (max), %
	начало прорастания, сут.	полное прорастание, сут.	число суток до наступления max скорости прорастания семян, сут.	
$t = +3/20 \text{ } ^\circ\text{C}$				
Морковь	4	15	$10,1 \pm 0,3$	79
Укроп	5	15	$11,0 \pm 1,1$	88
Сельдерей	6	17	$10,3 \pm 0,3$	83
Петрушка	5	16	$9,9 \pm 0,4$	82
Пастернак	7	19	$13,3 \pm 0,8$	79
Любисток	5	17	$11,3 \pm 0,1$	55
Кориандр	7	23	$14,9 \pm 0,9$	57
НСР ₀₅	—	—	—	3,3

При воздействии на семена овощных зонтичных культур постоянными пониженными температурами ($t = +3 \text{ } ^\circ\text{C}$) наблюдается задержка их прорастания. Наиболее сильно реагируют на этот режим температуры семена сельдерея корневого, кориандра и пастернака, число суток до наступления максимальной скорости прорастания у них составляет: $22,8 \pm 0,8$; $22,1 \pm 1,4$ и $25,1 \pm 0,2$ соответственно. При этом сельдерей корневой и пастернак увеличивают процент прорастания семян по сравнению со стандартным температурным режимом ($t = +20 \text{ } ^\circ\text{C}$) на 18 и 10% соответственно. Кориандр снижает свою всхожесть до 56%. Задержка прорастания семян моркови, укропа и особенно любистока лекарственного менее значительна, число суток до наступления максимальной скорости прорастания составляет: $15,2 \pm 0,4$; $15,0 \pm 1,7$ и $12,6 \pm 0,4$. Однако у всей группы этих культур доля проросших семян при постоянной пониженной температуре снижается по сравнению со стандартом и составляет: у моркови 75%, у укропа 62% и у любистока лекарственного 60%.

Постоянная повышенная температура без доступа света ($t = +30 \text{ } ^\circ\text{C}$) оказывает резко тормозящее действие на способность семян к прорастанию. Прорастание семян отмечено только у укропа, любистока лекарственного и кориандра, процесс прорастания очень растянут, а процент проросших семян невысок. Начало прорастания семян укропа отмечено на 15-е сут., любистока лекарственного — на 10-е сут., а кориандра — на 6-е сут. Доля проросших семян указанных культур находится на низком уровне: 7, 17 и 4% соответственно. Семена сельдерея корневого и пастернака при $t = +30 \text{ } ^\circ\text{C}$ не прорастают, а зародыш в семенах петрушки корневой и моркови, как уже отмечалось выше, погибает.

На фоне переменных температур ($t = +3/20 \text{ } ^\circ\text{C}$) прорастание семян происходит у всей группы изучаемых культур. При этом скорость прорастания по сравнению со стандартным режимом проращивания ($t = +20 \text{ } ^\circ\text{C}$) несколько снижается и составляет: у моркови — $10,1 \pm 0,3$; у укропа — $11,0 \pm 1,1$; у сельдерея корневого — $10,3 \pm 0,3$; у любистока — $11,3 \pm 0,1$ и у кориандра — $14,9 \pm 0,9$ сут. Семена петрушки корневой и пастернака при переменной температуре прорастают быстрее по сравнению с другими температурными режимами, число суток до наступления максимальной скорости прорастания составляет $9,9 \pm 0,4$ и $13,3 \pm 0,8$ со-

ответственно. Следует отметить, что переменные температуры благоприятно воздействуют на способность семян моркови, укропа, сельдерея корневого, петрушки корневой и пастернака прорасти, процент проросших семян увеличивается по сравнению со стандартным температурным режимом проращивания до 79; 88; 83; 82 и 79% соответственно. Любисток лекарственный и кориандр под действием чередования температур снижают долю проросших семян на 8 и 9% соответственно.

Нами проанализирована степень недоразвития зародыша, которую мы понимаем как отношение величины, на которую увеличился зародыш в процессе прорастания, к средней длине зародыша, при которой началось прорастание семян, выраженное в процентах. Расчет показателя степень недоразвития зародыша (СНЗ) следует осуществлять по формуле:

$$\text{СНЗ} = \frac{\text{П} - \text{Н}}{\text{П}} \times 100,$$

где СНЗ — степень недоразвития зародыша, %; П — средняя длина зародыша, при которой началось прорастание, мм; Н — начальная длина зародыша, мм.

В наших исследованиях степень недоразвития зародыша у различных овощных зонтичных культур варьирует в зависимости от температурного режима проращивания (табл. 2). Это связано с тем, что величина «длина зародыша при прорастании» изменяется в различных температурных условиях. Например, длина зародыша при наступлении прорастания у моркови при температуре $t = +20$ °С минимальна и составляет $1,17 \pm 0,02$ мм, а при $t = +3$ °С максимальна — $1,39 \pm 0,04$ мм, что отражается на показателе СНЗ. То же касается и других изучаемых культур в опыте.

Таблица 2

Степень недоразвития зародыша (СНЗ) семян овощных зонтичных культур

Культура	Начальная длина зародыша, мм	Средняя длина зародыша, при которой наступает прорастание, мм			Степень недоразвития зародыша (min — max), %
		$t = +3$ °С	$t = +20$ °С (st)	$t = +3/+20$ °С	
Морковь	$0,88 \pm 0,006$	$1,39 \pm 0,04$	$1,17 \pm 0,02$	$1,22 \pm 0,02$	25—37
Укроп	$0,83 \pm 0,006$	$1,53 \pm 0,05$	$1,39 \pm 0,04$	$1,46 \pm 0,03$	40—46
Сельдерея	$0,44 \pm 0,010$	$0,80 \pm 0,07$	$0,61 \pm 0,03$	$0,77 \pm 0,02$	28—45
Петрушка	$0,68 \pm 0,006$	$1,41 \pm 0,04$	$1,23 \pm 0,02$	$1,29 \pm 0,05$	45—52
Пастернак	$1,05 \pm 0,005$	$1,79 \pm 0,02$	$1,53 \pm 0,02$	$1,63 \pm 0,09$	31—41
Любисток	$1,97 \pm 0,040$	$2,41 \pm 0,02$	$2,36 \pm 0,06$	$2,39 \pm 0,08$	17—18
Кориандр	$1,03 \pm 0,006$	$1,39 \pm 0,02$	$1,19 \pm 0,04$	$1,21 \pm 0,04$	13—26

Следует отметить, что зародыш любистока лекарственного и кориандра, по сравнению с другими изучаемыми культурами, имеет низкую СНЗ, в зависимости от температуры она изменяется от 17 до 18 и от 13 до 26% соответственно. У таких культур, как петрушка корневая и пастернак, выявлена высокая СНЗ, она варьирует от 31 до 41 и от 45 до 52% соответственно. Зародыш в семенах сельдерея корневого при температуре $t = +20$ °С имеет степень недоразвития 28%, однако при пониженной и переменной температуре СНЗ возрастает до 45 и 43%.

Интересен тот факт, что пониженная температура значительно увеличивает СНЗ, особенно у таких культур, как пастернак (41%), сельдерей корневой (45%), укроп (46%) и петрушка корневая (52%).

Корреляционный анализ взаимосвязи параметра СНЗ с некоторыми показателями качества семян выявляет их высокую положительную зависимость у всех изучаемых культур. Влияние степени недоразвития зародыша на показатель «число суток до наступления максимальной скорости прорастания семян» значительно, при этом коэффициент корреляции варьирует от 0,815 до 0,996. Однако взаимосвязь между указанными параметрами у сельдерея корневого находится на среднем уровне ($r = 0,561$).

Проведенные исследования показывают, что СНЗ является важным показателем, характеризующим морфо-анатомические особенности зародыша, и его следует учитывать при изучении прорастания семян овощных зонтичных культур.

Нами рассчитан температурный коэффициент (Q_{10}) для скорости роста зародыша изучаемых культур, который показывает, как изменяется скорость роста зародыша при повышении температуры на 10 °С по сравнению с первоначальной (рис. 5).

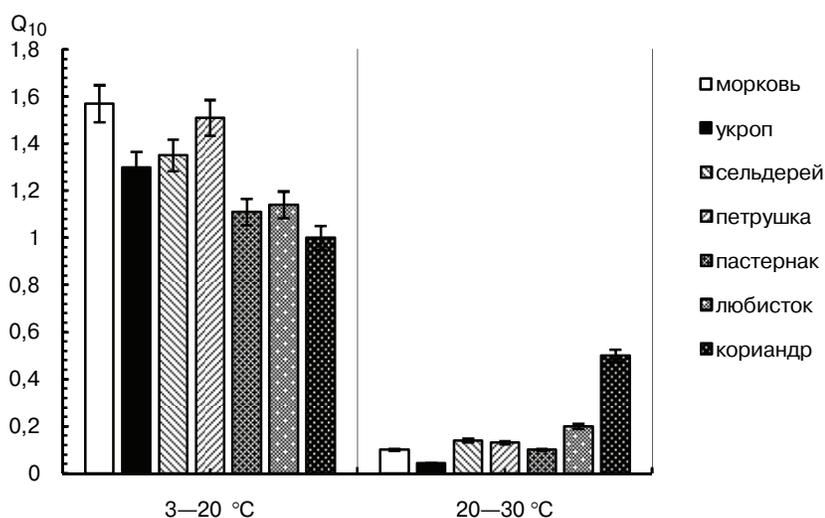


Рис. 5. Температурный коэффициент (Q_{10}) для скорости роста зародыша

Расчеты показывают, что при увеличении температуры проращивания с 3 до 20 °С скорость роста зародыша изучаемых культур увеличивается, при этом температурный коэффициент варьирует от 1,00 до 1,57 в зависимости от культуры. Максимальное увеличение скорости роста зародыша отмечено у моркови — 1,57; у петрушки корневой — 1,51 и у сельдерея корневого — 1,35. Слабее на повышение температуры реагируют семена любистока лекарственного (1,14), пастернака (1,11) и кориандра (1,00). При приближении температуры к максимальной ($t = 30$ °С) скорость роста зародыша резко снижается. При этом температурный коэффициент варьирует от 0,04 (укроп) до 0,5 (кориандр).

Заключение. Температура является важнейшим фактором, определяющим прорастание семян овощных зонтичных культур. При этом различные представители зонтичных культур отличаются специфической реакцией на воздействие температурного фактора при проращивании.

Исследования показали, что при постоянной температуре семена сельдерея корневого, пастернака и петрушки корневой обеспечили лучшую всхожесть при $t = +3$ °С и еще больше повышали ее при переменной температуре $t = +3/20$ °С. Остальные культуры имели максимум проросших семян при температуре $t = +20$ °С. При этом укроп и морковь также положительно реагировали на переменную температуру.

Проращивание в течение 15 суток при температуре $t = +30$ °С показало, что в этих условиях семена моркови и петрушки корневой погибают, не прорастая. Семена пастернака и сельдерея корневого сохраняют жизнеспособность, но признаков прорастания отмечено не было. Только укроп, кориандр и любисток лекарственный имели незначительное (4—17%) число проросших семян.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. — М.: Агропромиздат, 1985.
- [2] *Леманн Е., Айхеле Ф.* Физиология прорастания семян злаков. — М.: Сельхозгиз, 1936.
- [3] *Николаева М.Г., Лянгузова И.В., Поздова Л.М.* Биология семян. — СПб: НИИ химии, 1999.
- [4] *Строна И.Г.* Общее семеноведение полевых культур. — М.: Колос, 1966.
- [5] *Хайдекер У.* Стресс и прорастание семян: агрономическая точка зрения. — Физиология и биохимия покоя и прорастания семян. — М.: Колос, 1982. — С. 273—319.
- [6] *Basbag M., Toncer O., Basbag S.* Effects of different temperatures and duration on germination of carer (*Capparis ovata*) seeds // *Journal of Environmental Biology*. — 2009. — Vol. 30 (4). — P. 621—624.
- [7] *Bewley J. D., Black M.* Physiology and biochemistry of seeds. Vol. — N.Y.: Spring Verlag, 1982.

EFFECT OF TEMPERATURE ON SEED GERMINATION VEGETABLE CROPS UMBELLIFERAE

D.N. Baleev, A.F. Buharov

All-russian Scientifically and Exploratory Institute of Vegetables
500, Verey, Ramensky area, Moscow Region, Russia, 140153

The effect of temperature during germination of seeds of some species of vegetable crops umbelliferae. The different cultures react differently to the temperature factor: change the number of days until the maximum rate of growth and percentage of germinated seeds. The effect of temperature on the growth of the embryo in the seeds of the studied cultures. Studied in different cultures. Was analyzed the “degree of underdevelopment of the embryo” (DUE), which characterizes the morpho-anatomical features of the embryo. The temperature coefficient (Q_{10}) for the rate of growth of the embryo umbrella vegetable crops.

Key words: seeds, embryo, seed germination, umbelliferae, the temperature, the temperature coefficient (Q_{10}), the degree of underdevelopment of the embryo (DUE).