



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ
ИМ. В.Ф. КУПРЕВИЧА

Г.Н. АЛЕКСЕЙЧУК, Н.А. ЛАМАН

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО СЕМЯН
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР
И МЕТОДЫ ЕГО ОЦЕНКИ**

Минск
ИООО «Право и экономика»
2005

УДК 581.14:631.53.011/.027.2/3

ББК 28

А4

Научный редактор:

С.И. Гриб, академик НАН Беларуси

Рекомендовано к изданию решением Ученого Совета
Института экспериментальной ботаники
им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси

(протокол № 10 от 22.06.05)

Алексейчук Г.Н., Ламан Н.А.

А4 Физиологическое качество семян сельскохозяйственных культур и методы его оценки – Мн.: Право и экономика, 2005. – 48 с.
ISBN 985-442-188-0

© Алексейчук Г.Н., Ламан Н.А., 2005

© Оформление. ИООО «Право и экономика», 2005

ISBN 985-442-188-0

От авторов

Целью опубликования данного методического руководства является попытка проанализировать современное состояние проблемы по способам оценки качества семян, позволяющим прогнозировать их поведение в полевых, большей частью неблагоприятных условиях. Проведенный авторами анализ литературы позволяет сделать вывод о наметившемся в последние годы разрыве между отечественными и зарубежными подходами как в терминологии, так и в используемых методах. За последние 20 лет в мире сформулирована концепция тестирования семян, основанная на оценке их качества как комплексного параметра, характеризующего способность семян к прорастанию в неблагоприятных полевых условиях. Основные усилия в этот период были сосредоточены на разработке и совершенствовании лабораторных методов, пригодных к использованию в семеноводческих компаниях. С этой целью при Международном обществе по оценке семян был создан специальный комитет по оценке силы роста семян. Благодаря его активной деятельности разработан ряд методик, полезных как для специалистов по проблемам семеноведения и семеноводства, так и для физиологов растений; отдельные из них включены в Международные правила по оценке семян на уровне ГОСТов. Эти методики подробно рассматриваются в данном руководстве. Авторы также уделили внимание терминологии: приведен краткий англо-русский словарь научных терминов, которые наиболее часто вызывают затруднения при переводах иностранных научных статей.

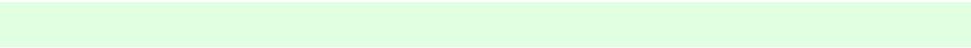
Надеемся, что изложенные в методическом руководстве сведения окажутся полезными для отечественных физиологов растений и семеноводов и будут стимулировать интерес исследователей к этой важной с практической точки зрения проблеме.

Авторы выражают признательность профессору Алану Тэйлору (Корнельский университет, штат Нью-Йорк, США), доктору Стивену Груту (Международный центр по исследованию растений, г. Вагенинген, Нидерланды), д.б.н. Н.В. Обручевой (Институт физиологии растений им. К.А.Тимирязева РАН, г. Москва, Россия), к.б.н. Е.Н. Головиной (ИФР РАН, Москва, Россия; Вагенинговский Университет, г. Вагенинген, Нидерланды),

к.б.н. Т.В. Веселовой (кафедра биофизики МГУ, г. Москва, Россия), за оказанные консультации.

***Алексейчук Галина Николаевна** - кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории роста и развития растений Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси*

***Ламан Николай Афанасьевич** – академик НАН Беларуси, профессор, директор Института экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси, заведующий лабораторией роста и развития растений*



БИОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЕМЯН, ИХ ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И МОРФОСТРУКТУРА ПРОРОСТКОВ

В течение многих миллионов лет эволюции у растений сформировались специальные образования – диаспоры, которые обеспечивали размножение и расселение видов. На ранних этапах эволюции универсальной диаспорой была спора (водоросли и высшие споровые растения), позднее эта функция перешла к семенам.

Семя – одна из структурных единиц воспроизведения, размножения и расселения, которая содержит зачаток нового растения (зародыш) и специализированную запасную ткань (эндосперм, перисперм), заключенные в защитные покровы – семенную кожуру (Батыгина, 2000). Семя, как генеративная диаспора, является надежной системой, поскольку в нем имеются специальные защитные оболочки, запас питательных веществ и оно при прорастании сразу дает проросток. В ботанической терминологии семя представляет собой зародышевую стадию семенных растений.

Семенное возобновление - многоэтапный процесс, при котором путь от семязачатка до семени проходит на материнском растении, а прорастание семян и формирование новой автотрофной особи осуществляется вне связи с материнским организмом.

Исследователь при работе с семенами или проростками должен быть хорошо знаком с основными особенностями их морфологии и анатомии, четко представлять как образуются семена в процессе репродуктивного развития растений, а также важнейшие структуры зародыша в процессе его дифференциации и превращения в проросток.

Основным органом, где происходят процессы семенной репродукции покрытосеменных растений, является цветок (flos – лат., antos – греч). В обоеполом цветке происходят микро- и макроспорогенез, микро- и макрогаметогенез, опыление, оплодотворение, развитие зародыша и плода с семенами.

Цветок – это укороченный метаморфизированный побег (почка), служащий для образования спор и гамет для полового процесса. В ходе полового процесса образуются семя и плод (Рис.1).

Стеблевая часть цветка называется цветоложе, под которым имеется цветоножка. На цветоложе от основания к верхушке последовательно образуются части цветка: чашелистики в совокупности образуют чашечку, лепестки – венчик, а чашечка и венчик – двойной околоцветник. Внутри от околоцветника расположены тычинки (микроспоролистки), состоящие из тычиночной нити и пыльника. Вся совокупность тычинок цветка называется андроцеумом.

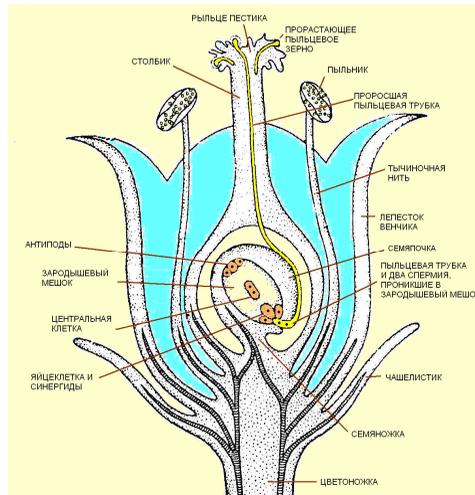


Рис.1. Схема строения цветка (С.С.Медведев, 2004)

Центральную часть цвета занимают плодолистки. Плодолистки являются мегаспоролистами, на внутренней стороне которых развиваются семязачатки или семяпочки (мегаспорангии). Количество плодолистиков, как правило, несколько. Срастаясь между собой различным способом плодолистки образуют пестик. Пестик состоит из нижней расширенной части – завязи, которая кверху суживается в столбик, переходящий на верхушке в рыльце разнообразной формы.

Семяпочки (семязачатки) развиваются на внутренних стенках завязи. Место заложения семяпочки называется плацентой. К плаценте семяпочка прикрепляется с помощью семяножки или фуникулуса (см. рис.1). Основную массу семяпочки составляет внутренний массив паренхимных клеток – нуцеллус. Нуцеллус окружен одним или двумя слоями покровов (интегументов),

образующих при смыкании узкий канал – микропиле, через который пыльцевая трубка проникает в зародышевый мешок. Противоположную микропиле часть семязачатка называют халазой.

Количество семяпочек в завязи у разных видов растений различно. У пшеницы, ячменя, ржи – одна семяпочка, у хлопчатника – несколько десятков, у мака – несколько тысяч, у орхидных – до миллиона. Соответственно, завязь ячменя дает одно семя, завязь мака – тысячи семян. Поскольку семяпочка является мегаспорангием, в ней происходит процесс образования мегаспоры (макроспоры). Внутри нуцеллуса в результате делений образуется материнская клетка, которая делится в дальнейшем дважды и образует тетраду мегаспор. Из четырех гаплоидных мегаспор три постепенно дегенерируют, а оставшаяся развивается в женский гаметофит, который называется зародышевым мешком. Зародышевый мешок занимает центральную часть семяпочки (Рис.2).

Типичный зародышевый мешок формируется следующим образом. Оставшаяся гаплоидная мегаспора (материнская клетка) делится трижды и превращается в семиклеточное восьмиядерное тело с упорядоченным расположением клеток: одна двухядерная в центре (как правило, не имеет клеточной оболочки) и по три одноядерных у противоположных полюсов. У микропиле дифференцируется яйцевой аппарат с одной крупной яйцеклеткой и двумя вспомогательными менее развитыми клетками – синергидами. У халазного полюса располагаются три одинаковых клетки - антиподы.



Рис.2. Зародышевый мешок и схема двойного оплодотворения у растений

Параллельно, микроспорогенез в пыльниках заканчивается образованием микроспор (спор, пыльцевых зерен). Еще в пыльниках микроспора делится

митозом. Образуются две различных в физиологическом отношении клетки – вегетативная и генеративная. Генеративная клетка, в свою очередь, делится, образуя два спермия. При опылении и попадании пыльцы на рыльце пестика она прорастает в форме пыльцевой трубки, в которую переходят и два спермия (см. рис.1 и 2). Проникая в зародышевый мешок, конец пыльцевой трубки лопаются. Один из спермиев соединяется с яйцеклеткой, в результате образуется зигота, из которой развивается зародыш семени, второй – с двухядерной клеткой в центре, что дает начало эндосперму.

В первом случае образуется диплоидная зигота, т.к. спермий и яйцеклетка имеют гаплоидные наборы хромосом. Во втором случае получается триплоидный эндосперм, так как слияние двух ядер в центральной клетке дает диплоидный набор хромосом, к которому добавляется гаплоидный набор хромосом спермия. Описанный процесс называют двойным оплодотворением.

Преимущество двойного оплодотворения заключается в том, что происходит очень быстрое развитие запасующей ткани. Наличие запаса питательных веществ в этом случае обеспечивает стабильное и быстрое развитие зародыша.

Как следует из вышеизложенного, собственно семя представляет собой созревший семязачаток, содержащий зародыш, запас питательных веществ и покровные ткани, превратившиеся в защитную семенную кожуру или тесту (Эзау, 1980). В этой связи одной из функций семени является хранение запасных питательных веществ, которыми обеспечивается формирующийся из семени проросток, пока он не станет способным к фотосинтезу. У большинства растений запасные питательные вещества семени откладываются вне зародыша – в эндосперме или перисперме. Однако у многих двудольных ткани, из которых образуются эндосперм и перисперм, соответственно, центральная часть зародышевого мешка и нуцеллус, недолговечны и целиком или частично поглощаются развивающимся зародышем. В этом случае запас питательных веществ накапливается в тканях зародыша, главным образом в семядолях (фасоль, люпин, горох). Поскольку питательные вещества могут храниться как в зародыше, так и вне его, то соотношение объемов этих частей семени может быть различно.

Как видно из рис.3, каждое семя окружено семенной оболочкой. У односемянных плодов (пшеница, салат) наружной является плодовая оболочка –

перикарп. Многообразие строения семян обуславливает также и многообразие типов их прорастания и морфологических особенностей проростков.

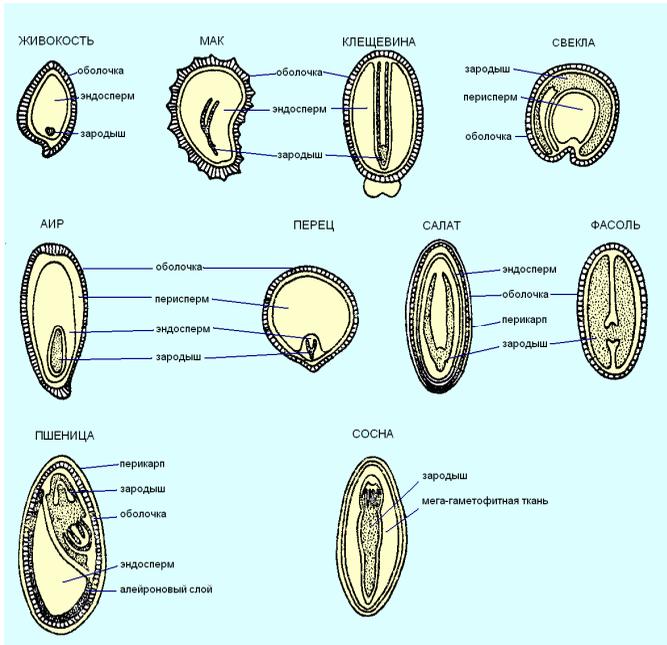


Рис.3. Относительные размеры структурных частей семян различных видов растений (Ф.Э. Реймерс, 1983)

ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ

Хотя каждый организм формируется и функционирует в определенных экологических условиях, которые оказывают влияние на ход его онтогенеза, однако возможные отклонения в цикле индивидуального развития при этом, как правило, не затрагивают сложившиеся в процессе эволюции общие закономерности формирования вегетативных органов.

Зародыши семян по степени морфологической дифференциации разделяются на три группы: дифференцированные, недифференцированные и рудиментарные.

У семян большинства сельскохозяйственных растений зародыш является хорошо дифференцированным молодым организмом. У двудольных он имеет

зачатки вегетативных органов: зародышевый корень (radicula), подсемядольное колено или гипокотиль (hypocotyle), несущий зародышевые листья или семядоли (cotyledons). Корень и гипокотиль составляют осевую часть зародыша (axes). Между семядолями находится почечка (plumula) и даже может быть зачаток побега. По форме зародыши двудольных могут быть прямыми (табак, клещевина, хурма), согнутыми (куколь), спирально закрученными (повилика), подковообразными (свекла, пастушья сумка), свернутыми наподобие плоской пружины (хмель) и т.д.

У однодольных, в частности у злаков, зародыш расположен у основания зерновки и достигает высокой степени дифференциации. Он имеет семядолю – щиток, напротив щитка расположен небольшой вырост – эпибласт (рис.4).

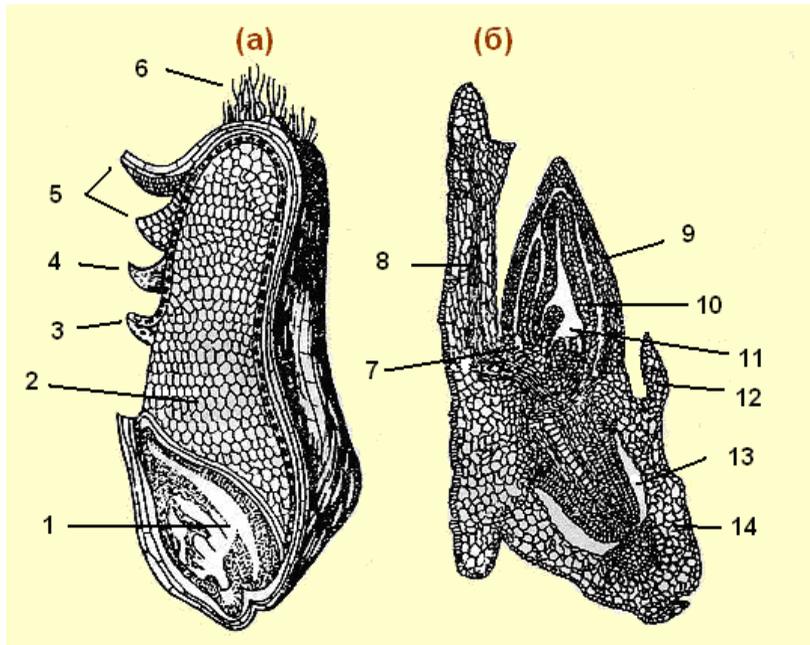


Рис.4. Строение зерновки (а) и зародыша (б) пшеницы:

1 – зародыш; 2 – эндосперм; 3 – алейроновый слой; 4 – семенные оболочки; 5 – плодовые оболочки; 6 – хохолок; 7 – боковая почка в пазухе колеоптиле; 8 – щиток; 9 – колеоптиль; 10 – первый настоящий лист; 11 – апекс; 12 – эпибласт; 13 – главный зародышевый корешок; 14 - колеориза

Почечка (апекс), заключенная в колеоптиль, содержит зачатки нескольких листьев. Колеоптиль представляет собой конусовидный полый видоизмененный лист со щелевидным отверстием у верхушки, через которое побег выходит наружу во время прорастания. Зародышевый корень на другом конце оси одет корневым влагалищем (чехликом) – колеоризой.

Прорастание семени в сущности является возобновлением роста зародыша в определенных условиях окружающей среды: при наличии влаги, благоприятной температуры и аэрации. Поглощение воды приводит к сильному набуханию семени, сопровождающемуся активацией прежде всего дыхания и других метаболических процессов, переводом питательных веществ в доступную для использования в процессах роста зародыша форму.

Сначала трогается в рост зародышевый корень, который, прорвав семенную кожуру, выходит на поверхность семени и внедряется в почву. Степень развития гипокотыля у двудольных растений определяет тип прорастания – подземный или надземный. При подземном прорастании, свойственном семенам гороха, вики, дуба, миндаля, гипокотиль и семядоли остаются в почве, а над ее поверхностью появляется побег, развившийся из почечки (апекса).

При надземном прорастании вслед за зародышевым корнем начинается рост гипокотыля, который в начале петлеобразно изгибается, а затем, выпрямляясь, выносит над поверхностью почвы семядоли. Так развиваются проростки фасоли, сои, люпина, огурца, подсолнечника, лука, льна и других растений (Рис.5).

У подавляющего большинства злаков прорастание подземное. Зародышевый побег, закрытый колеоптилем, выносится на поверхность в результате удлинения первого междоузлия (Рис.6).

Проросток имеет все органы, зачатки которых были в зародыше, а также вновь образовавшиеся. Корень, развившийся из зародышевого корешка, называют главным, а его ответвления, растущие обычно горизонтально, боковыми корнями. Переходная зона между корнем и гипокотилем - корневая шейка. На ней, а также на гипокотиле у многих растений появляются придаточные корни.

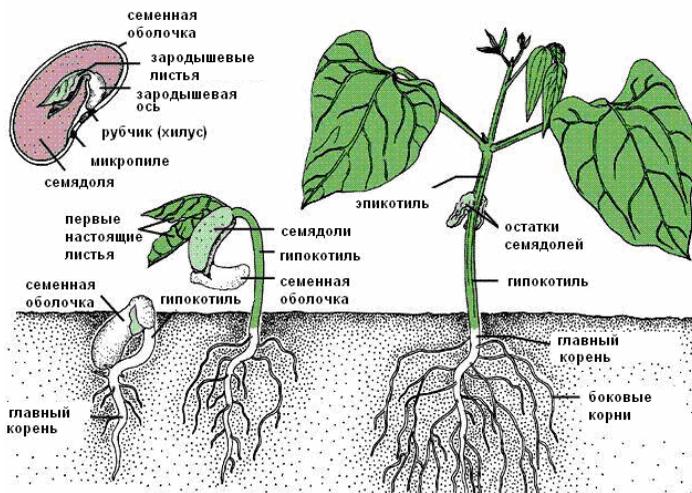


Рис.5. Надземное прорастание семян бобовых растений (фасоль)

Из почечки зародыша развивается побег, называемый главным. Он заканчивается верхушечной почкой (апексом), осуществляющей нарастание в длину. На стебле различают узлы и междоузлия. Узел – место отхождения листа, междоузлие – участок стебля между двумя узлами.

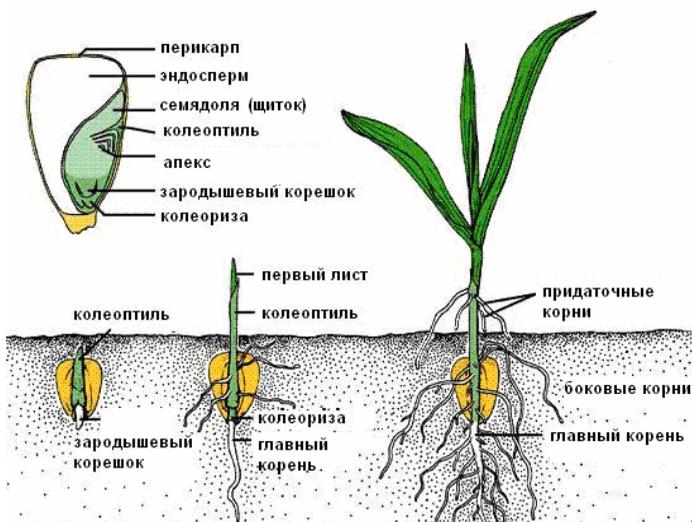


Рис.6. Подземное прорастание семян злаковых (кукуруза)

Первое междоузлие, расположенное между узлом прикрепления семядолей и первого настоящего листа называют эпикотилем. У некоторых злаков (кукуруза, овес) удлиняется междоузлие между щитком (семядоля злаков) и узлом прикрепления колеоптиля. Его называют мезокотиль. В пазухах листьев на стебле формируются почки (пазушные), из которых развиваются боковые побеги.

Считается, что оценка проростков в технологии определения посевных качеств семян занимает второе по значению место после отбора образцов. Главная цель всех семенных тестов – выявление способности семян образовывать нормальные проростки, способные к продолжительному росту в почве при благоприятных условиях. В последние десятилетия в международных правилах определения качества семян введен раздел, предписывающий оценивать у проростков развитие важнейших морфологических структур, нарушение которого приводит к гибели или слабому росту проростка. Обращается особое внимание и на необходимость оценки потенциалов проростков при попадании их в неблагоприятные условия. С этой целью подготовлены пособия, позволяющие более объективно осуществлять оценку развития проростков. Эти вопросы обсуждаются в изданной на русском языке монографии П. Веллингтона «Методика оценки проростков семян» (1973), где детально описаны признаки нормальных и аномальных по развитию проростков 28 культур с распространением по аналогии этих описаний с иллюстрациями еще на 72 вида растений, относящихся к 8 семействам.

В соответствии с Международными правилами, при проведении лабораторных испытаний выделяют следующие категории *анормально развитых проростков*, которые не могут иметь хозяйственной ценности, поскольку не способны развиваться в нормально развитые растения в полевых условиях:

1. загнившие семена и проростки, в том числе все те, у которых корень и семядоли либо полностью, либо в своей большей части загнили, при условии что вызывающие гниль патогены не перешли с соседнего проростка;
2. травмированные проростки, у которых отломаны семядоли или часть корня, даже если имеются придаточные корни;

3. аномально развитые проростки, в т.ч. те, которые прорвали семенную оболочку, но прекратили рост, даже если семядоли приобрели зеленую окраску; проростки со слабыми побегами или корнями; проростки, у которых значительная часть корня или побега повреждены возбудителями болезней.

В свою очередь, **нормально развитые проростки** должны иметь:

1. хорошо развитую корневую систему, включая первичный корешок, за исключением тех растений (например, виды злаковых), которые образуют не менее двух зародышевых корешков;
2. хорошо развитый гипокотиль без повреждения проводящих тканей;
3. неповрежденную почку с хорошо развитым зеленым листом, находящимся внутри или вышедшим из колеоптиля, или же неповрежденный эпикотиль с нормальной верхушечной почкой;
4. одну семядолу для однодольных и две семядоли для двудольных растений.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО СЕМЯН КАК КОМПЛЕКСНЫЙ ПАРАМЕТР, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЙ ИХ СПОСОБНОСТЬ К ПРОРАСТАНИЮ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ

Качество семян является важной характеристикой начальных этапов жизненного цикла растений и ему следует уделять пристальное внимание для сохранения и воспроизводимости генома сорта или гибрида от поколения к поколению. Семена высокого качества обеспечивают также стартовый потенциал для наиболее оптимального формирования продуктивности и устойчивости растений. В свою очередь качество семян определяется, начиная уже с их формирования на материнском растении и заканчивая посевом. На качество семян оказывают влияние все процедуры, проводимые после уборки урожая, в том числе и условия хранения.

Вопрос о том, что такое качество семян, какие физиологические параметры его определяют и как его достоверно оценить, в настоящее время широко обсуждается учеными в области семеноведения и семеноводства (Basra, 1995; Bino et al., 1998; Hampton, 2002; Powell et al., 1984; Roberts, 1984; Taylor, 2003; Taylor, 1997). Актуальность данной проблемы определяется ее практической направленностью и востребованностью в сельском хозяйстве.

Согласно отечественной терминологии, семена как материал для размножения характеризуются *посевными качествами и урожайными свойствами*. К посевным качествам относятся чистота от сорняков (ГОСТ 12037-81), степень зараженности болезнями и вредителями (ГОСТы 12044-93, 12045-97), всхожесть и энергия прорастания (ГОСТ 12038-84). Урожайные свойства рассматривают как способность семян формировать растения, обеспечивающие высокую продуктивность культуры.

В настоящее время в англоязычной научной литературе принято понятие *качество семян* (seed quality). В международных семенных лабораториях оценка качества семян осуществляется по следующим показателям: чистота от примесей и сорняков; степень зараженности патогенами; всхожесть или жизнеспособность (viability); способность к быстрому и одновременному прорастанию в полевых условиях (Seed Vigor Testing Handbook, 1983; Handbook of Vigour Test Methods, 1995; International rules for seed testing, 1999). При этом показатели, характеризующие жизнеспособность и скорость прорастания семян, составляют физиологическую компоненту качества семян и при их характеристике часто используют термин *физиологическое качество*. Определение физиологического качества семян включает их урожайные свойства.

Для оценки физиологического качества семена в первую очередь тестируют на всхожесть. Всхожесть семян является основным общепринятым параметром оценки жизнеспособности как способности к прорастанию (т.е. живое семя или мертвое). Методология определения всхожести хорошо развита и непрерывно совершенствуется в сторону повышения воспроизводимости и статистической достоверности результатов.

Актуальную и широко изучаемую в настоящий момент проблему составляет оценка способности семян к быстрому и одновременному прорастанию в полевых условиях. Специалистами уже давно замечено, что семена одной и той же партии часто по-разному прорастают в лаборатории и в полевых условиях. В 1876 г. Ноббе ввел термин «движущая сила» для характеристики этого явления (Nobbe, 1876). Позже ему давали множество названий, однако сейчас в мире принят универсальный термин «seed vigor», который наиболее адекватно может быть переведен на русский язык как *сила роста семян*. Следует подчеркнуть, что понятие сила роста семян является комплексным. О неоднозначности его

интерпретации свидетельствует тот факт, что Международное общество по оценке семян (International Seed Testing Association = ISTA) на протяжении 27 лет обсуждало и согласовывало этот термин. Силу роста семян невозможно, подобно жизнеспособности, определить на основе одного измеренного параметра. Согласно определению ISTA, сила роста это сумма тех свойств семян, которые определяют их способность к дружному прорастанию и развитию в нормально развитые проростки в широком диапазоне полевых условий среды (Handbook of Vigor Test Methods, 1995). Проведенный нами анализ литературы по вышеприведенной терминологии позволил заключить, что термины «физиологическое качество» и «сила роста» можно использовать как синонимы.

Разработкой и модификацией методов по оценке силы роста (или физиологического качества) семян сельскохозяйственных культур занимаются специальные комитеты при Международных обществах по оценке семян. В странах СНГ метод по оценке силы роста семян сельскохозяйственных культур введен в практику в 1966 году (ГОСТ 12040-66), однако в Государственном реестре производителей семян он не является обязательным. В 1995 году появился ГОСТ 30168-95 для оценки семян сахарной свеклы. Подробное описание данных методик нами не приводится, поскольку ГОСТы опубликованы и с ними можно ознакомиться. Принцип этих методов основан на тесте Хилтнера (см. ниже).

При изучении качества семян акцент первоначально был сделан на их физических характеристиках, таких как масса, размер, удельная плотность. Это направление в последнее время приняло новое, более современное очертание в виде разрабатывающихся автоматизированных имиджевых систем, когда семена сканируются под микроскопом и данные, полученные об морфологических особенностях их строения и/или размерах и т.п., заносятся в компьютер (Cicero et al., 1998).

Основные усилия биологов сконцентрированы на выяснении физиологических механизмов, обуславливающих различия в силе роста семян, особенно на роли процесса старения (Bino et al., 1998; Mc Donald, 1999; Powell, 1988; Priestly, 1986; Walters, 1998). В настоящее время *старение семян* считается основной причиной снижения их качества и, в конечном счете, потери жизнеспособности и включает процесс ухудшения (deterioration) как накопление дегенеративных изменений до тех пор, пока способность к прорастанию не

теряется полностью. Старение семян нельзя сравнивать со старением организма животных, поскольку между ними существует принципиальное различие: у животных и человека старение есть генетически запрограммированный во времени процесс угасания активности функциональных систем организма, в то время как у семян это, в первую очередь, фактор влияния внешних условий на организм, находящийся в вынужденном покое.

Детериорация семян, приводящая к их старению, может начинаться уже на стадии физиологической зрелости и продолжается при уборке урожая, обработке и хранении семян со скоростью, определяемой их генетическими особенностями и интенсивностью воздействия неблагоприятных экзогенных факторов. Продолжительность процесса может варьировать от нескольких дней при неблагоприятных условиях, до многих десятков и, в отдельных случаях, даже сотен лет. Процесс детериорации является последовательным и прогрессирующим, хотя бывает очень трудно отделить первичные причины, вызывающие старение, от вторичных. Определяющую роль в его проявлении играет, по-видимому, физиологическое и физическое повреждение клеточных мембран (Ladonne, 1989); одновременно наблюдаются также изменения в активности ферментов (особенно антиоксидантных), интенсивности дыхания, снижении синтеза белков и РНК, повреждении на уровне ДНК и накоплении токсических метаболитов (Priestly, 1986; Walters, 1998). Вследствие детериорации семена прогрессивно снижают способность к прорастанию, включая скорость и одновременность прорастания, устойчивость к экзогенным стрессорам. Потеря силы роста у семян предшествует потере всхожести, поэтому семена различных партий с одинаковой лабораторной всхожестью часто могут различаться по их физиологическому состоянию (степени детериорации) и следовательно иметь различную силу роста (или физиологическое качество).

Когда условия прорастания оптимальны, полевая всхожесть, как правило, коррелирует с лабораторной (Ladonne, 1989) и сила роста семян может не иметь определяющего значения в дружности и полноте всходов. Однако поскольку на практике редко встречаются идеальные условия для прорастания, стрессорные условия окружающей среды (например, низкая или высокая температура и/или влажность) приведут к появлению различий в полевой всхожести в зависимости от силы роста у семян (рис.7).

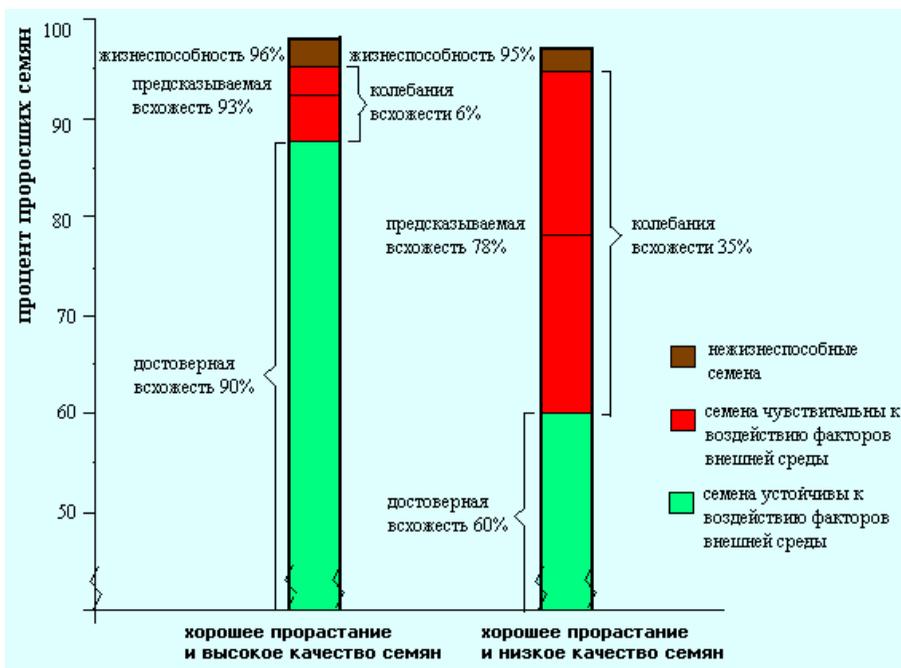


Рис.7. Зависимость между силой роста семян и их полевой всхожестью (Handbook of Vigor Test Methods, 1995)

Стрессоры первоначально влияют на скорость появления всходов, а затем приводят к различиям по темпам роста проростков и конечной продуктивности растений. Семена с высокой силой роста имеют более высокие показатели полевой всхожести при неблагоприятных условиях окружающей среды, хотя по показателям лабораторной всхожести они могут не отличаться от семян с низкой силой роста.

Таким образом, в свете изложенных фактов применение методов, позволяющих оценивать физиологическое качество (или силу роста) семян в лабораторных условиях, приобретает важное практическое значение.

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА СЕМЯН

Существующие методы оценки физиологического качества семян могут быть разделены по следующим категориям: оценка прорастающих семян на разных уровнях организации организма и оценка роста проростков.

ОЦЕНКА ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН

Уровень целого организма включает широко известные в семеноводстве методы оценки всхожести семян. Согласно ГОСТу 12038-84, *всхожесть* - это способность семян давать нормально развитые проростки за определенный срок (предусмотренный для каждой культуры) при оптимальных условиях проращивания. Процент всхожести устанавливают отношением нормально проросших семян к общему их количеству, взятому для проращивания. *Энергия прорастания* характеризует дружность прорастания семян, т.е. количество семян, нормально проросших за более короткий срок, установленный для каждой культуры. Тем не менее данные, получаемые при оценке энергии прорастания, не всегда достаточно полно характеризуют качество семян. Например, у ячменя энергию прорастания семян следует определять через 3 дня. Однако при оптимальных условиях проращивания часто случается так, что все семена прорастают за 3 дня и в результате показатели энергии прорастания не отличаются от всхожести. Чтобы получить больше информации, в международной практике оценивают *скорость прорастания*. Подсчеты делают каждый день и рассчитывают время, за которое проросло определенное количество семян. Например, D_{50} есть количество дней, за которые проросло 50% от общего числа проросших семян. D_{75-25} при этом количественно оценивает одновременность прорастания. Таким образом, на основе одного только ежедневного подсчета количества проросших семян можно получить достоверную информацию о скорости прорастания.

Следующим подходом к оценке физиологического качества семян является оценка их устойчивости к неблагоприятным факторам прорастания. Диагностика устойчивости растений к различным стрессовым воздействиям,

широко используемая в научных исследованиях, также во многом основана на оценке особенностей прорастания семян (Удовенко, 1988). В данном методическом пособии излагаются методы, разработанные Международным комитетом по оценке силы роста семян, осуществляющем свою деятельность под эгидой Международного общества по оценке семян (Seed Vigor Testing Handbook, 1983; Handbook of Vigor Test Methods, 1995).

1. Тесты на устойчивость к высокой температуре и влажности воздуха

1.1. Ускоренное старение семян

Тест на ускоренное старение первоначально был разработан для определения потенциальной способности семян к хранению, однако исследования показали, что получаемые результаты хорошо коррелируют с силой семян и их полевой всхожестью. Данный тест рекомендован Международным обществом по тестированию семян (ISTA) для государственной сертификации качества семян сои (International rules for seed testing, 2004). В исследовательских целях он может быть использован для ряда других культур (горох, бобы, хлопчатник и др.).

Принцип данного теста заключается в выдерживании семян в течение короткого времени при двух основных переменных окружающей среды, которые обычно вызывают детериорацию: высокая температура и высокая влажность воздуха. Семена хорошего качества будут лучше переносить эти экстремальные условия и ухудшаться медленнее, чем семена плохого качества.

Семена взвешивают и помещают на поддон с отверстиями (сито), который вкладывают в пластиковый контейнер, на дно которого налита вода. Контейнер помещают в термостат, где семена подвергаются старению при высокой температуре (41-45⁰С) определенное время (48-144ч), диапазон зависит от вида (табл.1).

Важно, чтобы семена были размещены на сите в один слой и имели одинаковое расстояние до воды, т.к. наслоение семян повлияет на скорость поглощения паров воды и приведет к вариабельности их влагосодержания. Размер семян также влияет на конечное влагосодержание и последующее

проращение: крупные семена набухают и прорастают медленнее. Однако конечное влагосодержание можно контролировать, если количество семян рассчитывать по массе.

Таблица 1. Условия для ускоренного старения (УС) семян некоторых видов растений (данные взяты из Handbook of vigour test methods, 1995). ВС – влагосодержание семян

Виды растений	Температура (°C)	Время (часы)	ВС (%) после УС
Люцерна посевная (<i>Medicago sativa</i> L.)	41	72	40-44
Фасоль обыкновенная (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	41	72	28-30
Рапс (<i>Brassica napus</i> L.)	41	72	39-44
Кукуруза (<i>Zea mays</i> L.)	41	72	31-35
Салат посевной (<i>Lactuca sativa</i> L.)	41	72	38-41
Фасоль мунго (<i>Phaseolus mungo</i> L.)	45	96	27-32
Лук репчатый (<i>Allium cepa</i> L.)	41	72	40-45
Перец (<i>Capsicum spp.</i> L.)	41	72	40-45
Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	43	72	39-44
Плевел многолетний (<i>Lolium perenne</i> L.)	41	48	36-38
Сорго обыкновенное (<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench)	43	72	28-30
Овсяница тростниковая (<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.)	41	72	47-53
Табак настоящий (<i>Nicotiana tabacum</i> L.)	43	72	40-50
Помидор (<i>Lycopersicon lycopersicum</i> L.)	41	72	44-46
Пшеница мягкая (<i>Triticum aestivum</i> L.)	41	72	28-30
Соя культурная (<i>Glycine max</i> L. Merrill)	41	72	27-30
Хлопчатник обыкновенный (<i>Gossypium hirsutum</i> L.)	45	72	нет
Клевер мясокрасный (<i>Trifolium incarnatum</i> L.)	41	72	данны
Сосна болотная (<i>Pinus palustris</i> Mill.)	41	96	х
Редька посевная (<i>Raphanus sativus</i> L.)	45	48	
Сафлор красильный (<i>Carthamus tinctorius</i> L.)	38	72	
Костер безостый (<i>Bromus inermis</i> Leyss.)	45	72	
Тимофеевка луговая (<i>Phleum pratense</i> L.)	41	72	
Арбуз обыкновенный (<i>Citrullus lanatus</i> Thunb.)	45	144	



Рис.8. Эксикатор с семенами

(на дно под сеткой наливают воду или насыщенный раствор солей)

Процедура:

1. Поддон с отверстиями (сито) и пластиковый или стеклянный контейнер (можно эксикатор) тщательно промывают, стерилизуют и высушивают.
2. Наливают дистиллированную воду в контейнер и аккуратно вставляют туда поддон с отверстиями, так чтобы он не касался воды.
3. Определяют начальное влагосодержание семян, значение которого должно находиться в диапазоне, соответствующем сухим зрелым семенам (например, 10-14% для сои). Если семена слишком сухие или слишком влажные, их соответственно увлажняют или подсушивают до нужной величины влагосодержания.
4. Предварительно взвешенные семена помещают на сито в один слой. Если семена крупные, то используют несколько контейнеров, чтобы поместить необходимое количество семян в один слой.
5. Контейнер закрывают крышкой и помещают в термостат с температурой 41-45⁰С (см. табл.1). Между контейнерами, а также контейнерами и стенками термостата должно быть не менее 2,5 см свободного пространства, чтобы обеспечить равномерность их нагревания.
6. Время начала эксперимента регистрируют. В ходе эксперимента температура должна быть постоянной, поэтому дверь камеры желательно не открывать до его окончания.

7. Достают семена точно в намеченный срок и в течение 1 часа после окончания инкубации раскладывают их для стандартного определения всхожести согласно ГОСТу.
8. По окончании эксперимента делают контрольный анализ влагосодержания семян. Если полученная величина ниже установленной (см. табл. 1), тест не может считаться точным и его следует повторить.
9. Если тестируют одновременно несколько образцов, то их закладывают с интервалом примерно 1 час, что позволяет вовремя проделать работу по раскладыванию семян для определения их всхожести.

Интерпретация результатов:

Тест на ускоренное старение семян позволяет определить процент нормально и аномально развитых проростков после стрессорного воздействия. При сравнении результатов этого теста с результатами стандартного определения всхожести тех же семян, не подвергнутых ускоренному старению, у семян с высокой силой результаты будут приближены друг к другу в большей степени, чем у семян со средней или низкой силой. Показатели лабораторной всхожести после ускоренного старения хорошо коррелируют со всхожестью семян в неблагоприятных полевых условиях.

При использовании методики следует строго следовать процедуре и описанным условиям, поскольку даже незначительные отклонения в температуре, величине образца или времени старения будут приводить к вариациям в конечном влагосодержании семян и/или прорастании, что снизит воспроизводимость этого теста.

1.2. Контролируемая детериорация

Данный тест первоначально был разработан для мелкосемянных овощных культур, которые, как правило, медленно прорастают в поле и плохо хранятся. Он рекомендован для государственной сертификации семян капусты, моркови и лука, однако в научных целях список видов может быть расширен.

Принцип:

В основном тест аналогичен описанному выше тесту на ускоренное старение. Семена выдерживают при заданных условиях двух наиболее важных переменных окружающей среды: высокой температуре (40-45⁰С) и высоком влагосодержании семян в течение определенного периода времени, в зависимости от вида семян. Значения температуры и влагосодержания определяют эмпирически, подбирая те условия, которые обеспечивают широкий разброс в показателях, характеризующих прорастание после обработки, но не приводят к гибели семян. В отличие от теста на ускоренное старение, этот метод позволяет контролировать влагосодержание семян в течение всего периода детериорации.

Процедура:

1. Определяют влагосодержание семян.
2. Взвешивают 4 навески семян (повторности). При определении величины навески исходят из того, что должно быть по 100 семян для последующего теста на всхожесть и по 50 семян для определения влагосодержания.
3. Повышают влагосодержание семян до желаемого уровня. Вес семян при достижении необходимого влагосодержания рассчитывают по формуле:

$$W_2 = (100 - A) / (100 - B) * W_1,$$

где А – начальное влагосодержание семян в процентах, В – требуемое влагосодержание семян (см. табл.2), W₁ – начальный вес семян в навеске, W₂ – конечный вес семян в навеске (г).

Например: если А – 11.5%, а В – должно быть 20%, то при начальном весе навески – 0.68 г, ее вес должен быть увеличен до 0.75 г.

Альтернативные способы увеличения влагосодержания семян:

А) Помещают навески семян на увлажненную фильтровальную бумагу, пока их вес не достигнет нужной величины (рассчитанной по приведенному выше уравнению). После этого помещают семена в водонепроницаемые пакеты (например, из фольги), разглаживают пакет рукой для удаления воздуха и герметично запаковывают на 3 см выше уровня семян.

Хранят пакеты в термостате 24 часа при 10⁰С для равномерного распределения влаги в набухших семенах.

Недостаток: необходимо частое взвешивание семян.

Б) Помещают семена в алюминиевые пакеты (один пакет на одну повторность) и микропипеткой добавляют туда нужное количество воды.

Расчет: $W_2 - W_1$ (согласно приведенному выше уравнению).

Например: $0.75 - 0.68 = 0.07$ мл.

Удаляют из пакетов воздух и сразу же герметично запаковывают, как и в варианте 3а. Осторожно встряхивают запаянные пакеты в течение 30 сек и помещают в термостат на 24 часа при 10⁰С, повторно встряхивая пакеты каждый час первые 4 часа.

Недостатки: для мелких семян, как правило, требуется добавление очень маленького количества воды (< 0.1 мл); для крупных семян (бобовые) набухание сильно зависит от их положения в пакете.

В) Помещают семена в открытые чашки Петри и ставят чашки в эксикатор над водой или насыщенными растворами солей. В случае использования солей учитывают относительную влажность воздуха в эксикаторе (например, для насыщенного раствора NaCl – 75%, для KCl – 86%), которое допускает набухание семян только до определенного уровня влагосодержания. В этом случае подбирают нужную соль эмпирически. Эксикатор держат при 10⁰С, пока влагосодержание семян не достигнет желаемого уровня. Затем запаковывают семена в водонепроницаемые пакеты и хранят в термостате 24 часа при 10⁰С для равномерного распределения влаги в набухших семенах.

Недостатки: требуется длительное время для достижения необходимого уровня влагосодержания у семян (до 4-6 дней).

4. Через 24 часа нахождения семян в термостате пакеты переносят в камеру с высокой температурой, где они находятся требуемое время (таблица 2).
5. После детериорации открывают пакеты и сразу же отбирают по 50 семян для определения их влагосодержания (только для варианта 3б). Отбирают по 100 семян для определения всхожести (стандартная методика). Для

обеззараживания семена можно обработать фунгицидом (например, тирамом) перед определением всхожести (но не до начала детериорации).

Интерпретация результатов:

Результаты выражаются как процент нормально и аномально развитых проростков. Данные сравнивают с прорастанием семян до детериорации. Партии семян, показатели прорастания которых после детериорации приближены к контролю, имеют высокую силу. Если же у семян снижается способность к прорастанию и увеличивается количество аномально развитых проростков, то они имеют низкую силу.

При выполнении работ следует точно соблюдать уровень влагосодержания семян. Отклонения на 1-2% указывают на то, что к результатам следует относиться осторожно, а при отклонениях выше, чем 2% требуется повторение эксперимента.

Таблица 2. Условия контролируемой детериорации (КД) некоторых видов семян (данные взяты из Handbook of vigour test methods, 1995).

Виды растений	Влагосодержание семян (%)	Время (часы)	Температура (°C)
Репа огородная, турнепс (<i>Brassica rapa</i> L.)	20	24	45
Брюква, рапс (<i>Brassica napus</i> L.)	20	24	45
Капуста кормовая (<i>Brassicca oleracea</i> var. <i>sabellica</i> L.)	21	24	45
Капуста белокачанная (<i>Brasicca oleracea</i> var. <i>capitata</i> L.)	24	24	45
Капуста цветная (<i>Brassica oleracea</i> var. <i>botrycis</i> L.)	20	24	45
Сахарная свекла (<i>Beta vulgaris</i> var. <i>altissima</i> Doll.)	24	24	45
Морковь (<i>Daucus carota</i> L.)	24	24	45
Салат посевной (<i>Lactuca sativa</i> L.)	20	24	45
Лук репчатый (<i>Allium cepa</i> L.)	19	24	45
Горох посевной (<i>Pisum sativum</i> L.)	20	24	45
Клевер луговой (<i>Trifolium pratense</i> L.)	18	24	45
Люцерна посевная (<i>Medicago sativa</i> L.)	20	48	40
Райграс многолетний (<i>Lolium perenne</i> L.)	20	48	40
Овсяница (<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.)	20	48	40

2. Тест на устойчивость к холоду и почвенным патогенам

Холодовой тест был разработан в конце 40-х – начале 50-х годов в США и с тех пор широко используется семенными компаниями, особенно при работе с семенами кукурузы. В Австрии холодовой тест обязателен при сертифицировании семян кукурузы. Показатели холодowego теста имеют хорошую корреляцию с полевой всхожестью также для семян сои, хлопчатника, сорго и др. культур.

Холодовой тест определяет способность семян прорасти и продуцировать нормально развитые проростки в условиях низких физиологических температур, высокой влажности и в присутствии почвенных патогенов. При низких температурах у семян с низкой силой роста, вследствие более высокой проницаемости мембран выделяется значительное количество сахаров, аминокислот и др. веществ, что создает благоприятные условия для размножения патогенных микроорганизмов. Это наиболее распространенный тест, который широко используется для оценки семян в различных странах (TeKrony, 1983; Ferguson, 1990; Hampton, 1992; Невзоров и др., 1960). Поскольку способность хорошо прорасти и развиваться в холодной влажной почве зависит от генотипических особенностей, механических повреждений, обработок и физиологического состояния семян, то холодовой тест рекомендуется для оценки (AOSA, 1983):

- эффективности фунгицидов при предпосевной обработке;
- исходного материала в селекции;
- физиологического состояния семян после хранения и обработок;
- влияния механических повреждений на прорастание в холодной, влажной почве;
- партий семян, рекомендуемых для раннего весеннего сева.

Принцип:

Семена выдерживают при низкой положительной температуре (для кукурузы +10⁰C) 7 дней в нестерильной почве с влажностью примерно 60-70%, а затем переносят в оптимальные условия (+22-25⁰C) на 4-7 дней. Почву желательно взять с поля, на котором планируется высевать семена.

Примечание: при оценке холодоустойчивых видов, барьер низкой положительной температуры целесообразно снизить до значения

физиологически эффективных температур, при которых начинается прорастание (например, для ячменя +5⁰С).

Существует несколько модификаций этого метода, предложенных разными лабораториями. В качестве среды для прорастания можно использовать почву или смесь почвы с песком. Семена проращивают рулонным методом или в пластиковых коробках, поддонах и т.п. Хотя различия в используемом оборудовании делают затрудненной стандартизацию, внутрिलाбораторные результаты, как правило, согласуются.

2.1. Проращивание семян в рулонах

Процедура:

1. До начала эксперимента воду охлаждают до 10⁰С.
1. Используют по 50 семян в 4-х кратной повторности. Семена раскладывают на двойном слое увлажненной и охлажденной фильтровальной бумаги (по 25 семян на расстоянии 7 и 10 см от верхнего края).
2. Разложенные семена слегка присыпают подготовленной смесью почвы с песком таким образом, чтобы каждое семя находилось в контакте с почвой. Сверху семена и почву покрывают третьим слоем бумаги и все три слоя плотно сворачивают в рулон.
3. Готовые рулоны помещают в контейнер в вертикальном положении (контейнер должен иметь разделительные перегородки, чтобы рулоны не соприкасались). В контейнеры на дно наливают охлажденную воду и накрывают сверху полиэтиленовыми пакетами для предотвращения потери влаги.
4. Контейнеры помещают в термостат при 10⁰С на 7 дней.
5. После холодной обработки контейнеры переносят в термостат с температурой 22-25⁰С еще на 5 дней.
6. Через 12 дней проростки оценивают, используя те же критерии, что и при стандартном определении всхожести семян.

2.2. Проращивание семян в поддонах

В этом методе используют стандартные поддоны, подходящие по размеру к внутреннему размеру термостата.

1. На дно поддона наливают небольшое количество охлажденной воды, затем укладывают один слой фильтровальной бумаги и сверху помещают пластмассовую решетку высотой примерно 0.5 -1 см. Края нижнего слоя бумаги загибают над решеткой.
2. На решетку укладывают второй слой бумаги, которая соприкасаясь с загнутыми краями нижнего слоя, будет увлажняться. Наверх тонким слоем (примерно 3 мм) насыпают почву или смесь почва/песок.
3. На почве раскладывают семена. На один поддон в зависимости от размера можно разместить 2-4 повторности семян по 50 штук в каждой.
4. Условия эксперимента аналогичны условиям в рулонном методе: первые 7 дней – при 10⁰С, но последующий период выращивания короче – 4 дня при 22-25⁰С.
5. Проростки оценивают согласно критериям стандартного теста на всхожесть.

Хотя этот метод требует значительно больше места, чем рулонный, он имеет важное преимущество: выращивание растений на субстрате приближает эксперимент к условиям полевого опыта и результаты лучше коррелируют с полевой всхожестью. Основным недостатком данного метода является то, что для проведения эксперимента требуется значительное количество почвы и больше места в термостате, что снижает число повторностей для одновременного тестирования.

Интерпретация результатов:

Для интерпретации результатов в каждом эксперименте следует использовать контрольный вариант, когда семена прорастивают, не подвергая их холодному стрессу. Результаты этого сравнения значительно более важны для оценки партии семян, чем простой тест на всхожесть. Обычно рекомендуется начинать прорастивание при температуре +10⁰С, однако, в некоторых странах используют диапазон температур от +8.5⁰ до +13.5⁰С, подчеркивая при этом, что различия более отчетливы при использовании более низких положительных температур.

3. Тест на устойчивость к низким положительным температурам

Для семян некоторых теплолюбивых культур (напр., огурцы, хлопчатник), температура, рекомендуемая в почвенно-холодовом тесте (см.

выше), может быть слишком низкой. В этих случаях можно использовать тест, который представляет собой модификацию вышеописанного метода и заключается в проращивании семян в рулонах в течение 7 дней при температуре 18⁰С.

Интерпретация результатов:

После проращивания проростки оценивают как нормально проросшие и аномально проросшие, согласно условиям стандартной оценки всхожести. Затем, только у нормально проросших проростков измеряют длину оси гипокотиль – корень (от кончика корня до точки прикрепления семядолей). Все нормально проросшие проростки с длиной оси гипокотиль-корень 4 см и выше, классифицируются как имеющие высокую силу. Остальные проростки не оцениваются. Процент проростков с высокой силой сравнивают с контрольным вариантом. Партии семян, у которых данный показатель аналогичен контролю (например, > 80%), определяют как семена с высокой силой и, следовательно, их можно высевать в поле при более широком диапазоне температур. Если же процент проростков с высокой силой в исследованной партии снижается по сравнению с контролем, ее характеризуют как партию семян с низкой силой, которую следует использовать для выращивания только при благоприятных условиях.

4. Комплексный тест на устойчивость к температурному и кислородному стрессам

Данный тест был разработан в 1982 г. в Венгрии для оценки силы семян пшеницы и кукурузы. Его целью является имитация сразу нескольких стрессорных факторов окружающей среды, под влияние которых семена могут попадать в различных почвенно-климатических условиях.

Принцип:

Семена подвергают влиянию температурного и кислородного (гипоксия) стрессоров путем полного их погружения в воду и последующей инкубации сначала 48ч при температуре +22-25⁰С, а затем еще 48ч при низких положительных температурах +2-5⁰С. Замачивание инициирует метаболическую активность семян, происходящую в начале прорастания. Однако вследствие постоянной кислородной недостаточности этот процесс затормаживается и вскоре останавливается. Клеточные мембраны семян в этих условиях постепенно теряют нормальную

функциональную активность и начинают «протекать». Низкая температура может приводить в дальнейшем к физиологическим повреждениям семян, уже пострадавших от кислородной недостаточности.

Процедура:

1. 200 семян заливают 200 мл дистиллированной или деионизированной воды, содержащей 0.15% гипохлорида натрия (для обеззараживания):
пшеница – 48ч при 20⁰С, а затем 48ч при 2⁰С;
кукуруза - 48ч при 25⁰С, а затем 48ч при 5⁰С.
2. Достают семена из воды, удаляют фильтровальной бумагой излишки воды с поверхности семян и раскладывают на проращивание стандартным рулонным способом.
3. Готовые рулоны ставят в пластиковый контейнер в вертикальном положении (контейнер должен иметь разделительные перегородки, чтобы рулоны не соприкасались). В контейнеры на дно наливают воду и накрывают сверху полиэтиленовыми пакетами для предотвращения потери влаги.
4. Контейнеры с рулонами помещают в термостат при 20⁰С для пшеницы и 25⁰С для кукурузы и проращивают семена 96 часов. После проращивания рулоны разворачивают и оценивают проростки, согласно критериям стандартного теста на всхожесть (нормально проросшие, аномально проросшие, непроросшие). Затем измеряют длину нормально проросших проростков в каждой повторности, определяют среднюю длину пяти самых длинных проростков (d) и умножают ее на коэффициент 0,25.
5. Подразделяют нормально проросшие проростки на две категории:
а) высокая сила: нормально проросшие проростки длиной более, чем $0,25 * d$;
б) средняя сила: нормально проросшие проростки длиной менее, чем $0,25 * d$.

Пример:

длина пяти самых длинных проростков = 11.2, 12.6, 12.3, 11.8, 12.1 см

Средняя длина (L) = 12.0; $L * 0.25 = 12 * 0.25 = 3.0$ см.

Следовательно, все проростки длиной более 3.0 см имеют высокую силу; все проростки длиной менее 3.0 см имеют среднюю силу. Партия семян может быть оценена следующим образом:

- от 80 до 100% нормально развитых проростков с высокой силой = партия семян с высокой силой;

- от 48 до 79% нормально развитых проростков с высокой силой = партия семян со средней силой;
- менее 48% нормально развитых проростков с высокой силой = партия семян с низкой силой.

Интерпретация результатов:

Проростки, которые развиваются быстро в описанных условиях, имеют высокую силу. Проростки со средней силой могут выживать при интенсивном стрессе, но их рост и развитие будут заторможены по сравнению с первой группой.

5. Тест на устойчивость к болезням (тест Хилтнера)

Культуры: кукуруза, пшеница, ячмень, рис, овес.

Этот тест был разработан Hiltner и Ihssen (1911) для оценки развития на прорастающих семенах болезней, которые вызывают грибы рода *Fusarium spp.*. После того, как авторы обнаружили, что семядоли инфицированных прорастающих семян короче и не способны проникать через 3-см слой кирпичного гравия без видимого повреждения, они рекомендовали проводить этот тест при комнатной температуре в темноте, чтобы создать условия для развития патогенов. Дальнейшее совершенствование теста шло в двух направлениях. Во-первых, после того как было установлено, что грибы развиваются лучше при температурах ниже 20°, были предложены модификации теста с варьированием температур для определения конкретных видов болезней родов *Drechshera spp.*, *Ascochyta pisi*, *Septoria spp.*, а также для рода *Fusarium spp.* Во-вторых, он развивался также как тест на силу семян, поскольку стало известно, что его результаты зависят от степени повреждения семян не только грибами, но и другими факторами, подавляющими нормальный рост проростков.

Принцип:

Семена, инфицированные патогенами, поврежденные семена или семена с низкой силой часто неспособны выдерживать неблагоприятные условия прорастания. Субстрат, используемый в тесте Хилтнера, является физическим стрессором. Считают, что проростки, которые способны прорасти сквозь слой субстрата, будут выдерживать физические стрессы и в полевых условиях. Поэтому тест нашел применение как достаточно объективный способ определения силы семян.

Процедура:

1. Добавляют 250 мл воды к 1100 г стерильного кирпичного гравия или мелкого кварцевого песка (просеянным через решето с диаметром 1 мм), перемешивают и дают постоять 1 час для уравнивания влаги. Помещают полученный субстрат 3-см слоем на дно пластикового ящика. Раскладывают на нем 100 семян (так, чтобы они не соприкасались друг с другом) и присыпают их 3-см слоем того же субстрата. Сверху ящик накрывают крышкой или полиэтиленовой пленкой и помещают его в термостат при 20⁰ на 14 дней. Крышку или пленку удаляют после того как появляются всходы. Если тестируемые семена не вышли из состояния покоя, то сначала ящики с семенами выдерживают при 5⁰С в течение 4 дней, а затем переносят в термостат при 20⁰С.
2. Через 14 дней подсчитывают количество появившихся проростков, извлекают их из субстрата и оценивают согласно критериям стандартного теста на всхожесть (нормально проросшие, аномально проросшие). Затем высыпают субстрат из ящика и подсчитывают количество проростков, которые не смогли прорасти сквозь гравий. Их также оценивают как нормально проросшие и аномально проросшие.

Примечание: в случае, если целью эксперимента является определение грибной инфекции, такой как *Fusarium nivale* и *Septoria spp.*, ящики с семенами инкубируют при 10⁰С по крайней мере 14 дней, но не более 21 дня.

Интерпретация результатов:

Нормально проросшие семена обычно оценивают как сильные и количество их выражают в процентах от общего числа проростков. По другой схеме семена делят на 4 категории: нормально проросшие, аномально проросшие, здоровые непроросшие и инфицированные непроросшие. Первая категория семян (проросшие нормальные) является показателем силы семян данной партии семян. Кроме злаковых культур, этот тест дал положительные результаты для крупно- и мелкосемянных бобовых, сахарной свеклы, горчицы и др. видов. Однако, при этом для каждой культуры следует регулировать толщину слоя субстрата над семенами.

Хотя этот тест имеет хорошую воспроизводимость, результаты могут сильно варьировать по сравнению со стандартным тестом на всхожесть. Кроме

того, тест требует много времени и места, имеются также трудности в подготовке субстрата.

Следует отметить, что тест Хилтнера является единственным тестом, принятым в отечественном семеноводстве на уровне ГОСТа для оценки силы роста семян (ГОСТы 12040-66 и 30168-95).

6. Биохимические тесты

Использование биохимических показателей основано на соответствующих изменениях, происходящих в клетках семян при старении. Эти изменения сложно наблюдать в покоящихся семенах с низким уровнем влагосодержания, поэтому чаще всего требуется инициация прорастания. Показатели, используемые для изучения изменений, ассоциированных с качеством семян, должны быть объективными и воспроизводимыми; должны обеспечивать возможность работать с большим количеством образцов; быть непродолжительными во времени. На деле ни один из известных на сегодняшний момент методов, имея достаточное количество достоинств, не отвечает всем этим требованиям, что стимулирует ученых к поиску новых параметров и разработке новых методов оценки физиологического качества.

Из наиболее широко распространенных биохимических тестов оценки качества семян можно упомянуть следующие.

6.1. Тетразольный метод

Тетразольный метод основан на измерении дегидрогеназной активности, уровень которой, как было установлено, коррелирует с жизнеспособностью семени (Tetrazolium Testing Handbook, 2000; ГОСТ 12039-82). Водный раствор хлористого тетразола (2-3-5-трифенил-тетразол-хлорид) под влиянием работы дегидрогеназы образует водонерастворимое соединение красного или малинового цвета – фармазан. В результате семена, замоченные в тетразольном растворе, окрашиваются в красный цвет, интенсивность которого зависит от активности дегидрогеназ. У мертвых или покоящихся семян окраски не появляется.

Недостатком данного метода является то, что он визуальный, трудоемкий, требует специальной подготовки каждого семени и результаты его во многом зависят от уровня квалификации экспериментатора. Подробное описание тетразольного метода авторы не сочли целесообразным приводить по 2-м

причинам: каждый вид семян требует специальной подготовки и потому инструкция сама по себе представляет собой отдельную книгу; этот метод достаточно хорошо известен в странах СНГ. Общий принцип метода сводится к предварительному замачиванию семян на время, определенное для каждого вида, при температуре +18-20⁰С (чем выше температура, тем быстрее идет окрашивание). После замачивания семена разрезают на две половинки и при необходимости снимают семенную оболочку (способ разреза определен для каждого вида). Подготовленные семена промывают водой и заливают 0,5% раствором тетразола на определенное время. Порошок и раствор тетразола следует хранить в темноте, так как на свету идет разложение соли.

Хотелось бы отметить, что в последние годы метод пытаются усовершенствовать с целью оценки не только жизнеспособности семян по принципу «мертвое-живое», но и оценить силу роста семян на основе интенсивности окраски (Handbook of Vigour Test Methods, 1995).

6.2. Кондуктометрический метод

Данный тест представляет собой измерение количества электролитов, вышедших в раствор из растительной ткани. Для семян впервые его использовали Hibbard и Miller в 1928 году. Сейчас он широко применяется в Европе, Австралии и Северной Америке для оценки потенциальной полевой всхожести многих культур, однако, наиболее распространен при работе с семенами бобовых. Данный тест рекомендован Международным обществом по тестированию семян (ISTA) для государственной сертификации качества семян гороха (International rules for seed testing, 2004).

Принцип:

Изменения в организации клеточных мембран происходят в процессе обезвоживания семян при развитии и хранении, а также в процессе гидратации семян при прорастании. Целостность клеточных мембран зависит от биохимических процессов при детериорации и/или физических повреждений. Она является одной из основных причин различий в силе семян и может быть косвенно определена по выходу из семян электролитов (таких как аминокислоты, ионы и др.). По мере того как семена гидратируются при набухании, способность их клеточных мембран к восстановлению полученных при созревании и хранении повреждений будет влиять на степень выхода электролитов. Следовательно, чем выше скорость, с которой

семена могут восстанавливать целостность мембран, тем ниже выход электролитов и соответственно выше сила семян.

Выход электролитов из семян с низкой силой кроме того имеет вторичные эффекты, поскольку выделения стимулируют развитие болезнетворных микроорганизмов на их поверхности.

Процедура:

1. До начала эксперимента определяют влагосодержание семян. Его значение должно находиться в диапазоне, соответствующем сухим зрелым семенам (например, 10-14% для сои). Если семена слишком сухие или влажные, их соответственно увлажняют и подсушивают до нужной величины влагосодержания.
2. 250 мл дистиллированной или деионизированной воды наливают в сосуды емкостью 500 мл. Посуда должна быть чистой! Все сосуды с водой сверху прикрывают алюминиевой фольгой для предотвращения испарения и уравнивают при 20⁰С в течение примерно 24ч, прежде чем туда будут помещены семена. Для мониторинга качества воды, эксперимент должен включать контрольный сосуд только с водой.
3. Подготавливают четыре образца по 50 семян, отобранных случайным образом, и взвешивают их на весах с точностью не ниже 0.01 г. Затем помещают семена в сосуды с водой. Слегка встряхивают сосуд, чтобы все семена были полностью погружены в воду.
4. Сосуды с водой и семенами прикрывают для предотвращения испарения и загрязнения и помещают в термостат при 20⁰С ($\pm 1^0$ С) на 24 часа. Количество сосудов в одном эксперименте не должно превышать количество измерений, которые можно провести кондуктометром за 15 мин (обычно 10-12 сосудов).
5. Включают кондуктометр за 15 мин до начала эксперимента. Наполняют 2 сосуда (400-600 мл) дистиллированной водой для промывания электрода между экспериментами.
6. Через определенное время набухания (24ч для семян сои) электропроводность водного раствора измеряют (при комнатной температуре), поместив в сосуд электрод кондуктометра (Рис.9). Сосуд с семенами предварительно встряхивают 10-15 секунд. Следует обращать внимание, чтобы электрод не соприкасался со стенками сосуда и семенами (семена можно предварительно

удалить, сливая раствор через пластмассовое сито). Снимают несколько показаний до получения стабильного значения. После каждого измерения электрод промывают дистиллированной водой.



Рис.9. Определение электропроводности растворов кондуктометрическим методом

7. Измеряют электропроводность дистиллированной воды и отнимают полученное значение от экспериментальных значений. Электропроводность на грамм семени для каждого образца рассчитывают следующим образом: (электропроводность (μS) для каждого сосуда) / (вес (г) образца в сосуде) = $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{г}^{-1}$

Интерпретация результатов:

Тест на электропроводность используют для ранжирования семян по силе. Matthews and Powell (1981) провели исследования зависимости между данными по электропроводности и полевой всхожестью для культуры гороха и экспериментально обосновали следующий ряд:

- < 25 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{г}^{-1}$ – семена пригодны для раннего сева или сева при неблагоприятных условиях;
- 25-29 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{г}^{-1}$ - семена пригодны для раннего сева, но существует риск плохой всхожести при неблагоприятных условиях;
- 30-43 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{г}^{-1}$ - семена непригодны для раннего сева, особенно при неблагоприятных условиях;
- > 43 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{г}^{-1}$ - семена непригодны для сева.

Исследования, проведенные на других культурах, подтвердили правомерность такого подхода, однако, подробного ранжирования для этих культур сделано не было.

Семена с поврежденной оболочкой могут исказить получаемые данные, поскольку они быстро набухают, что приводит к повреждению мембран и увеличению выхода электролитов, не связанного с физиологическим качеством семян. Поэтому образцы следует отбирать, по возможности исключая поврежденные семена. Размер семян также влияет на скорость набухания, однако эта погрешность исключается за счет взвешивания семян до начала эксперимента и пересчета данных на вес семян (г). Начальное влагосодержание семян также является источником вариабельности получаемых данных, поэтому до начала эксперимента влагосодержание семян должно быть уравновешено (в пределах 10-14% для сои). По возможности должны тестироваться необработанные семена, поскольку обработки (в том числе обеззараживание) могут влиять на значение электропроводности растворов.

ОЦЕНКА ПРОРОСТКОВ

Несмотря на то, что стандартный тест на всхожесть проводится на основе подсчета всех нормально проросших семян, скорость прорастания или роста, а также силу проростков при этом не учитывают. Вместе с тем в литературе зафиксированы различные аспекты взаимосвязи детериорации семян с развитием проростков.

Принцип:

Семена с очевидными симптомами детериорации, например, аномальные проростки, исключаются при учете процента всхожести семян. В ряду же проростков, признанных нормально проросшими, некоторые признаки детериорации не принимаются в расчет. Данный тест учитывает эти различия путем измерения роста проростков и/или классификации их на сильные и слабые.

В качестве индикаторов здесь используются линейные размеры и сухой вес проростков.

1. Измерение линейных параметров

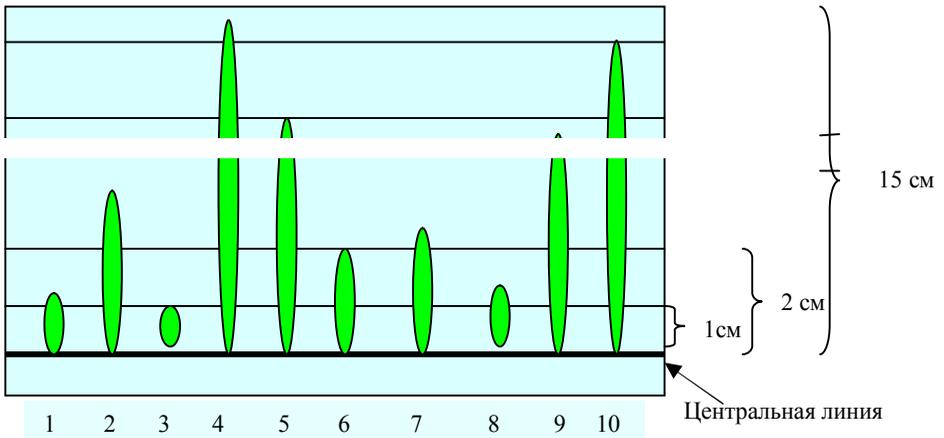
Культуры: пшеница, ячмень, кукуруза, овес, овсяница.

Процедура:

1. Метод основан на рулонном способе проращивания семян с небольшими модификациями. Каждый рулон должен содержать три слоя бумаги: два под раскладываемыми семенами и один сверху.
2. Бумагу увлажняют соответственно требованиям для проращивания семян. Для удобства можно до увлажнения провести линию, по которой затем будут разложены семена (15 см от верхнего края бумаги). От центральной линии по направлению к верхнему краю бумаги можно провести дополнительные параллельные линии с интервалом в 1 см, чтобы ускорить в дальнейшем оценку длины проростков.
3. На два слоя бумаги раскладывают по 25 семян так, чтобы сторона с зародышем была наружу от бумаги, а сам зародыш был ориентирован вниз. Затем семена покрывают третьим слоем бумаги, рулон плотно сворачивают в трубку примерно 4 см диаметром и фиксируют липкой лентой.
4. Готовые рулоны помещают в контейнер в вертикальном положении (контейнер должен иметь разделительные перегородки, чтобы рулоны не соприкасались). В контейнеры на дно наливают охлажденную воду и накрывают сверху полиэтиленовыми пакетами для предотвращения потери влаги.
5. Контейнеры ставят в термостат с температурным режимом, соответствующим условиям стандартного теста на всхожесть.
6. Через определенный период времени (согласно условиям стандартного теста на всхожесть) рулон разворачивают и подсчитывают количество нормально проросших, аномально проросших и непроросших семян.
7. Измеряют длину проростков. Для удобства можно пользоваться дополнительными параллельными линиями, проведенными на бумаге:
 - подсчитывают количество проростков, которые лежат между центральной линией и очередной из проведенных параллельных линий (с интервалом в 1 см);
 - умножают количество проростков на расстояние в см от центральной до данной параллельной линии и суммируют полученные значения;
 - результат делят на количество семян, разложенных на проращивание.

$L = (n \cdot 1 \text{ см} + n \cdot 2 \text{ см} + \dots + n \cdot 15 \text{ см}) / N$, где L – средняя длина проростков в см; n – количество проростков между центральной линией и очередной параллельной

линией; 1,2...15см – расстояние от центральной линии до очередной параллельной;
 N – общее количество семян, разложенных на проращивание.



Интерпретация результатов:

Длина проростка через определенный интервал времени является суммирующей от времени, необходимого для прораствания семени и последующей скорости роста проростка. Партия семян, при прораствании которой формируются более длинные проростки, рассматривается как партия семян с большей силой.

Условия тестирования (влажность, температура) оказывают значительное влияние на результаты, поэтому сравнение данных, полученных в разное время, нежелательно. Для осуществления такой возможности Реггу в 1987 г. предложил пользоваться корректирующим коэффициентом. Для расчета коэффициента средняя длина проростка (d), полученная в конкретном эксперименте, умножается на 10 и затем делится на значение для контрольного образца (C): $L = (d * 10) / C$. В этом случае правомерно сравнивать значения, получаемые в разных экспериментах.

Семена до начала эксперимента не рекомендуется подвергать обеззараживающим процедурам.

2. Определение сухой массы

Культуры: соя, кукуруза.

Процедура:

1. Готовят рулоны с семенами (процедура описана выше) и ставят на проращивание.
2. Через определенный период времени (согласно условиям стандартного теста на всхожесть) разворачивают рулон и подсчитывают количество нормально проросших, аномально проросших и непроросших семян.
3. Удаляют аномально развитые проростки и непроросшие семена.
4. У нормально развитых проростков удаляют остатки семян и/или семядолей
5. Высушивают проростки при 80⁰С в течение 24ч.
6. Взвешивают высушенные проростки и делят массу всех нормально развитых проростков на их количество.

Интерпретация результатов:

Сухая масса проростка через определенный интервал времени является суммирующей от времени, необходимого для прорастания семени и эффективности использования запасов эндосперма на формирование первичных морфоструктур. Партия семян с более высоким процентом прорастания и более высокими значениями сухой массы проростков рассматривается как партия семян с большей силой.

3. Исследование морфологических особенностей

Культуры: горох, кормовые бобы, соя

Простое измерение линейных размеров или сухой массы не всегда подходит для оценки роста некоторых культур из-за их морфологических особенностей или из-за того, что «слабые» семена могут продуцировать «слабые» проростки такие же по длине, как и «сильные». Альтернативный метод измерения силы семян заключается в модификации стандартного теста на всхожесть. При классификации нормально проросших проростков на сильные и слабые в данном тесте используют характеристики четырех морфоструктур: корневая система, гипокотиль, семядоли и эпикотиль.

3.1. Проращивание семян в рулонах

Процедура:

1. Для каждого варианта используют 8 повторностей по 25 семян. Каждый рулон должен содержать три слоя бумаги: два под раскладываемыми семенами и один сверху
2. Увлажняют бумагу и раскладывают 25 семян в два ряда: первый – примерно 12 см от верхнего края бумаги, второй – на 3 см ниже первого. Расположение семян во втором ряду должно быть таким, чтобы каждый формирующийся проросток оказывался между семенами верхнего ряда. Накрывают семена третьим слоем бумаги, плотно сворачивают рулон в трубку примерно 4 см в диаметре.
3. Готовые рулоны помещают в контейнер в вертикальном положении (контейнер должен иметь разделительные перегородки, чтобы рулоны не соприкасались). В контейнеры на дно наливают охлажденную воду и накрывают сверху полиэтиленовыми пакетами для предотвращения потери влаги.
4. Контейнеры ставят в термостат при $20^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ на 10 дней.
5. Через 10 дней проращивания классифицируют проростки на нормально проросшие и аномально проросшие, согласно правилам стандартного теста на всхожесть. Затем классифицируют нормальные проростки на 2 группы:

Группа 1: сильные проростки без повреждений; сильные проростки, но развитие немного задержано или имеются очень незначительные повреждения.

Группа 2: в общем нормальные проростки с четко задержанным развитием; слабые, длинные или укороченные проростки, у которых имеется несколько боковых корней, слегка поврежденные инфекцией проростки или инфицированные семядоли, но согласно правилам стандартного теста на всхожесть, не считающиеся аномально проросшими.

Корневая система: первичный корень без повреждений, но не имеет хорошо развитых латеральных или вторичных корней; первичный корень задержан в развитии или отсутствует, но вторичные корни хорошо развиты; развитие в целом задержано.

Побеги: длина эпикотилия на 1/3 короче, чем должна быть на данной стадии развития; первые настоящие листья еще не развернуты или на них имеются повреждения достаточные, чтобы повлиять на развитие, но не такие сильные, чтобы считать проростки аномально проросшими.

Интерпретация результатов:

Слабые, но нормально проросшие семена с меньшей степенью вероятности всходят в стрессовых условиях, чем сильные нормально проросшие.

Результаты теста хорошо воспроизводятся и достаточно корректны. Однако субъективность в делении семян на сильные и слабые может повлиять на результаты. Инфицирование семян микроорганизмами влияет на прорастание семян и поэтому при необходимости семена перед экспериментом можно дезинфицировать.

3.2. Проращивание семян в песке

Процедура:

1. На дно ящика (растительни) укладывают один слой насыщенной водой фильтровальной бумаги. Насыпают сверху 3 см слой равномерно увлажненного песка.
2. Раскладывают 50 семян, слегка вдавливают их в песок и присыпают 2-см слоем увлажненного песка. Используют 4 повторности по 50 семян.
3. Запакуют ящики в полиэтиленовый пакет и ставят для проращивания при 20⁰С со световым режимом (12ч свет / 12ч темнота). Через 5 дней (горох) или 6 дней (кормовые бобы) полиэтиленовый пакет снимают и увлажняют песок, если он подсох.
4. Проростки оценивают через 10 дней (горох) или 12 дней (кормовые бобы) и классифицируют по схеме, описанной выше для рулонного метода. Перед оценкой проростки достают из песка и тщательно промывают.

Примечание: для лучшего контроля влажности субстрата каждый ящик, перед тем как поставить его в термостат, взвешивают, а затем повторяют контрольные взвешивания через 7, 9 и 11 дней и добавляют, если требуется, нужное количество воды по весу.

Интерпретация результатов: Та же, что и для рулонного метода.

Краткий англо-русский терминологический словарь

Aging - старение. Снижение физиологического качества семян, происходящее при неблагоприятных условиях хранения. Является результатом процесса накопления дегенеративных изменений в семенах до тех пор, пока способность к прорастанию не теряется полностью. Скорость старения определяется температурой и относительной влажностью воздуха при хранении.

Deterioration – детериорация, ухудшение. Процесс накопления дегенеративных изменений в семенах, происходящий при неблагоприятных условиях хранения и приводящий к старению.

Quality – качество семян. Общий термин, описывающий ценность партии семян для использования в конкретных целях. Включает две основные компоненты: чистота (зараженность болезнями, наличие сорняков, сортовая чистота) и физиологическое качество (см. ниже)

Physiological quality – физиологическое качество. Включает две компоненты: жизнеспособность и сила роста семян (см. ниже).

Vigor, vigour – сила роста. Сумма свойств семян, которые определяют их способность к дружному прорастанию и развитию в нормально развитые проростки в широком диапазоне факторов среды в полевых условиях (ISTA).

Viability – жизнеспособность – живой или способный жить. У семян указывает на то, что они содержат все структуры и метаболиты, включая ферментные системы, которые ответственны за способность семян прорасти при благоприятных условиях и в отсутствие покоя.

Viable – жизнеспособный.

Seed – семя. Зрелая семяпочка, содержащая зародыш - зачаток будущего растения и запасные питательные вещества, окруженные защитной оболочкой.

Embryo, germ – зародыш.

Cotyledons – семядоли. Первый листовой орган растения, возникающий на апикальном полюсе зародыша.

Radicle – корешок. Зародышевый корешок семени или проростка, из которого формируется первичный корень молодого растения.

Seed coat, testa - семенная оболочка. Защитная оболочка семени, состоящая из внутренних и наружных покровов.

Seedling – проросток. Молодое растение, развивающееся из зародыша семени

Orthodox seeds – ортодоксальные семена. Семена, которые могут быть высушены до 4-6% влагосодержания и храниться в сухом состоянии без повреждения.

Recalcitrant seeds – рекальцитрантные семена. Семена, которые повреждаются при высушивании и/или замораживании.

Immature – незрелый. Состояние, при котором у семян отсутствует нормальная дифференциация и/или развитие.

Physiological maturity – физиологическая зрелость. Состояние, в котором семя достигает максимального сухого веса. Обычно достигается к началу уборки урожая. Физиологическая зрелость влияет на физиологическое качество семян: чем более зрелые семена, тем лучше качество.

Germination – прорастание. Возобновление активного роста зародыша, приводящее к развитию молодого растения из семени.

Germinable, germinability – способность зародыша семени к прорастанию.

Imbibition – набухание. Начальный этап прорастания семян, включающий поглощение воды из внешней среды и гидратацию тканей.

Seed lot, seed sample - партия семян. Семена имеют общий признак, например, собраны с одного поля или в один день.

Seed stock – партия семян, предназначенная для посева.

Storage – хранение.

Storability, longevity, lifespan, shelflife. Характеристика способности партии семян оставаться жизнеспособными при хранении.

Enhancement – улучшение. Любые методы, приводящие к улучшению всхожести семян и роста проростков или совершенствующие высев семян.

Treatment – обработка. Любая технология, при которой семена подвергаются целенаправленным воздействиям.

Treated seeds, primed seeds - обработанные семена.

Priming – прайминг, обработка. Обработка семян, включающая их контролируемое набухание до уровня влагосодержания, недопускающего видимого проклеивания зародышевого корешка сквозь семенную оболочку.

Разновидности прайминга:

Osmopriming – осмопрайминг. Для контролируемого набухания семян используются растворы осмотически активных веществ (например, полиэтиленгликоль) в концентрации, допускающей набухание семян, но не допускающей их видимого проклеивания.

Hydropriming – гидропрайминг. Для контролируемого набухания семян используется ограниченное количество воды.

Matrimpriming – матрипрайминг. Для контролируемого набухания семян используются твердые носители, способные адсорбировать и удерживать влагу, такие как мох, вермикулит и т.п.

Источники информации

Отечественные ГОСТы

- ✚ ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести
- ✚ ГОСТ 12039-82 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения жизнеспособности
- ✚ ГОСТ 12044-93 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения зараженности болезнями
- ✚ ГОСТ 12045-97 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения заселенности вредителями
- ✚ ГОСТ 12040-66 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения силы роста
- ✚ ГОСТ 30168-95 Семена сахарной свеклы. Методы определения силы роста

Международные правила

- ✚ Association of Official Seed Analysts. Seed Vigor Testing Handbook / Contribution No 32 to the Handbook of Seed Testing. - USA, 1983. - 88 p.
- ✚ Handbook of Seed Vigour Test Methods / Ed. J.G. Hampton, D.M. TeKrony. ISTA Vigour Test Committee, Zurich, Switzerland. 3rd Edition, 1995. - 120 p.
- ✚ International Seed Testing Association. International rules for seed testing. // Seed Science and Technology. - 1999. - V.27, Supplement.
- ✚ International Seed Testing Association. International rules for seed testing. Edition 2004. The International Seed Testing Association (ISTA). – Switzerland, 2004.
- ✚ Seedling Evaluation Handbook / Contribution No 35 to the Handbook of Seed Testing. - USA, 1992.
- ✚ Tetrazolium Testing Handbook / Contribution No 29 to the Handbook of Seed Testing. - USA, 2000.

Обзорные публикации

- ✚ Велингтон П. Методика оценки проростков семян / Пер. с англ. Н.Н. Каменской. Под ред. проф. Н.Г.Хорошайлова. - М.: Колос, 1973.- 175 с.
- ✚ Международные правила анализа семян / Пер. с англ. Н.Н. Антошкиной; - М.: Колос, 1984. - 310 с.
- ✚ Фирсова М.К. Семенной контроль. Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1969. – 295 с.
- ✚

- ✚ Basra A.S. Seed Quality: Basic Mechanisms and Agricultural Implications. New York: Food Products Press - 1995.
- ✚ Ellis R.H. , Roberts E.H. Towards a Rational Basis for Testing Seed Quality / Seed Production. Ed. P.D. Hebblethwaite, Butterworths. - London, 1980. - P.605-645.
- ✚ Hampton J.G. What is Seed Quality? // Seed Science and Technology. - 2002. - V.30.- P.1-10.
- ✚ McDonald M.B. Seed Deterioration: Physiology, Repair and Assessment // Seed Science and Technology. - 1999. - N.27.- P.177-237.
- ✚ McDonald M.B. Seed Quality Assessment // Seed Science Research. - 1998. - N.8. - P.265-275.
- ✚ Perry D.A. Report of the Vigor Test Committee // Seed Science and Technology. - 1978.- V.6. - P.159-181.
- ✚ Priestly D.A. Seed Ageing. Implications for Seed Storage and Persistence in the Soil. USA: Comstock, Ithaca. - 1986.
- ✚ Taylor A.G. Seed Quality / In.:Tomas B., Murphy D.J., Murray B.G. (ed.) Encyclopedia of Applied Plant Sciences. - Elsevier Academic Press, 2003.- P1284-1291.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОТ АВТОРОВ.....	3
БИОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЕМЯН, ИХ ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И МОРФОСТРУКТУРА ПРОРОСТКОВ.....	5
ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И РАЗВИТИЕ ПРОРОСТКОВ	9
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО СЕМЯН КАК КОМПЛЕКСНЫЙ ПАРАМЕТР, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИЙ ИХ СПОСОБНОСТЬ К ПРОРАСТАНИЮ В НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ УСЛОВИЯХ.....	14
СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА СЕМЯН.....	19
ОЦЕНКА ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН.....	19
1. Тесты на устойчивость к высокой температуре и влажности воздуха	20
2. Тест на устойчивость к холоду и почвенным патогенам	27
3. Тест на устойчивость к низким положительным температурам	29
4. Комплексный тест на устойчивость к температурному и кислородному стрессам	30
5. Тест на устойчивость к болезням (тест Хилтнера)	32
6. Биохимические тесты	34
ОЦЕНКА ПРОРОСТКОВ.....	38
1. Измерение линейных параметров	38
2. Определение сухой массы	41
3. Исследование морфологических особенностей	41
КРАТКИЙ АНГЛО-РУССКИЙ ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ.....	44
ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ.....	46

Научное издание

АЛЕКСЕЙЧУК Галина Николаевна
ЛАМАН Николай Афанасьевич

Техн. редактор *Гавриленко В.Г.*

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО СЕМЯН СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И МЕТОДЫ ЕГО ОЦЕНКИ

Подписано в печать 20.06.2005. Формат 69x84_{1/16} Бумага офсетная. Гарнитура Roman.

Печать цифровая. Усл.печ.л. 3,6. Уч.изд.л. 3,9. Тираж 100 экз. Заказ № 50

ИООО «Право и экономика» Лицензия ЛИ № 02330/0056831 от 01.04.2004.

220072 Минск Сурганова 1, корп. 2. Тел. 284 18 66, 8 029 684 18 66.

Отпечатано на настольно-издательской системе XEROX в ИООО «Право и экономика».