

МЕХАНИЗМЫ АЛЮМОТОЛЕРАНТНОСТИ У КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

(обзор)

Н.В. АМОСОВА, О.Н. НИКОЛАЕВА, Б.И. СЫНЗЫНЫС

Обзор посвящен исследованию токсичности ионов алюминия для культурных растений. Рассматриваются возможные механизмы детоксикации ионов алюминия у растений посредством использования органических кислот и железа.

Проблеме токсичности алюминия посвящено много работ как в отечественной, так и в зарубежной литературе (1-8). В последние 10 лет во многих лабораториях и транснациональных корпорациях (например CSIRO в Австралии) большое внимание уделяют изучению механизмов токсичности и устойчивости растений к действию ионов алюминия. Следует заметить, что значительные успехи в решении этой проблемы были достигнуты советскими учеными в 60-80-х годах прошлого века. Выявленные закономерности при действии ионов алюминия на растения гороха и кукурузы позже нашли подтверждение в работах различных исследователей на растениях пшеницы, сои и гречихи (5-8). Как и предполагал Климашевский, устойчивость к действию ионов алюминия находится под генетическим контролем и, вероятно, управляется группой генов, из которых идентифицирован пока один — *Alt* (aluminum tolerant) (9-14).

В задачу нашей работы входило рассмотрение наиболее изученных механизмов толерантности растений разных видов к действию ионов алюминия в процессе связывания последних органическими кислотами в надземных органах и тканях, а также белками, синтез которых инициируется поступлением ионов Al^{3+} .

Физиологические характеристики токсичности ионов алюминия для растений. По содержанию в земной коре алюминий занимает третье место среди других элементов, а в биосфере — десятое. Содержание подвижных форм алюминия в почвах дерново-подзолистого типа составляет около 30 мг/100 г почвы (1, 2). Свободные ионы алюминия в токсических концентрациях наносят большой вред культивируемым растениям. В работах ряда авторов также представлены данные о положительном влиянии ионов алюминия в определенных ничтожных количествах на рост растений отдельных видов (8-13). Однако подавляющее число работ свидетельствует в пользу фитотоксического действия ионов алюминия (15-17). Так, алюминий считается основным токсическим элементом при возделывании растений на кислых почвах, которые составляют примерно 40 % общей площади пахотных земель (12). Существуют разнообразные формы соединений алюминия, но наиболее токсичными являются ионы Al^{3+} , а также гидроокись этого элемента (13, 14).

Реакция растений на повреждающее действие ионов алюминия зависит от принадлежности к виду, сорту, а также от стадии развития. Молодые растения наиболее чувствительны к действию ионов и соединений алюминия. Особый интерес представляет генетическое и физиолого-биохимическое разнообразие внутри вида по степени устойчивости к токсичности ионов различных элементов (11, 13). Большое теоретическое и практическое значение всесторонних исследований в этой области бесспорно (18). Еще более 10 лет назад исследователи предполагали, что наличие фосфатов, активность корней по уменьшению кислотности среды, а также хелатирование алюминия органическими кислотами и полифенолами, выделяющимися из протопластов клеток корней, могут обеспечить эффективное обезвреживание действия этого эле-

мента и его соединений как в свободном пространстве корней, так и ризосфере. В работах последних лет это предположение подтвердилось (15-19).

Токсичность водорастворимых соединений алюминия определяется наличием свободных ионов алюминия, их способностью взаимодействовать с вне- и внутриклеточными веществами и проявляется уже при микромолярных концентрациях. Концентрация алюминия в кислых почвах колеблется обычно от 10 до 100 мкМ (от 270 мг/л до 2700 мг/л почвенного раствора) и редко превышает 140 мкМ (12). Продукты взаимодействия ионов Al^{3+} с растениями приводят к структурным и функциональным повреждениям тканей. В частности, фитотоксичность алюминия обуславливает прекращение роста корней и снижение содержания в органах растений питательных веществ и воды (3). Формирование наиболее распространенных гидрокомплексов алюминия, их превращение в водорастворимые соли и содержание последних в почвенных растворах определяется рН среды. В связи с этим предметом нашего обсуждения будут данные исследований, полученные при низких значениях этого показателя — $pH < 5,0$.

Известны виды различных культур, устойчивые к действию ионов Al^{3+} (10, 13, 15, 16). Показано, что механизм устойчивости определяется способом детоксикации ионов Al^{3+} : подавление проникновения свободных ионов через симплазму или апоплазму (соответственно внутренняя и внешняя детоксикация) (19, 20). Внешняя детоксикация связана с задержкой ионов Al^{3+} в стенке клеток корней, а внутренняя — с наличием в растениях органических кислот, белков или других органических лигандов, организованных в вакуоли и способных образовывать комплексные соединения с ионами Al^{3+} , а также синтезом высокоактивных алюмоустойчивых ферментов. Эти механизмы изучены недостаточно подробно, однако накопившиеся к настоящему времени факты свидетельствуют об исключительно важной роли органических кислот при реализации обоих способов детоксикации.

Влияние органических кислот на токсическое действие ионов алюминия. Под действием ионов Al^{3+} и H^+ нарушаются не только основные процессы поглощения веществ и активность метаболизма растений, но и направленность ауксинингибиторного обмена в тканях корней и хлорофиллоносных органов (21). Известно, что органические кислоты играют важную роль в минеральном питании растений, способствуя усилению защитных свойств растений к неблагоприятным факторам среды. Реализация же того или иного способа обезвреживания ионов обусловлена генетическим потенциалом растений, связанным со спецификой функционирования корней.

Показано, что содержание органических кислот в корнях высокоустойчивых форм растений значительно выше, чем в таковых низкоустойчивых. При наличии ионов алюминия в почвенном растворе резко снижается содержание яблочной и лимонной кислот в корнях чувствительных форм и незначительно — у толерантных образцов. Особенно сильно снижается содержание лимонной кислоты, влияющей на образование хелатов. Так, у толерантных форм гороха, кукурузы и ячменя под влиянием ионов алюминия содержание лимонной кислоты повышалось соответственно в 4,3; 3,2 и 2,5 раза по сравнению с чувствительными образцами (19). Содержание абсцизовой кислоты (АБК) в листьях чувствительных сортов кукурузы, ячменя и гороха было ниже соответственно в 2,6; 3,1 и 3,9 раза, а в корнях — выше соответственно на 340, 351 и 473 % по сравнению с устойчивыми сортами. Повышение содержания эндогенной АБК может быть следствием высвобождения ионов алюминия из связанной формы, и, кроме того, зависеть от возрастания скорости биосинтеза этой кислоты в хлоропластах (21).

Функции фитогормонов и ингибиторов роста в растениях тесно связаны с процессами роста (8). Одним из механизмов действия АБК на рост считается мембранный механизм, через который подавляется рост. Тормозящие

эффекты АБК, наряду с отрицательным действием на транспорт ионов, связаны со снижением интенсивности синтеза белка и нуклеиновых кислот, что объясняется ингибированием в первую очередь поступления фосфора в растения. У разных по чувствительности к алюминию форм поступление фосфора в растения и синтез нуклеиновых кислот подавляются в различной степени; неодинакова и направленность обмена фосфора (11, 14).

Следовательно, при действии ионов алюминия активность АБК у растений существенно различается. Причиной этому служит изменение содержания других гормональных веществ, регулирующих генотипическую специфику чувствительности растений к токсичности алюминия (22). Различная способность органических кислот к нейтрализации действия ионов алюминия обусловлена их структурной конфигурацией (положение ОН- и СООН-групп на главной углеродной цепи). Наиболее эффективно образуют комплексы с ионами алюминия кислоты, имеющие две пары ОН/СООН-групп, связанных с двумя смежными атомами углерода (лимонная кислота) или две непосредственно связанные СООН-группы (щавелевая кислота), формирующие устойчивые 5- или 6-кольцевые структуры с ионами алюминия. По изменению содержания в растениях органических кислот можно судить о степени устойчивости различных форм культурных растений к ионам алюминия.

Нейтрализация ионов Al^{3+} органическими кислотами. Во многих работах показано, что органические кислоты уменьшают токсичность ионов алюминия *in vitro* (14, 19). В 1986 году Kitagawa с соавт. впервые обнаружили, что корни устойчивого к действию ионов алюминия сорта пшеницы Атлас 66 выделяют яблочную кислоту (23). В корнях чувствительного сорта Brevor содержалось значительно меньшее количество яблочной кислоты. Убедительные данные относительно взаимосвязи между устойчивостью к ионам Al^{3+} и образованием в корнях растений пшеницы органических кислот были представлены Delhaize с соавт. (24). В дальнейших исследованиях было установлено, что формирование устойчивого комплекса, который является нетоксичным для растений, зависит как от вида растений, так и от концентрации и разновидности органических кислот, выделяемых корнями. Например, концентрация яблочной кислоты, выделяемой корнями устойчивого к действию алюминия сорта пшеницы ET3, в 5 раз больше, чем у чувствительного сорта ES3. При концентрации ионов Al^{3+} в почвенном растворе 100 мкМ экскреция яблочной кислоты в корнях устойчивых образцов пшеницы увеличивалась на 100-120 %, в то время как у чувствительных форм этот показатель уменьшался. В ответ на воздействие ионов алюминия в корнях бобов и кукурузы выделялась лимонная кислота (13, 14), устойчивых сортов гречихи — щавелевая кислота (19, 25).

Руан с соавт. исследовали 36 устойчивых сортов пшеницы, выращенных в одинаковых условиях. Авторами было отмечено, что количество выделяемой корнями яблочной кислоты коррелирует с устойчивостью образцов к действию ионов алюминия. Zheng с соавт. пришли к такому же выводу, проанализировав восемь растений, принадлежащих к разным видам. При этом было установлено, что наиболее высокое количество яблочной кислоты содержится на расстоянии 3-5 мм от вершины корня растений пшеницы, а лимонной и щавелевой кислот — в кончике корня (3, 26).

Специфика выделения органических кислот. У растений некоторых видов органические кислоты выделяются в ответ на дефицит фосфора, например, у белого люпина, люцерны и фасоли (10-14). Однако у растений других видов (пшеница, гречиха) дефицит фосфора не сопровождается выделением органических кислот (25). Кроме того, было отмечено, что выделение органических кислот, обусловленное недостатком фосфора, является долговременным процессом, а после воздействия ионов алюминия продолжительность последнего сокращается до нескольких часов (12).

Виды выделения органических кислот и возможные механизмы детоксикации ионов алюминия. В зависимости от вида растения вынужденное выделение органических кислот в ответ на токсическое действие ионов Al^{3+} может классифицироваться на два типа. В первом случае органические кислоты выделяются сразу в ответ на токсическое действие алюминия. Так, яблочная кислота у толерантных форм пшеницы выделялась через 20 мин, а щавелевая кислота у гречихи через 30 мин после воздействия стресса (18, 24). Во втором случае наблюдается значительная задержка выделения органических кислот после воздействия ионов алюминия. Delhaize с соавт. предложили три возможных механизма, лежащих в основе быстрого выделения органических кислот: ионы алюминия непосредственно взаимодействуют с мембранными белками; ионы алюминия взаимодействуют с определенными рецепторами, расположенными на поверхности мембраны или в непосредственной близости от нее (в любом случае происходит активация канала, через который выходят органические кислоты); ионы алюминия проникают в цитоплазму и изменяют метаболизм клетки. Второй тип выделения органических кислот связан с генетически детерминированными механизмами, обуславливающими метаболизм органических кислот (11).

Эндогенная нейтрализация действия алюминия органическими кислотами. Если ингибирование роста корней растений вызвано микромолярными концентрациями, то в этом случае ионы алюминия скапливаются в эпидермисе корней и дальнейшее их проникновение невозможно. Однако существуют виды растений, у которых алюминий накапливается в большом количестве. В этом случае поражаются верхины корней, что приводит к гибели растений. В старых листьях чая содержание ионов алюминия составляет 30 мг/кг сухой массы и более (14). В течение нескольких месяцев алюминий может накапливаться в количестве более 3000 мкг/кг сухой массы в листьях и чашелистиках водных растений. После обработки листьев гречихи раствором алюминия в концентрации 50 мкМ содержание ионов Al^{3+} составляло 450 мкг/кг сухой массы, а у овса, редиса и рапса — не превышало 50 мкг/кг. Эти факты свидетельствуют о том, что ионы алюминия, проникая через плазматическую мембрану, накапливаются в цитоплазме клеток; при этом pH составляет 7,0. При увеличении pH концентрация свободного алюминия уменьшалась до 0,1 нМ, но даже такие низкие концентрации потенциально фитотоксичны (9-14). Долгое время механизм внутренней детоксикации не был определен. Ма с соавт. установили, что 80 % общего количества алюминия существует в растворимой форме в листьях гортензии, а в клеточном соке растений концентрация алюминия составляет 13,4 мМ (25). При анализе спектра ядерно-магнитного резонанса алюминия и его соединений в листьях гортензии был идентифицирован комплекс Al —цитрат (1:1). Константа устойчивости этого комплекса составляла 8,1, однако при pH 7,0 и 7,4 константа увеличивалась соответственно до 11,7 и 12,4. Такой комплексобразователь мог бы эффективно уменьшать активность алюминия в цитозоле при pH более 7,0 и предотвращать формирование комплексов между алюминием и клеточными компонентами типа АТФ, ДНК, и следовательно, уменьшать фитотоксические эффекты алюминия. Например, лимонная кислота защищает регулирующий белок от нарушения «альфа-спирали» (7, 27, 28).

В корнях и листьях гречихи алюминий присутствует в форме комплекса Al —оксалат (1:3) (25). Щавелевая кислота может образовывать три различных комплекса с алюминием в соотношении 1:1, 1:2 и 1:3. Наиболее устойчивым является комплекс 1:3 — константа стойкости равна 12,4, что гораздо выше, чем комплекса Al —АТФ. Поэтому комплекс Al —оксалат может предотвращать прикрепление алюминия к клеточным структурам, нейтрализуя действие алюминия (14).

Следовательно, одним из механизмов поддержания стабильного развития растений служит содержание органических кислот, которые выступая в качестве хелатообразующих агентов играют важную роль в интоксикации поступивших ионов Al^{3+} . Способность растений накапливать органические кислоты существенно меняется в зависимости от их устойчивости к ингибирующему действию кислотности. Содержание органических кислот у толерантных форм выше, чем у чувствительных. Механизм выделения органических кислот можно рассматривать как особо важный процесс метаболизма растений, защищающий последние от токсического действия алюминия, хотя многие вопросы все еще нуждаются в более детальном изучении.

Влияние ионов железа на токсическое действие алюминия. Еще один механизм уменьшения фототоксического действия алюминия выявлен недавно и связан с ионами железа, присутствующими в почвенных растворах, которые инициируют синтез белков, способных инактивировать ионы Al^{3+} (15, 16). При выяснении механизмов действия алюминия на растения, возделываемые в условиях повышенной кислотности почв, было замечено, что в почвенном растворе, с которым непосредственно контактирует корневая система в процессе роста и развития, находятся не только ионы водорода и алюминия, но и ионы железа, способные модифицировать развитие токсических реакций (29). Железо — второй элемент после алюминия по содержанию в почве: соответственно 4,4 и 8,8 %. Для дальнейших исследований было выбрано железо, которое в достаточно больших концентрациях присутствует в кислом почвенном растворе, уступая только алюминию — соответственно до 0,3 и 0,5 мг/л.

Ранее было описано токсическое и генотоксическое действие алюминия на растения пшеницы (30-32). Показано, что эти проявления действия алюминия являются сортоспецифичными (15-16). Из выбранных сортов ячменя представители только около 1/3 из них оказались очень чувствительными к действию ионов алюминия; растения некоторых сортов обладали высокой устойчивостью (влияние алюминия было незначительным), другие занимали промежуточное положение по этому признаку. Выявленное распределение изначально предполагало, что чувствительность к действию ионов алюминия контролируется не только геном *Alt*. Выявить плеiotропность можно было, обрабатывая растения агентами, которые могли стимулировать экспрессию других «экологически» важных генов. Действительно, одновременная обработка проростков ячменя ионами железа и алюминия, позволила не только значительно снизить фитотоксические эффекты алюминия (определяли по интенсивности прироста отрезков coleoptилей у пшеницы), но и его генотоксическое действие, регистрируемое как по показателю частоты aberrантных клеток (снижение), так и по изменению спектра aberrаций (уменьшение числа наиболее губительных для клеток нарушений геномного типа). При этом присутствие в растворе ионов железа не приводило к осаждению соединений алюминия, а уменьшало биологическое действие алюминия на растительные организмы на уровне метаболических реакций, выраженное появлением которых фиксировали у чувствительных сортов ячменя.

Затрагивая молекулярные аспекты антагонистического взаимодействия ионов железа и алюминия, можно предположить, что действие железа приводит к увеличению экспрессии генов, контролируемых повышенный синтез в клетках апикальной меристемы белков, подобных лактоферрину или трансферрину. Эти белки в клетках млекопитающих и растений способны инактивировать действие токсичных ионов алюминия (33, 34). Нами показано, что одновременное добавление ионов железа, алюминия и цитрата натрия почти полностью снимает токсическое действие алюминия на проростки чувствительных к нему сортов ячменя, то есть в формировании устойчивости растений к алюминию превалирующая роль принадлежит гену толерантности *Alt*. В настоящее время в транснациональной корпорации CSIRO австралийскими и

японскими учеными установлено, что продуктом гена *Alt* является белок, осуществляющий функцию «шаперона» (поводыря), который в ответ на действие алюминия в клетках корневой меристемы проростков растений осуществляет перенос органических кислот из корней в прикорневую зону: у растений пшеницы в основном яблочной кислоты, ячменя — яблочной и лимонной кислот, которые в свою очередь связывают и делают неактивными ионы Al^{3+} (3).

Таким образом, накопленные данные свидетельствуют о существовании и активном функционировании у растений так называемых «экологических» генов, основной функцией которых является защита клеток, в частности от действия токсичных металлов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л., 1987.
2. Тянтова Е.Н., Сынзыныс Б.И., Бурухин С.Б. и др. Химия алюминия в окружающей среде. Агрехимия, 2005, 2: 87-93.
3. Алексеева - Попова Н.В. Клеточно-молекулярные механизмы металлоустойчивости растений. В сб.: Устойчивость к тяжелым металлам дикорастущих видов. Л., 1991: 5-15.
4. Ryan P.R., Delhaize E. Characterisation of Al-stimulated efflux of malat from the apices of Al-tolerant wheat roots. *Planta*, 1995, 196: 103-110.
5. Foy C.D., Chaney R.L., White M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 1978, 29: 511-566.
6. Taylor G.L. Current views of the aluminum stress response: the physiological basis of tolerance. *Gurr. Top. Plants Biochem. Physiol.*, 1991: 10-47.
7. Martin R.B. Metal ions in biological systems: aluminium and its role in biology /Eds. H. B. Sigel, A. Sigel. N.Y., 1991, 24: 1-57.
8. Ma J.F., Zheng S.J., Heridate S. e.a. Detoxifying aluminum with buckwheat. *Nature*, 1997, 390: 569-570.
9. Климашевский Э.Л. Генетический аспект минерального питания растений. М., 1991.
10. Климашевский Э.Л. Почвенная кислотность — генотип — задачи селекции. *Вест. с.-х. науки*, 1983, 4: 16-38.
11. Климашевский Э.Л. Проблемы генотипической специфики корневого питания растений. В сб.: Сорт и удобрение. Иркутск, 1974: 11.
12. Климашевский Э.Л. Устойчивость растений к кислотности среды и химическая мелиорация почв. Докл. ВАСХНИЛ, 1982, 4: 2-47.
13. Климашевский Э.Л. Физиологические особенности питания различных сортов кукурузы. М., 1966.
14. Климашевский Э.Л., Дедов В.М. О локализации механизма ингибирующего рост действия алюминия в растягивающихся клеточных стенках. *Физиол. раст.*, 1975, 6: 1183-1190.
15. Амосова Н.В., Сынзыныс Б.И. О комбинированном действии алюминия и железа на проростки ячменя и пшеницы. *С.-х. биол.*, 2005, 1: 46-49.
16. Амосова Н.В., Сынзыныс Б.И., Ульяненко Л.Н. и др. Чувствительность различных сортов ячменя к действию алюминия и железа. В сб.: Наука сельскохозяйственного производства и образования. Смоленск, 2004: 6-8.
17. Буланова Н.В., Сынзыныс Б.И., Козьмин Г.В. Алюминий индуцирует аберрации хромосом в клетках корневой меристемы пшеницы. *Генетика*, 2001, 37, 12: 1725-1728.
18. Faгаго М.Е. Metal tolerance plants. *Coord. Chem. Revs.*, 1981, 36, 2: 34-155.
19. Сынзыныс Б.И., Николаева О.И., Рухляда Н.Н. Роль органических кислот в снижении фитотоксического действия алюминия на некоторые сорта российских пшениц. *Вест. РАСХН*, 2004, 5: 42-47.
20. Ганжа Б.А. К вопросу о действии алюминия на растения. *Почвоведение*, 1941, 1: 22-58.
21. Blair L.M., Taylor G.J. The nature of interaction between aluminum and manganese on growth and metal accumulation in *Triticum aestivum*. *Env. and Exp. Botany*, 1997, 37: 25-37.
22. Баталова Г.А., Лисицин Е.М. Генотипическая корреляция в селекции овса на кислотоустойчивость. Докл. РАСХН, 2002, 4: 6-9.
23. Kitagawa T., Morishita T., Namai H. Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plant. *Soil Sci. Plants Nutr.*, 1986, 7: 352-358.
24. Delhaize E., Ryan P.R., Randall P.J. Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L). *Plant Physiol.*, 1993, 103: 695-702.

25. Ma J.F. Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plant. *Plants Cell Physiol.*, 2002, 41, 4: 383-439.
26. Ryan P.R., Dong B., Watt M. e.a. Strategies to isolate transporter that facilitate organic anion efflux from plant roots. *Plant. Soil.*, 2003, 248: 61-69.
27. Ma J.F., Zheng S.J., Marsumoto H. Internal detoxification mechanism of Al in hydrangea. Identification of Al form in the leaves. *Plant Cell Physiol.*, 1997, 38: 1019-1025.
28. MacLean A.A., Chiasson T.C. Differential performance of two barley varieties associated with plant induced pH. *Canad J. Soil Sci.*, 1966, 46, 2: 147-153.
29. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва—растение. Новосибирск, 1991.
30. Сыныныс Б.И., Буланова Н.В., Козьмин Г.В. О фито- и генотоксическом действии алюминия на проростки пшеницы. *С.-х. биол.*, 2000, 1: 104-109.
31. Сыныныс Б.И., Никольская О.Г., Буланова Н.В. и др. О действии алюминия на проростки пшеницы при разных значениях pH среды культивирования. *С.-х. биол.*, 2004, 3: 80-84.
32. Сыныныс Б.И., Харламова О.В., Козьмин Г.В. Радиометрическое действие алюминия на геном клеток пшеницы. Тез. докл. Междунар. конф. «Проблемы радиационной генетики на рубеже веков». М., 2003: 165-168.
33. Moshaghie A.A., Skilleen A.W. Binding of aluminum to transferrin and lactoferrin. *Biochem Soc. Trans.*, 1986, 14: 916-917.
34. Verkleij J.A.C., Schat H. Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects /Ed. A.J. Shaw. N.Y., 1990.

Институт атомной энергетики,
249020, Калужская обл., Обнинск, Студгородок-1

Поступила в редакцию
29 мая 2006 года

MECHANISMS OF ALUMINUM TOLERANCE IN CULTIVATED PLANTS (review)

N.V. Amosova, O.N. Nikolaeva, B.I. Synzynys

S u m m a r y

This review devoted to investigation of toxicity of aluminum ions for cultivated plants. The authors consider the possible mechanisms of detoxication of aluminum ions in plants by means of usage of organic acids and iron.

Новые книги

Филатов В.И., Сагирова Р.А. **Возделывание галеги восточной (*Galega orientalis* Lam.) на корм и семена в Восточной Сибири.** Рекомендации. М., 2006, 26 с.

В рекомендациях, разработанных и составленных на основе многолетних (1989-2005 годы) научных исследований авторов, представлены сведения о новой бобовой культуре — галеге восточной. Рассматривается народно-хозяйственное значение галеги восточной. Приведена ботанико-морфологическая характеристика, описаны особенности роста и развития, технология возделывания растений на корм и семена в условиях Восточной Сибири. Обсуждается опыт возделывания этой культуры в хозяйствах, расположенных в различных почвенно-климатических зонах: Иркутская обл., Усть-Ордынский и Бурятский автономные округа, республика Бурятия. Дана оценка воз-

можности и целесообразности широкого внедрения галеги восточной, характеризующейся зимостойкостью, высоким потенциалом кормовой и семенной продуктивности (урожайность зеленой массы и сена может достигать соответственно 39, 0 и 10,0 ц/га), экологической пластичностью и адаптивностью, комплексом ценных биолого-хозяйственных признаков, уникальным долголетием (произрастает на одном месте 15-20 лет). Описаны биологические особенности растений галеги восточной (требования к температурным условиям, освещенности, влажности и т.д.). Уделено внимание технологии возделывания культуры с учетом таких факторов как место в севообороте, подготовка почвы и семян к посеву, сроки посева и нормы высевы семян, способ посева, уход за посевами, уборка урожая и др.