

АРХИТЕКТОНИКА СТЕБЛЕЙ *ZEA MAYS* L., *SORGHUM VULGARE* L.

Г. М. САРКИСЯН, Н. П. ХУРШУДЯН

Армянский сельскохозяйственный институт, кафедра ботаники, Ереван

На основании изучения анатомо-морфологических особенностей стеблей сорго и кукурузы, обеспечивающих их прочность и устойчивость к механическим воздействиям внешней среды, предлагается использовать принципы строения стеблей в инженерных конструкциях, в частности, в высотных сооружениях.

Ուսումնասիրված են հիմնականորեն և սորգոյի ցեղանիւթի անատոմոմորֆոլոգիական առանձնահատկութիւնները, որոնք ապահովում են նրա ամրութիւնը և կայունութիւնը շրջիկ միջավայրի մեխանիկական ազդեցութիւնների նկատմամբ:

Ուսումնասիրվում է սորգոյի ցեղանիւթի կառուցվածքի առանձնահատկութիւնները, որոնք ապահովում են նրա ամրութիւնը և կայունութիւնը շրջիկ միջավայրի մեխանիկական ազդեցութիւնների նկատմամբ:

It is offered to use the principles of the stems texture in the engineering constructions, particularly in high-rise buildings based on the study of the anatomic-morphological peculiarities of the stems of sorghum and maize providing their solidity and stability towards the mechanical influence of the external environment.

Архитектура стеблей сорго и кукурузы—инженерные конструкции.

Еще издавна человек применял законы строения живых организмов в своей повседневной практике.

Имея в своей структуре различные ткани, растения могут быть уподоблены инженерным конструкциям, выполненным из композиционных материалов. Так, при сопоставлении растений с прямоствольными стеблями с железобетонными конструкциями обнаруживается, что в обоих случаях в менее прочной объемистой массе (мягкие паренхимные ткани—бетон), распределен более прочный и жесткий материал (механические ткани—арматура). При таком сравнении выявляется преимущество растений, заключающееся, в частности, в высокой устойчивости их к продольным и поперечным нагрузкам при наименьшем весе. Эта способность растений обусловлена их морфологическими особенностями, рациональным расположением несущих механических тканей по сечению стебля, определенным соотношением механических показателей отдельных тканей, обеспечивающих, по-видимому, совместную работу при различных деформациях.

В этой связи естественно предположить целесообразность использования принципов строения растений в инженерных конструкциях.

Цель настоящих исследований—изучить архитектуру стебля кукурузы, сорго и наметить возможность применения некоторых ее особенностей при конструировании высотных сооружений.

Материал и методика. Исследовали стебли кукурузы ВИР-42 и сорго Венковин-629, выращенных в Абовянском районе АрмССР. Выбирали окончательно оформившиеся растения с наиболее прямыми стеблями высотой модального класса. Продольные размеры стебля определяли с помощью линейки с точностью измерений до 1 мм. Для измерения диаметра стебля использовали оптический метод.

Анатомические срезы производили в поперечном направлении стебля по всей длине.

Результаты и обсуждение. Сравнительное изучение исследуемого материала выявило определенное сходство анатомо-морфологических особенностей кукурузы и сорго, обеспечивающих их прочность и устойчивость. Вследствие анатомо-морфологических особенностей этих культур жесткость стеблей по их длине меняется в определенной закономерности, согласно которой в целом имеет место уменьшение жесткости стебля от комля к вершине, за исключением отрезка от корневой шейки до первого узла (первое междоузлие), в котором диаметры стебля и узла относительно малы по сравнению с таковыми верхнего междоузлия.

Гибкость этого участка создается за счет относительно меньших величин показателей механических свойств тканей [5].

На основании анализа кинограмм колебаний стебля под напором ветра, полученных скоростной киносъемкой, вышеописанное можно объяснить необходимостью в «податливости» стебля и его нижней части, изгибающегося при сильном напоре ветра.

Растущие из нижней части стебля придаточные корни, выполняющие, по-видимому, функцию вантовой системы, удерживают этот «ослабленный» участок стебля от чрезмерного изгиба. Исследование механических свойств придаточных корней выявило их большую деформативность наряду с достаточной прочностью.

Наиболее гибким участком стебля является самое верхнее междоузлие (от верхнего узла до метелки), что связано с резким уменьшением диаметра стебля, позволяющим этой части изгибаться и уменьшать свою парусность под напором ветра.

Определенная способность к изгибу отдельных участков стебля обеспечивается и различной формой узлов. Если в нижней части они бочкообразны, то к середине распрямляются, а уже в верхней части стебля приобретают форму вогнутого цилиндра—катены.

На основании характера деформации узлов при воздействии ветра было установлено, что узлы злаковых, в частности пшеницы, играют роль диафрагмы жесткостей [1]. Однако более тщательное изучение деформации стеблей путем скоростной киносъемки показало, что самый верхний узел, имеющий форму катены и деформирующийся в определенных пределах, играет роль податливой опоры. Нижние же бочкообразные узлы гофрированы и по характеру деформации представляют собой диафрагмы жесткостей. Иногда поперечное сечение самого верхнего узла приобретает форму пятиконечной звезды.

Исследование консольных балок с различной формой сечения, созданных по аналогии со стеблем растений, показало, что жесткость

при сечении в виде пятиконечной звезды при поперечном изгибе больше, чем при круглом сечении на 20,4%, а декремент свободного колебания в среднем на 70%. Следовательно, звездчатое сечение узла, наряду с увеличением жесткости, способствует гашению колебаний стебля.

Характер деформации стебля на разных участках его зависит и от степени гофрированности эпидермы. Как известно из строительной механики, гофрированное круглое сечение по сравнению с таковым без гофра более жесткое, т. е. наличие ребер жесткости обеспечивает необходимую устойчивость конструкции при наименьшей затрате материала. Если в целом степень гофрированности уменьшается от верхних междоузлий к нижним, то в пределах одного междоузлия (за исключением самого верхнего) она увеличивается от его середины к узлам, способствуя тем самым их работе в качестве диафрагм жесткости. У верхнего же междоузлия гофрированность понижается от узла к вершине, что уменьшает аэродинамическое сопротивление при сильном напоре ветра, так как наличие гофра ослабляет завихрение ветра вокруг стебля.

По всей вероятности, под воздействием циклической нагрузки ветра формируется и форма стебля сорго в области метелки, имеющей до середины его длины треугольное сечение, сменяющееся затем эллиптическим. У кукурузы же метелка ребристая с сечениями в виде пяти- или шестиконечной звезды.

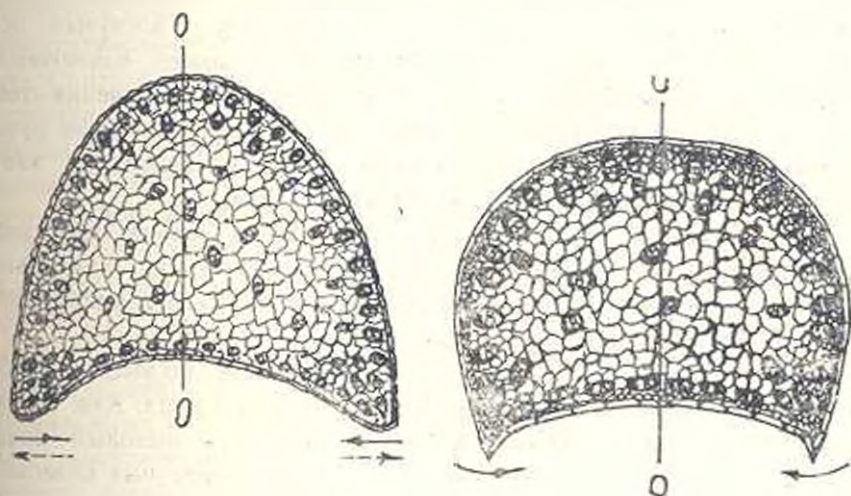
Интересно решено повышение пространственной жесткости стебля у кукурузы. На отдельных его междоузлиях, начиная с четвертого, возникает одна продольная борозда, причем на каждом последующем междоузлии место расположения ее меняется в диаметрально противоположную сторону. Обычно с шестого междоузлия она расширяется и углубляется (на участке расположения початка), сохраняя свою форму до восьмого-девятого междоузлия, а затем уменьшается в размерах и исчезает.

Зачастую форма поперечного сечения стебля и узлов на отдельных участках (чаще первые четыре междоузлия) становится овальной в сторону доминирующего направления ветра, что повышает геометрическую жесткость в этом направлении и уменьшает аэродинамическое сопротивление. Можно констатировать и некоторое увеличение площади под склеренхимной тканью на поперечном срезе стебля в направлении ветра.

Обратимся к анатомическим особенностям стебля изучаемых культур, обуславливающим вместе с морфологическими особенностями их архитектуру. Здесь под утолщенными клетками эпидермы расположены 1—3-рядный слой склеренхимных клеток, прерывающийся короткими промежутками паренхимной ткани на самых верхних междоузлиях. Со склеренхимным кольцом сливаются расположенные в 2—3 ряда крупные сосудисто-волокнистые пучки, обеспечивающие в основном устойчивость стебля к продольно-поперечным нагрузкам (ветер, атмосферные осадки, собственный вес и др.). Сосудисто-волокнистые пучки, расположенные в паренхиматической ткани ближе к центру,

и строительно-механическом отношении играют менее значительную роль.

У сорго и кукурузы в пределах двух нижних междоузлий пучки расположены на периферии, соединены склеренхимными клетками, особенно тесно в первом ряду. На более верхних междоузлиях межпучковые склеренхимные связки, постепенно сужаясь, почти исчезают.



Поперечное сечение стебля кукурузы посередине шестого междоузлия на участке расположения початка (увел. 5).

Таким образом, у обеих культур склеренхимное кольцо и склеренхимные «обложки» пучков образуют единое волнистое «механическое» кольцо, повышающее жесткость стебля. В целом толщина «механического» кольца уменьшается в направлении от комля в верхние. Исключение составляет опять же участок от комля до первого узла, где наблюдается некоторое уменьшение толщины указанного кольца и образование полости, которое наряду с уменьшением диаметра стебля способствует повышению деформативности стебля в этой зоне.

Со строительно-механической точки зрения интересна форма пучков кукурузы и сорго. Если на периферии сечения пучки заметно вытянуты и направлены к его середине, то ближе к центру они приобретают округлую форму. Соотношение диаметров эллипсных пучков на периферии сечения стебля колеблется в среднем в пределах $1,4 \div 1,6$. Очевидно, такая форма в связи с увеличением площади контакта пучка со склерифицированной паренхимной тканью повышает «совместность» их работы [3]. Она увеличивает также жесткость стебля, так как возрастает момент инерции сечения пучков относительно центра сечения стебля. В пределах одного междоузлия эллипсность сечения пучков увеличивается от его середины к узлам, что, естественно, повышает жесткость сечений, примыкающих к узлам. Для пучков, расположенных посередине нижних междоузлий, вытянутость не характерна. Аналогичная картина наблюдается и в отношении ширины склеренхимной обложки пучков. Описанные изменения формы пучков и их склерен-

листных обложек по длине междоузлия, наряду с формой узлов, свидетельствуют их «работе» и качестве диафрагм жесткости.

Интересна архитектоника эпидермальной ткани с утолщенными стенками на самых нижних междоузлиях, играющей помимо прочего и роль демпфера при изгибных колебаниях стеблей под напором ветра. При изгибе стебля полости клеток деформируются и тем самым гасят колебания.

В листовых пазухах, где расположены початки, поперечное сечение стебля приобретает форму, близкую полуэллипсу с вогнутым основанием (рис.). В вогнутой части сечения расположен единственный ряд одиночных невытянутых пучков. В остальных частях сечения стебля пучки более мощные, овальные и вытянуты к центру. Скопление пучков наблюдается по углам сечения, где имеет место концентрация напряжений при поперечно-продольном изгибе стебля.

Наблюдения показали, что изгиб этого участка стебля происходит по направлению оси 0—0 указанного сечения, по линии наименьшей жесткости, причем форма сечения стебля позволяет его демпфирование путем перемещения и направления, указанном стрелками.

Особого внимания заслуживает строение узлов по высоте стебля на уровне наибольшего утолщения листового влагалища. Как известно, нижние узлы стебля обеих культур не охвачены листовым влагалищем, играющим большую роль при затухании поперечных колебаний стебля под напором ветра [4]. Здесь под эпидермой листового влагалища и мелкоклеточной паренхиме (характерной для всех узлов, кроме верхнего) расположены в шахматном порядке круглые участки колленхимы и мощные подковообразные участки механической ткани пучка. Под эпидермой стебля у самых верхних и нижних 2—3 узлов расположены 2—3 ряда склеренхимных клеток, наличие которых можно объяснить филогенетической реакцией растения на воздействие ветра, вызывающей закономерный изгиб в этих участках стебля. Лигнифицированная эпидерма и слои склеренхимных клеток образуют единое «механическое» кольцо, изолированное мелкоклеточной паренхимой от относительно крупных пучков, расположенных в основной паренхиме. Первые 2—3 ряда пучков, связанные между собой и тангентальном и радиальном направлениях склеренхимной связкой, также образуют гофрированное «механическое» кольцо.

Следует отметить, что у исследуемых культур межпучковая склеренхимная связка с высотой стебля постепенно исчезает.

Строение стебля на уровне узла и отдельных междоузлий различается наличием мелкоклеточной паренхимы. Вероятно, при изгибных колебаниях стебля паренхиматический слой играет демпфирующую роль между «механическими» кольцами, образованными утолщенной эпидермой и склеренхимой, с одной стороны, и пучками, расположенными в склерифицированной паренхиме—с другой [4].

Представляет интерес форма пучка на самых нижних узлах сорго, близкая к астронде и обеспечивающая тем самым большую площадь сцепления склеренхимной «обложки» пучка со склерифицированной тканью. В целом же пучки в узлах, как и в междоузлиях, имеют эллип-

тическую, вытянутую к центру форму, которая к середине сечения переходит в круг.

Исходя из морфологических и анатомических особенностей узлов по длине стеблей, можно констатировать уменьшение деформативности узлов от комя к вершине.

Заслуживает внимания характер распределения различных тканей по поперечному сечению как узла, так и междоузлий стебля. Так, из поперечного среза верхнего узла, имеющего в большинстве случаев форму пятиконечной звезды, видно, что под эпидермой расположены пучки с развитой склеренхимой, чередующиеся в шахматном порядке с участками паренхиматической ткани. Склеренхимная «обложка» больших пучков имеет резко выраженную направленность к периферии, а малых — к центру сечения. Такое распределение пучков приводит к рациональной концентрации склеренхимы по сечению узла.

Надо полагать, что соотношение площади под механической тканью к площади сечения стебля, названное нами коэффициентом «армирования» [2], закономерность уменьшения количества механической ткани от периферии сечения стебля к его середине, распределение пучков тканей в шахматном порядке и другие показатели являются оптимальными и сформировались в течение длительной эволюции для предохранения растений от воздействия механических нагрузок внешней среды.

Выявленные анатомо-морфологические особенности стеблей кукурузы и сорго могут иметь свое «механическое воплощение» в инженерных конструкциях, в частности, в строительстве. Так, использование отмеченных принципов строения стеблей изучаемых культур при проектировании и строительстве колонн, башен, ядер жесткостей высотных сооружений с изменяющейся жесткостью по высоте может повысить сейсмостойкость этих сооружений, увеличить их сопротивляемость продольно-поперечному изгибу.

По-видимому, можно считать перспективным конструирование высотных сооружений с диафрагмами жесткости, распределенными неравномерно по его высоте и имеющими различные характеристики.

Сказанное в значительной степени подтверждается экспериментами на моделях, имитирующих биосистемы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрян В. В., Саркисян Г. М. Мат-лы IX объед. научн. конф. посвящен. с. х. вузов. Ереван, 1972.
2. Александрян В. В., Саркисян Г. М. Пути повышения урожайности полевых культур в Армянской ССР. Ереван, 1974.
3. Раздорский В. Ф. Архитектоника растений. М., 1955.
4. Саркисян Г. М. и др. Ж. Промышленность, строительство и архитектура Армении. 9, 1988.
5. Саркисян Г. М., Артемян Р. Н. Механические свойства тканей травянистых растений. Ереван, 1989.

Поступило 10.11 1990 г.