

Šūna - augu uzbūves pamatvienība

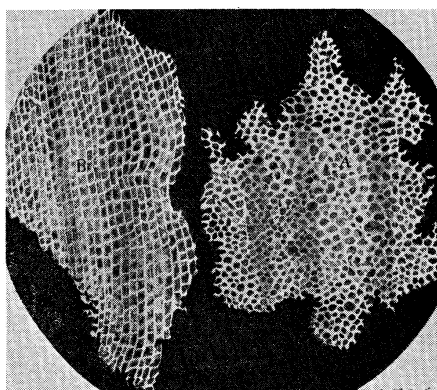
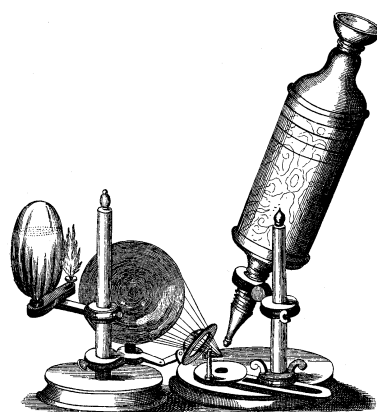
1. Priekšstata par šūnu veidošanās

Vēlreiz atgriežoties pie vēstures, jāatzīmē, ka augu šūnas izpēte kļuva iespējama līdz ar mikroskopa izgudrošanu un konstruēšanu (1.1.tabula)

1.1.tabula. Augu anatomijas attīstības vēsture.

ανατομεισ	Sengrieķu dabaszinātnieku ieviests termins - <i>gr. anatomes – uzšķērst.</i>
4.gs. p.m.ē	Grieķu zinātnieks Teofrasts uzrakstījis pirmo darbu par augu uzbūvi.
1.gs.	Romiešu zinātnieks Plīnijs Vecākais izdara pierakstus par vecākā “mikroskopa” izgudrošanu. Tā bija ar ūdeni pildīta stikla lode.
1590. gads	Holandiešu optiķis Zahariass Jansens konstruē pirmo “moderno” mikroskopu.
1660. gads	Angļu fiziķis Roberts Huks konstruē mikroskopu, ar kura palīdzību skaidri saskatāmi dzīva auga organisma pamatelementi. Tiem viņš dod nosaukumu <i>šūna (cellula)</i> .
XVII gs. 70. gadi	Itāļu biologs Malpigi un angļu biologs Grū neatkarīgi viens no otra publicē darbus ar nosaukumu “Augu anatomija”.
1833. gads	Angļu botāniķis Brauns skaidri apraksta īpašus veidojumus šūnā un dod tiem nosaukumu <i>kodols (nucleus)</i> .
XIX gs. 30. gadi	Vācu zinātnieki - botāniķis Matiass Šleidens un zoologs Teodors Švāns formulē <i>Šūnu teoriju</i> .
1840. gads	Čehu zinātnieks Purkinje šūnas dzīvo saturu nosauc par <i>protoplazmu</i> .
1925. gads	Amerikāņu biologs Edmonds B. Vilsons iegūst mūsdienu izpratnē klasisku šūnas attēlu ar modernu gaismas mikroskopu. Tajā atzīmēti <i>šūnapvalks, citoplazma, plastīdas, mitohondriji, vakuolas, kodols ar kodoliņiem, Goldži aparāts un centriolas</i> .
1961. gads	Beļģu embriologs Žans Brašē publicē pirmo šūnas attēlu, kas iegūts ar elektronu mikroskopa palīdzību.

Faktiski pirmo mikroskopu, ar kura palīdzību zinātniekiem tika dota iespēja aplūkot ļoti sīkus objektus, konstruēja holandiešu tirgotājs Antonijs van Lēvenhuks (1632.-1723.), tomēr galvenais notikums mikroskopa attīstības vēsturē bija angļu fiziķa Roberta Huka 1660.gadā konstruētais mikroskops, kurš bija tik būtiski uzlabots salīdzinājumā ar agrīnajiem “mikroskopiem” jeb palielināmajiem aparātiem, ka deva iespēju pietiekami skaidri saskatīt augu organisma atsevišķus sīkus pamatelementus - šūnas (1.1.attēls).



1.1.attēls. R.Huka 1660.gadā konstruētais mikroskops un ar tā palīdzību ieraudzītās korķa šūnas.

Roberts Huks bija fiziķis un mazliet arī ģeologs, viņš aizrāvās ar izgudrošanu un dažādu aparātu konstruēšanu, bet viņš nebija biologs. Tomēr pateicoties sava mikroskopa relatīvajai pilnībai, Hukam pieder viens no lielākajiem visu laiku atklājumiem bioloģijā - viņš atklāja augu organismu šūnveida uzbūvi (1.1.attēls). Aplūkojis plānus pudeles korķa griezumus, viņš ieraudzīja un uzzīmēja daudzus veidojumus, ko citu no cita atdalīja apvalki. Šiem veidojumiem viņš deva nosaukumu *šūna (cellula)*, jo tie atgādināja bišu šūnas un ar tiem saprata pašus šūnapvalkus un neiedomādamies par šūnas iekšējo saturu.

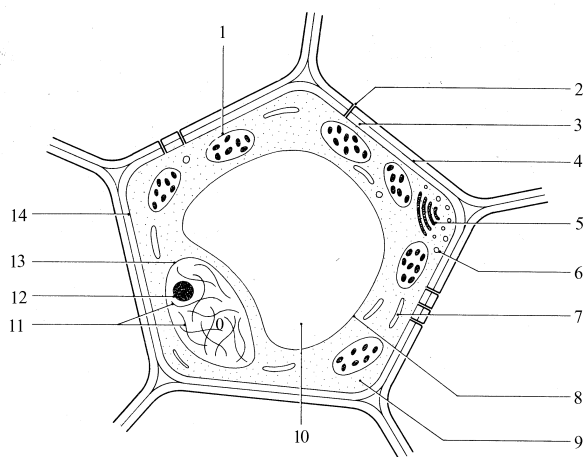
Neraugoties uz šiem atklājumiem, Huka mērķis nebija atrisināt jautājumu par augu šūnas uzbūvi. Vēl vairāk - viņš pat nenojauta sava atklājuma nozīmi bioloģijas vēsturē.

XVII gs. 70.-jos gados Huka atklājumu neatkarīgi viens no otra izmantoja divi zinātnieki biologi - itālis Marčello Malpīgi un anglis Nemija Grū, vienlaicīgi un neatkarīgi viens no otra publicējot darbus ar nosaukumu "Augu anatomija". Viņi profesionāli apstiprināja Huka atklājumu attiecībā uz to, ka augu audi sastāv no šūnām, tomēr abi bija vēl tālu no domas, ka šūna auga organismā ir katra orgāna struktūras pamatelements.

Nākamais būtiskākais posms šūnu pētīšanas vēsturē saistās ar XIX gadsimta pirmo pusi, kad vācu botāniķis Matiass Šleidens (1836) un zoologs Teodors Švāns (1838) formulē *Šūnu teoriju*. Šūnu teorijas būtība ir tāda, ka šūna tiek uzskatīta par augu un dzīvnieku struktūras elementu, kas apvieno augu un dzīvnieku valsti vienotā, kopējā organiskajā dabā.

Šleidens kā botāniķis izstrādāja un ieviesa ģenētisko izpratni mācībā par šūnām un audiem, t.i., pētīja šūnas to individuālajā attīstībā. Savukārt zoologs Švāns konstatēja šūnu vienādu attīstību dažādos dzīvnieku orgānos. Viņš pierādīja, ka šūnas ir organismu uzbūves pamatelementi un tās ir ģenētiski vienādas, kaut arī tām ir dažādi izmēri, forma un uzbūve.

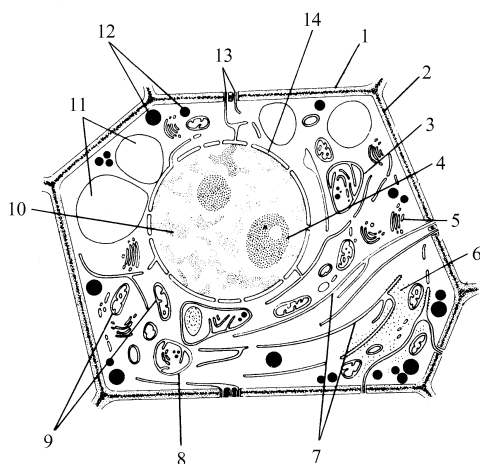
Pēdējos 150 gados pēc šūnu uzbūves teorijas izstrādāšanas zinātnieki ir uzkrājuši milzīgu materiālu par šūnu. Pirmo klasisko šūnas attēlu ar gaismas mikroskopa palīdzību 1925.gadā ieguva amerikāņu zinātnieks Edmunds B.Vilsons, atzīmējot tajā šūnapvalku, citoplazmu, plastīdas, mitohondrijus, vakuolas, kodolu ar kodoliņiem, Goldži aparātu un centriolas (1.2.attēls).



1.2.attēls. Tipiskas augu šūnas attēls gaismas mikroskopā:

1 - hloroplasts, 2 - pora, 3 - šūnapvalks, 4 - vidējā plātnīte, 5 - Goldži aparāts, 6 - Goldži pūslītis, 7 - mitohondrijs, 8 - tonoplasts, 9 - citoplazma, 10 - vakuola, 11 - hromatīns, 12 - kodoliņš, 13 - kodola apvalks, 14 - plazmalemma; 11-13 - kodols (izmainīts no Green, Stout, Taylor, 1990)

Savukārt 1961.gadā beļģu embriologs Žans Brašē publicē šūnas attēlu, kas iegūts ar elektronu mikroskopa palīdzību (1.3.attēls).



1.3.attēls. Auga šūnas attēls elektronu mikroskopā:

1 - primārais šūnapvalks, 2 - vidējā plātnīte, 3 - proplastīda, 4 - kodoliņš, 5 - Goldži aparāts, 6 - ribosomas, 7 - endoplazmatiskais tīkls, 8 - proplastīda, 9 - mitohondriji, 10 - hromatīns, 11 - vakuolas, 12 - lipīdu pilieni, 13 - plazmodesmas (izmainīts no Sitte, 1961).

Mūsdienās, izmantojot modernākos tehnikas sasniegumus - luminiscences mikroskopiju, skenējošo un transmisijas elektronu mikroskopiju, lāzerkonfokālo mikroskopiju un atomspēka mikroskopiju, ir izveidojies adekvāts priekšstats par šūnu.

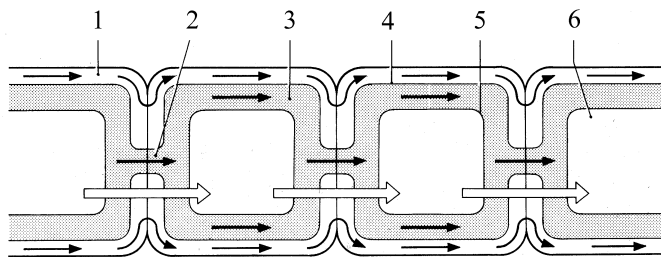
2. Šūnas uzbūve

Mūsdienās ar šūnu saprot:

- 1) kailu protoplastu, pat bez kodola, ar vienu vai daudziem kodoliņiem,
- 2) protoplastu ar cietu apvalku
- 3) šūnu, kurai protoplasts ir sabrucis, bet apvalks saglabājies

Augu šūnā izšķir 2 daļas:

- 1) simplastu jeb dzīvo daļu. Simplasts faktiski ir vienota citoplazmas sistēma augos, kuras nepārtrauktību nodrošina plazmodesmas (2.1.attēls)
- 2) apoplastu jeb nedzīvo daļu. Ar apoplastu saprot vienotu augu audu telpu ārpus citoplazmas. Apoplastam pieskaitāms gan vakuolu saturs, gan šūnapvalks, gan arī starpšūnu telpa.



- A → transports pa apoplastu (pa šūnapvalkiem)
 B → transports pa simplastu (pa citoplazmu un plazmodesmām)
 C → transports pa vakuolām un citoplazmu

2.1.attēls. Vielu transporta tipi augā: 1 - šūnapvalks, 2 - plazmodesma, 3 - mezoplazma, 4 - plazmalemma, 5 - tonoplasts, 6 - vakuola

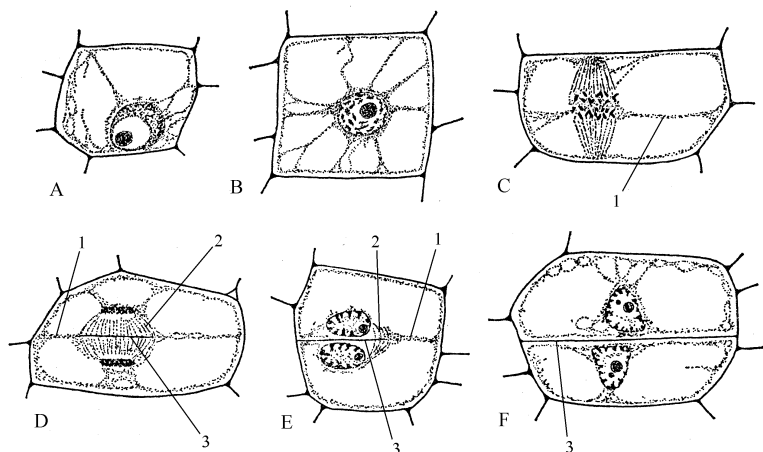
Simplastu veido:

- 1) citoplazma
- 2) kodols
- 3) plastīdas
- 4) mitohondriji
- 5) Goldži aparāts
- 6) endoplazmatiskais tīkls ar ribosomām
- 7) mikrosomas
- 8) citas sīkākas organelas (sferosomas, mikrocaurulītes, mikrofilamenti u.c.).

Apoplasts sastāv no:

- 1) šūnapvalka
- 2) vakuolas satura
- 3) starpšūnu telpas

Šūnām daloties, šūnapvalks rodas protoplastā. Šūnas kodola dalīšanās pēdējos posmos ekvatoriālajā plāksnē fragmoplasta rajonā no Goldži pūslīšiem veidojas šūnas plātnīte - vidējās plātnītes priekštecis (2.2.attēls). Tā sadala mātšūnu divās meitšūnās un sastāv no poli-



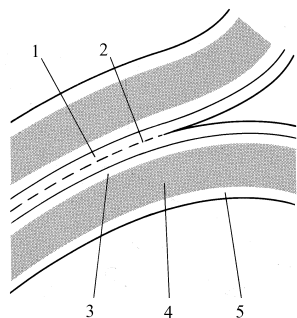
2.2.attēls. Šūnas dalīšanās fāzes, kurās attēlota šūnas plātnītes augšana un attīstība:

1 - fragmosoma, 2 - fragmoplasts, 3 - šūnas plātnīte
(Izmainīts no Sinnott, Bloch, 1941)

saharīdiem - pektīnvielām un hemicelulozēm.

Vidējai plātnītei abās pusēs nogulsņējoties celulozei, katrai meitšūnai izveidojas 0.5...1 μm plāna elastīga membrāna - **primārais šūnapvalks**.

Šūnām pieaugot un diferencējoties, arī šūnapvalks sāk augt, kļūst biezāks - izveidojas **sekundārais šūnapvalks** (2.3.attēls).



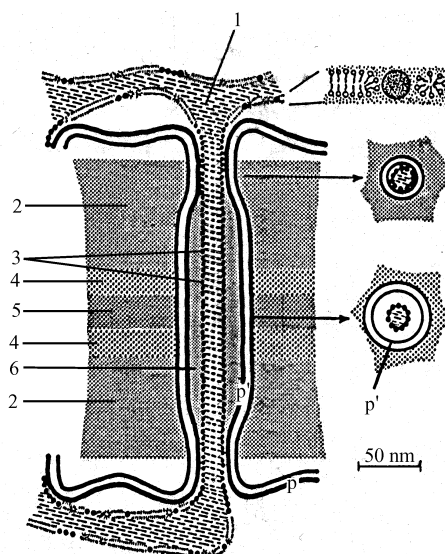
2.3.attēls. Sekundārais šūnapvalks.

1 - primārais šūnapvalks, 2 - vidējā plātnīte, 3 - ārējais slānis, 4 - vidējais slānis, 5 - iekšējais slānis; 3 - 5 sekundārais šūnapvalks.

Pārrāvumi primārajā un sekundārajā šūnapvalkā ir poras, kas nodrošina simplastisko jeb dzīvo kontaktu starp šūnām (1.2.attēls). Patiesībā īstā substance, kas nodrošina šos kontaktus, ir plazmodesmas, kas izspiežas cauri šūnapvalkam. Plazmodesma ir ~ 60 nm resna caurulīte, ko apņem plazmalemma - citoplazmas ārējais slānis, kas robežojas ar šūnapvalku (2.4.attēls).

2.4.attēls. Plazmodesmas ultrastruktūra.

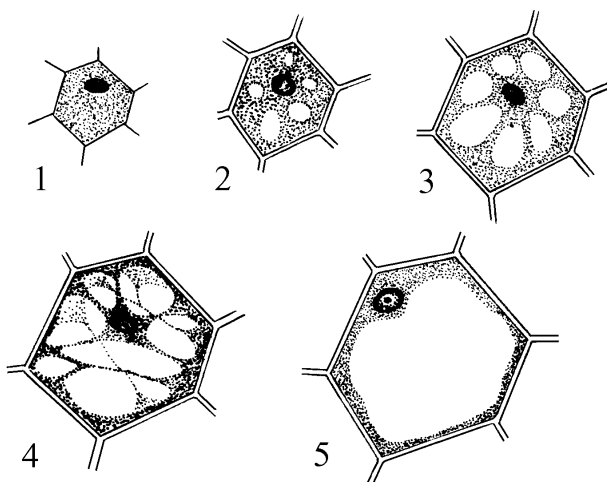
1 - endoplazmatiskais tīkls, 2 - sekundārais šūnapvalks, 3 - desmocaurulīte, 4 - primārais šūnapvalks, 5 - vidējā plātnīte, 6 - plazmodesmas dobums, p - plazmalemma, p' - plazmalemma plazmodesmas centrālajā posmā



Saskaņā ar pašlaik zinātnē vadošo izpratni centrālais plazmodesmas posms **desmocaurulīte** tieši kontaktējas ar blakusesošo šūnu endoplazmatisko tīklu. Desmocaurulīte pēc būtības ir endoplazmatiskā tīkla membrānas modifikācija, un tā sastāv no sfēriskām proteīna molekulām.

Tikko aprakstītajam plazmodesmas modelim ir milzīga nozīme, skaidrojot vielu un signālu simplastisko transportu starp augu šūnām (2.1.attēls).

Turpinot augu šūnas vispārīgo raksturojumu, jāatgriežas pie šūnas augšanas procesa. Jaunām šūnām vakuolu nav - tās pildītas tikai ar citoplazmu, kurā atrodas citas organellas (2.5.attēls, 1). Šūnām novecojot, vielu maiņas procesa rezultātā, parādās daudzas mazas vakuolas (2.5.attēls, 2,3,4), kas vēlāk saplūst kopā, veidojot vienu lielu centrālo vakuolu, kas pildīta ar šūnsulu un kas atspiež pie šūnapvalka citoplazmu ar pārējās organellām (2.5.attēls, 5). Šūnsula ir ūdeņains šķidrums, kas nesajaucas ar citoplazmu un tai ir skāba reakcija.

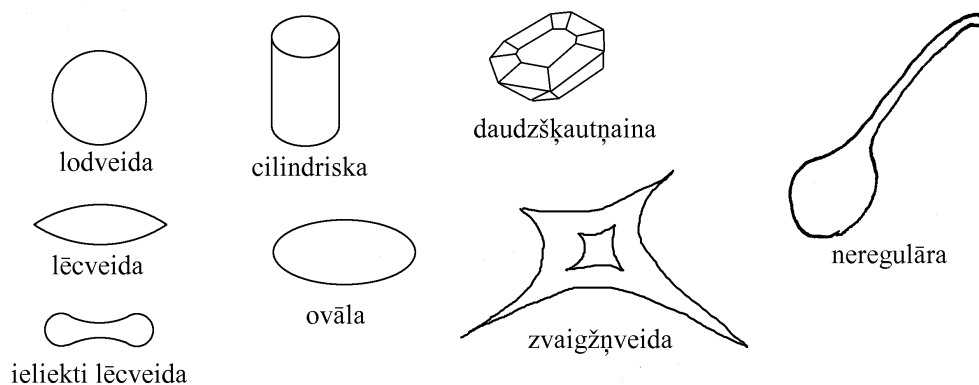


2.5.attēls. Vakuolu veidošanās un saplūšanas process, šūnai novecojot.

3. Augu šūnu forma un lielums

Dabā var sastapt ļoti lielu šūnu dažādību, taču, neraugoties uz to, visām dzīvajām šūnām ir sarežģīta vielu maiņa un tās spēj pārveidot enerģiju.

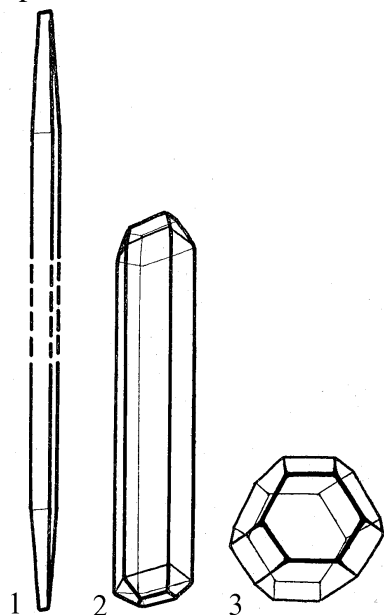
Atkarībā no šūnu attīstības līmeņa, to izvietojuma auga organismā, to fizioloģiskajām funkcijām, šūnu forma un izmēri var būt ļoti dažādi. Šūnas var būt lodveida, diskveida, cilindriskas, zvaigžņveida, daudzšķautņainas, pavediņveida, neregulāras (3.1.attēls).



3.1.attēls. Šūnu forma

Visvienkāršākā forma - *lodveida* - ir sastopama ļoti reti - brīvām šūnām, kuras nerobežojas ar citām šūnām. Šūnu *dauzšķautņaino* formu nosaka kaimiņšūnu savstarpējais spiediens. Ja šūna vienmērīgi aug visos virzienos, tai parasti ir 14 skaldnes - 8 sešstūri un 6 četrstūri. *Zvaigžņveida* un *pavediņveida* šūnu forma parasti ir saistīta ar šo šūnu mehāniskās dabas funkcijām (sklarenhīmas šķiedras, sklereīdas). *Cilindriskā* forma parasti ir šūnām, kas ietilpst vadaudu sastāvā. *Neregulāras* formas šūnas veidojas šo šūnu specializētu funkciju gadījumos - dziedzermatīņu un dzeļmatīņu šūnas parasti ir neregulāras formas.

Neraugoties uz šo lielo formu daudzveidību, pēc formas izšķir divus galvenos tipus *parenhimatiskas šūnas* un *prozenhimatiskas šūnas* (3.2.attēls). Par parenhimatiskām sauc šūnas, kuru izmēri visās 3 dimensijās ir apmēram vienādi, t.i., lielākais izmērs mazāko nepārsniedz vairāk kā 2...3 reizes (3.2.attēls, 3).



3.2.attēls. Galvenie šūnu tipi (pēc formas).

1,2 - prozenhimatiskas šūnas, 3 - parenhimatiska šūna.

Sakarā ar noteiktām šūnu funkcijām noteiktā specializētā šūnu grupā - audos - šūnu augšana var notikt galvenokārt vienā virzienā, kā rezultātā veidojas ļoti izstieptas šūnas ar nosmailotiem galiem. Tās ir prozenhimatiskas šūnas un to garums pārsniedz citus izmērus vairāk nekā 5 reizes (3.2.attēls, 1,2). Šī izmēru starpība var sasniegt pat 100 un 1000 reizes (piemēram, sklerenhīmas šķiedru šūnām) - liniem, kaņepēm u.c. šķiedraugiem.

Parasti šūnas ir ļoti sīkas un saskatāmas tikai mikroskopā (3.1.tabula). Vissīkākās šūnas ir baktērijām - to lielums ir vidēji 1...2 μm. Vissīkākās baktērijas ir mikrokokki, kuru sporu diametrs ir tikai 0.12...0.15 μm.

Lielākā daļa parenhimatisko augu šūnu ir 10...100 μm lielas, tomēr ir arī augu šūnas, kas saskatāmas ar neapbruņotu aci - tomāta vai arbūza mīkstuma šūnas, citrusaugļu šūnas.

Interesanta šūnu grupa ir augu prozenhimatiskās šūnas, kuras ir daudz garākas par parenhimatiskajām šūnām. Tā, līnu šķiedra (pēc būtības - viena šūna) ir 2000...40000 μm (0.2...4 cm) gara, kaņepju šķiedra - 1000...50000 μm (0.1...5 cm) gara. Augu valstī visgarākās šūnas ir dažām eiforbiju ģints sugām - to pienstobru garums var sasniegt pat vairākus metrus.

3.1.tabula. Šūnu izmēri

Objekts	Izmēri (μm)
Vairums augstāko augu parenhimatisko šūnu	10...100
Baktērijas	1...2
Mikrokokku sporas	0.12...0.15
Prozenhimatisku šūnu (šķiedru) garums	1000...50000
Prozenhimatisku šūnu (šķiedru) šķērsriezuma diametrs	50...100

Pateicoties aprakstīto šķiedraugu šūnu īpašībām (garumam), kā arī šo šūnu salīdzinoši nelielajam diametram (50...100 μm), šie augi (līni, kaņepes) plaši tiek izmantoti saimniecībā, pagatavojot izturīgas auklas, virves, diegus, audumus u.c.

Runājot par augu šūnu izmēriem, jāatzīmē, ka tie nav atkarīgi no paša auga izmēriem. Tā, eikaliptu (dabā sasniedz 100 m un lielāku augstumu) stumbra šūnas ir tikpat lielas kā atbilstošās sniegpulkstenīšu šūnas.

4.Augu šūnām raksturīgie struktūrelementi

Kā zināms, tipiskas augu šūnas satur visas tipiskas dzīvnieku šūnas organellas, izņemot centriolas. Tomēr tipiskām augu šūnām ir arī struktūras, kādu nav dzīvnieku šūnām.

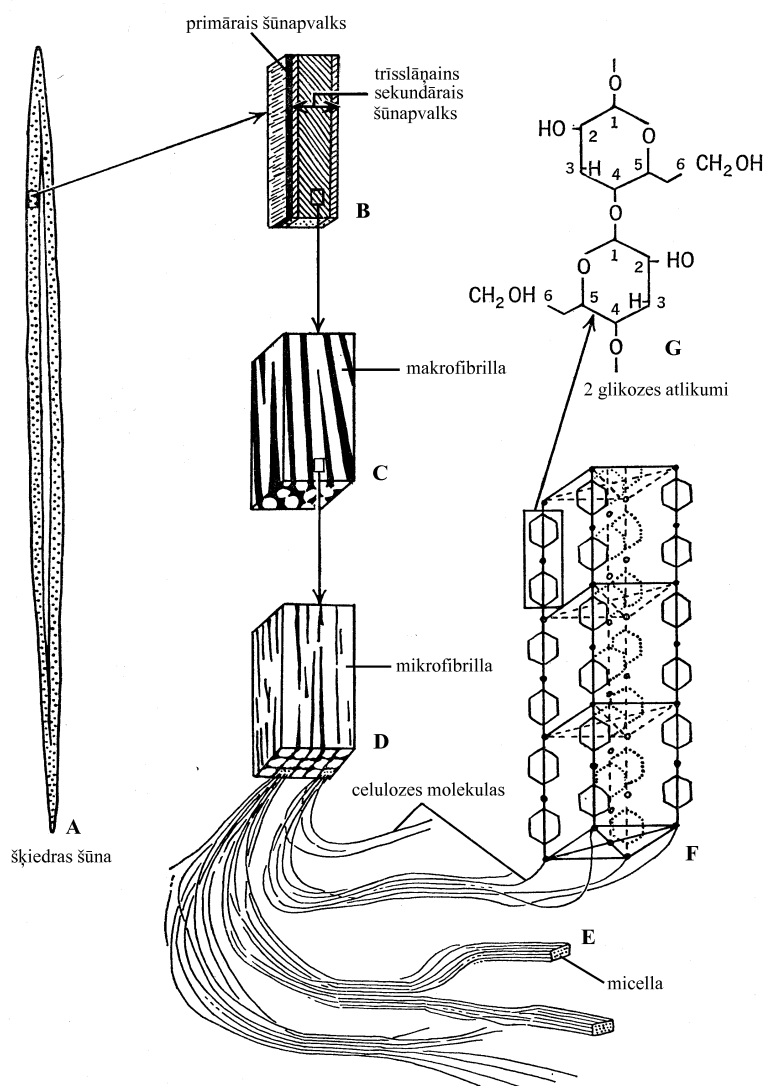
4.1. Šūnapvalks

Augu šūnas līdzīgi kā prokariotu un sēņu šūnas apņem samērā stingrs apvalks, ko uz vidējās plātnītes nogulsnē šūnas dzīvais saturs. Augu šūnapvalks pēc savas ķīmiskās uzbūves atšķiras no prokariotu un sēņu šūnapvalkiem, tomēr visiem trim šūnapvalka stingrību piedod galvenokārt polisaharīdi, turklāt arī galvenās šūnapvalka funkcijas ir vienādas - šūnas dzīvā satura aizsardzība un balsta funkcija. Šūnapvalks visiem minētajiem organismiem ierobežo šūnu pārvietošanās iespējas.

Šūnapvalka uzbūve

Galvenās šūnapvalka sastāvdaļas ir stingras elastīgas mikro fibrillas, kas sastāv no celulozes makromolekulām (4.1.attēls) un plastisks matrikss, kas sastāv galvenokārt no protopektīna un hemicelulozēm. Šūnapvalks ir hidrofilis, tāpēc tas ir ūdens un tajā izšķīdušo vielu caurlaidīgs. Centrālās vakuolas turgora spiediena rezultātā šūnapvalks tiek nospriegots un piedod šūnai stingrību.

Svarīgākais šūnapvalka struktūrelements ir polisaharīds. Vairumam sēņu celulozes vietā šūnapvalku veido slāpekli saturošais polisaharīds hitīns.

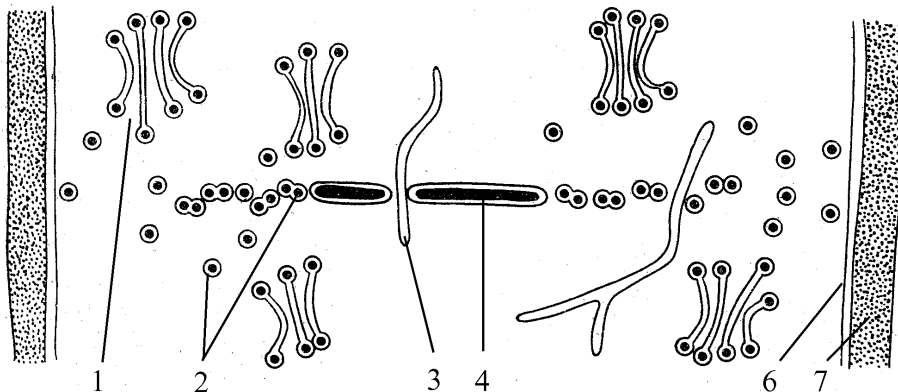


4.1.attēls. Sekundārā šūnapvalka uzbūves shēma.

Šķiedras šūnai (A) raksturīgs trīsslāņains sekundārais šūnapvalks (B). Šūnapvalka vidējais slānis sastāv no makrofibrillām (C, baltas), kas savukārt sastāv no neskaitāmām mikro fibrillām (D, baltas). Mikro fibrillas sastāv no celulozes makromolekulu pavedieniem, kas vietām veido telpiskas struktūras micellas (E). Micellas ir kristāliskas - micellā attālums starp glikozes atlikumiem ir konstants (F). Glikozes atlikumi celulozes molekulā savstarpēji ir saistīti ar β -1-4 glikozīdsaitēm.

Šūnapvalka veidošanās

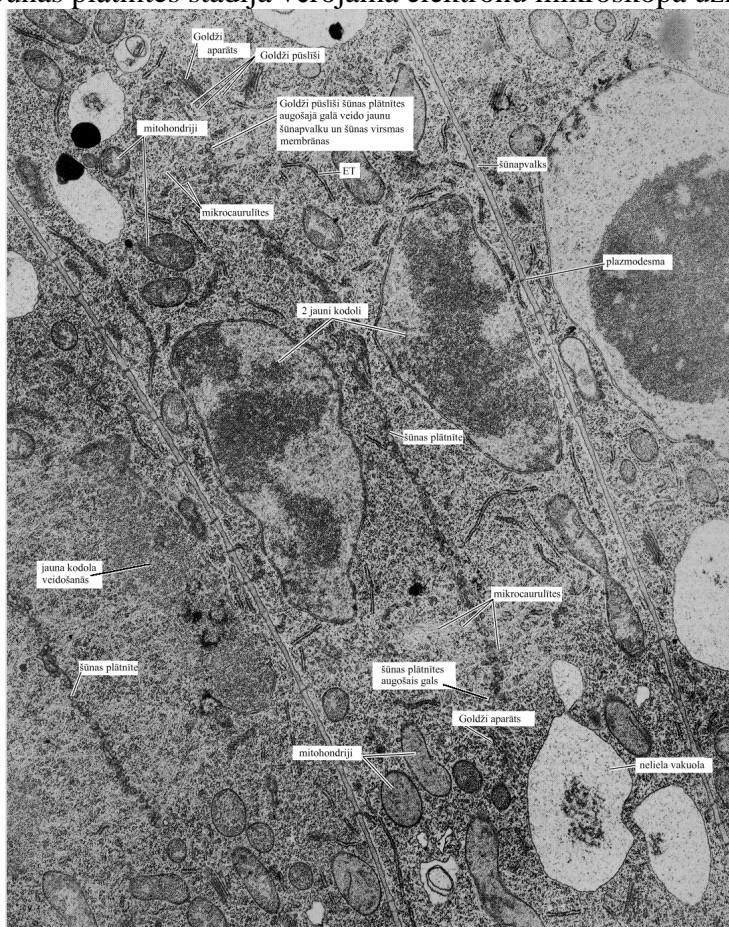
Šūnapvalka veidošanās, šūnai daloties, sākas ar Goldži pūslīšu saplūšanu (4.2.attēls). Goldži pūslīši satur mazmolekulārus polisaharīdu priekštečus. Tie polimerizējas, līdz visas makromolekulas savstarpēji ir saistījušās ar kovalentajām saitēm. Šajā stadijā veidojas vidējā plātnīte, uz kuras nogulsņējoties celulozei veidojas primārais šūnapvalks.



4.2.attēls. Šūnapvalka veidošanās agrīna stadija šūnas dalīšanās laikā.

1 - diktiosoma, 2 - Goldži pūslīši, 3 - endoplazmatiskais tīkls, 4 - šūnas plātnīte, 6 - plazmalemma, 7 - šūnapvalks.

Šūnas plātnītes stadija vērojama elektronu mikroskopa uzņēmumā (4.3.attēls).



4.3.attēls. Šūnas plātnītes veidošanās šūnā mitozes telofāzē (TEM, x 15000)

Šūnapvalka veidošanās laikā uz vidējās plātnītes slāņveidīgi izgulsnējas primārais un sekundārais šūnapvalks.

Primārā apvalka matrikss līdzīgs vidējās plātnītes struktūrai - makromolekulas tajā saistītas kovalenti. Šajā stadijā celulozes mikrofibrillas plastiskajā masā saistītas tikai ar ūdeņraža saitēm, tādēļ, šūnai augot, tās var elastīgi pakļauties - slīdēt.

Sekundārais šūnapvalks satur vairāk celulozes, kuras molekulas ir garākas, turklāt parādās arī jaunas hemicelulozes. Mikrofibrillas izkārtojas paralēlās spirālēs, kuru perpendikulārais virziens blakus esošajos slāņos palielina šūnapvalka izturību. Šajā stadijā šūna zaudē spēju stiepties. Sekundārā šūnapvalka biezums ir audu specifisks - atkarīgs no attiecīgo audu funkcijām.

Atkarībā no audu, kuros ietilpst attiecīgās šūnas, funkcijām, šūnapvalkā var uzkrāties dažādi specifiski savienojumi.

- **šūnapvalka pārkoksnešanās (lignificēšanās)**

Šūnapvalka matriksā uzkrājas **lignīns** - jaukts polimērs ar alifātiskiem un aromātiskiem komponentiem. Tā rezultātā šūnapvalks kļūst ciets, izturīgs. Lignīna uzkrāšanās raksturīga šķiedru šūnām.

- **šūnapvalka pārkorķošana**

Uzkrājas **suberīns** - korķviela - sietveida polimērs, kas sastāv no nepiesātinātajām taukskābēm un hidroksitaukskābēm. Šūnapvalks kļūst vielu (gaisa, ūdens) necaurlaidīgs. Raksturīgs sekundāro segaudu šūnapvalkiem.

- **šūnapvalka kutinizēšanās**

Kutīns ir sietveida polimērs, kas sastāv no hidroksitaukskābēm. Kutīna un vaska slānis izgulsnējas uz epidermas šūnu ārējo pusi vērstās vidējās plātnītes, veidojot salīdzinoši necaurlaidīgu slāni - kutikulu. Kutikula sevišķi izteikta kserofītiem, sukulentiem.

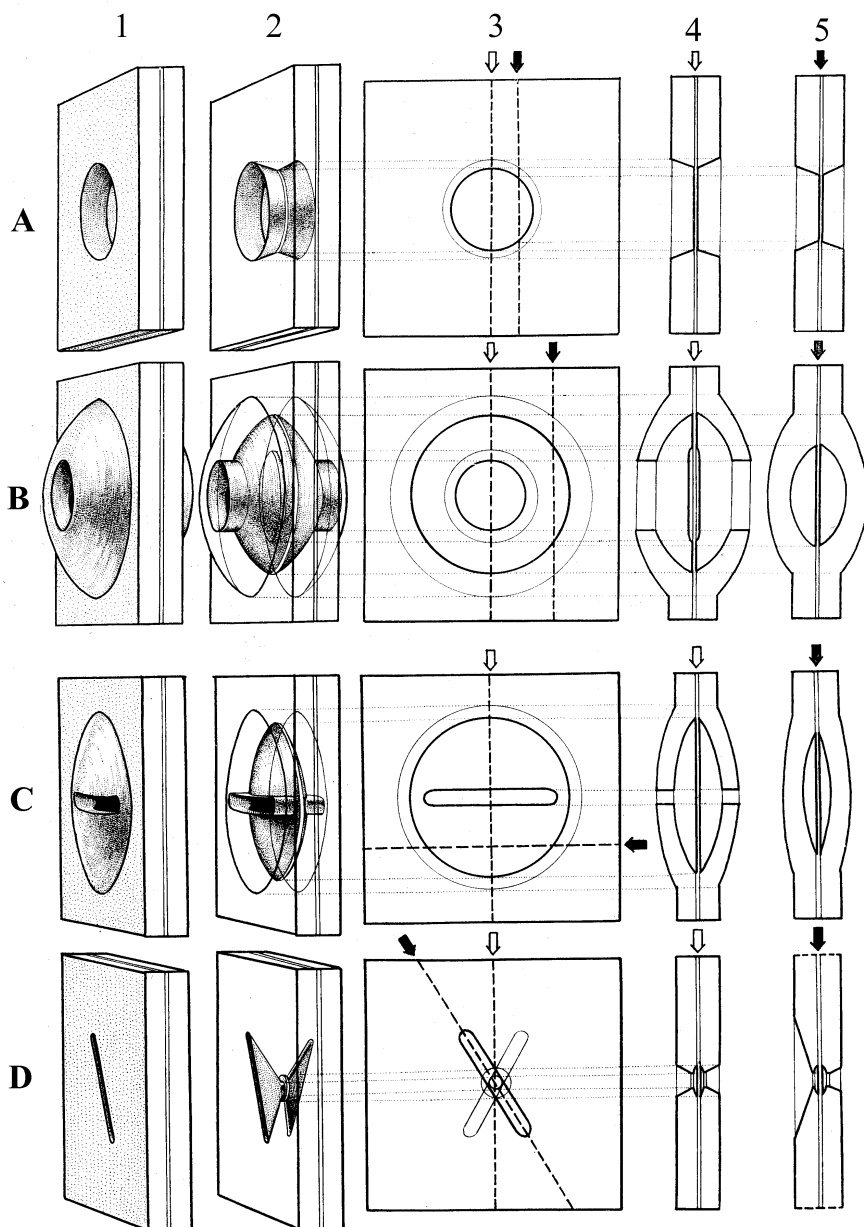
- **šūnapvalka mineralizēšanās**

Šūnapvalkā uzkrājas **silīcija oksīds**, padarot šūnapvalku ļoti trauslu. Raksturīgs trihomu - dažādu šūnas izaugumu, matiņu (dzelmatīņu, dziedzermatiņu) šūnapvalkiem.

- **šūnapvalka pārglotošanās**

Šūnapvalka **pārglotošanās** rezultātā tā virsma kļūst slīdīga, kas dažkārt nepieciešams, lai mazinātu berzi (saknes uznavas šūnapvalki pārglutojas, lai tiktu atvieglota saknes augšana garumā).

Vidējās plātnītes un primārā šūnapvalka veidošanās laikā tomēr saglabājas citoplazmatiskie jeb simplastiskie starpšūnu kontakti. Tas iespējams, jo šūnapvalkos saglabājas poras, caur kurām šūnu dzīvo saturu savieno plazmodesmas (2.4.attēls). Iespējamie poru tipi vērojami 4.4.attēlā).



4.4.attēls. Svarīgākie poru tipi (A - D).

A - vienkāršā pora (raksturīga parenhīmas šūnapvalkiem), B - dobumpora (raksturīga skuju koku koksnes traheīdu šūnapvalkiem), C - dobumpora (raksturīga segsēkļu koksnes traheju šūnapvalkiem), D - spraugveida pora (raksturīga koksnes šķiedru šūnapvalkiem).

1 - poras ārējais izskats, 2 - poras iekšējā uzbūve (šķietami caurspīdīga), 3 - dažādi poru griezumu līmeņi, 4 - poru izskats dažādu līmeņu griezumu vietās.

4.2.Plazmodesmas

2.3.attēlā parādīta plazmodesmu ultrastruktūra

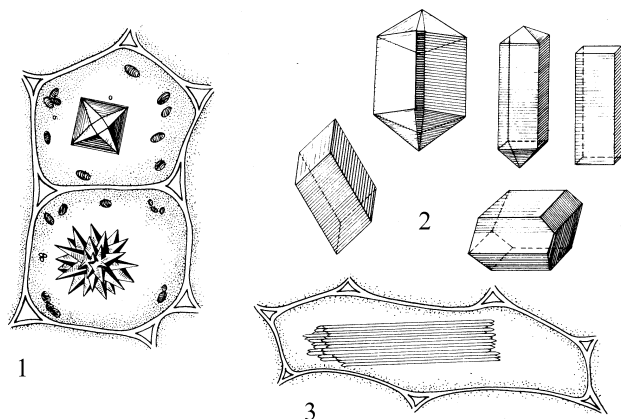
4.3.Vakuolas

Vakuolas ir svarīga augu šūnu sastāvdaļa. Tās ir pildītas ar šūnsulu, kas sastāv no ūdens un dažādiem tajā izšķīdušiem organiskajiem savienojumiem un minerālvielām. Tās var būt rezerves vielas, kā cukuri, organiskās skābes, proteīni, fosfatīdi, vai arī ekskretorie produkti,

piemēram, kalcija oksalāts, kalcija sulfāts, tannīnsaturošie savienojumi (miecvielas), antociānu grupas pigmenti u.c. Vakuolu no citoplazmas norobežo citoplazmas iekšējā dubultmembrāna - tonoplasts.

Vakuolas galvenās funkcijas:

- osmotisko procesu regulēšana šūnā
- nosaka auga daļas krāsu (šūnās izšķīdušie antociāni nosaka dāliju vainaglapu sarkano, violeto, zilgano krāsu)
- dažkārt satur hidrolītiskos enzīmus, tādēļ darbojas kā lizosoma
- metabolisma gala produktu uzkrājējrezervuārs (kalcija oksalāts, kalcija sulfāts - ģipsis) (4.5.attēls).

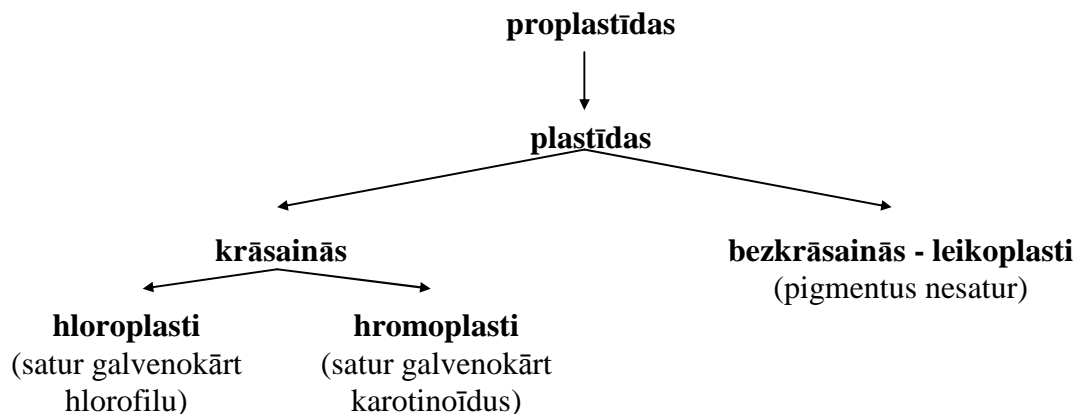


4.5.attēls. Kalcija oksalāta kristālu veidi:

1 - augšā - vienkāršais kalcija oksalāta kristāls, apakšā - kalcija oksalāta drūza *Begonia rex* lapas gargriezumā, 2 - dažādas formas vienkāršie kalcija oksalāta kristāli *Allium cepa* sīpola sausajā zvīņlapā, 3 - rafīdu kūlītis *Polygonatum multiflorum* sakneņa gargriezumā

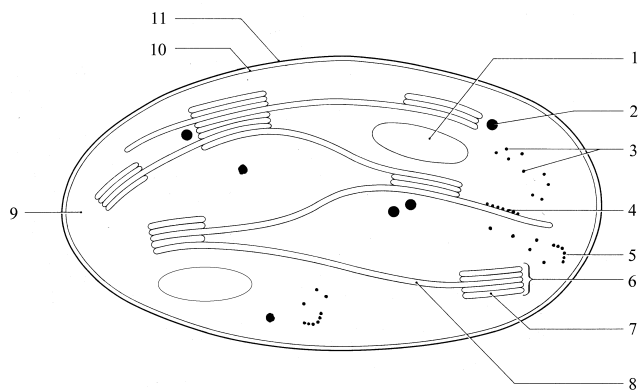
4.4. Plastīdas

Plastīdas ir tikai augu šūnām raksturīgas organelas ar specifiskām funkcijām. Tās attīstās augstāko augu meristemiskajās šūnās no priekštečiem - nelieliem veidojumiem, ko sauc par proplastīdām (1.3.attēls). Proplastīdas apņem dubultmembrāna un atkarībā no potenciālajām šūnas funkcijām, no tām var attīstīties jebkurš no plastīdu tiem (4.6.attēls):



4.6.attēls. Plastīdu veidošanās shēma.

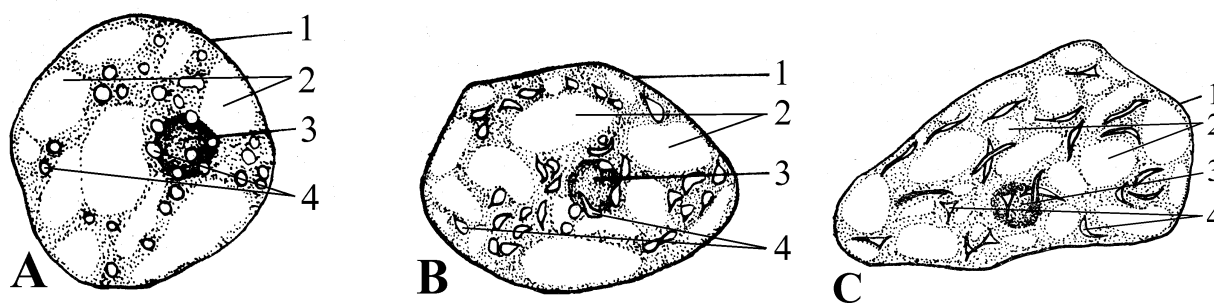
- **hloroplasti** (4.7.attēls). Hloroplasti satur hlorofilus un karotinoīdus un tajos notiek fotosintēze. Hloroplasti zaļajā augā atrodami galvenokārt lapu mezofila šūnās.



4.7.attēls. Hloroplasta uzbūve (membrānu struktūra attēlā reducēta).

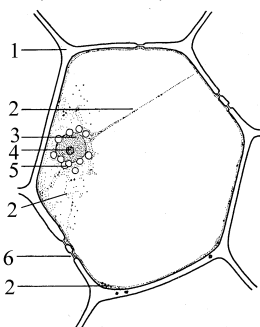
1 - cietes grauds, 2 - lipīdu piliens, 3-brīvās ribosomas, 4 - uz tilakoīdu membrānas saistītās ribosomas, 5-polisomas, 6 - viena grana, 7- tilakoīds, 8 - starpgrānu lamella (viens tilakoīds), 9 - stroma, 10 - iekšējā membrāna, 11 - ārējā membrāna

- **hromoplasti**. Hromoplasti satur galvenokārt karotinoīdus - sarkanos, oranžos un dzeltenos pigmentus. Karotīns nosaka sarkano un oranžo krāsu, bet ksantofils - dzelteni. No minēto pigmentu satura hromoplastos atkarīga ziedu, augļu krāsa, dažkārt arī citu augu daļu krāsa (burkānu sakne). Galvenā funkcija - pievilināšana, tādējādi veicinot augļu, sēkļu izplatību. Veic arī papildfunkcijas fotosintēzē.



4.8.attēls. Hromoplasti. A - maijpuķītes *Convallaria majalis* augļa mīkstuma šūna, B - suņu rozes *Rosa canina* paaugļa mīkstuma šūna, C - pīlādža *Sorbus aucuparia* augļa mīkstuma šūnas. 1 - šūnāpvalks, 2 - vakuolas, 3 - kodols, 4 - hromoplasti.

- **leikoplasti**. Leikoplasti ir plastīdas, kas nesatur pigmentus - tie ir bezkrāsaini (4.9.attēls).



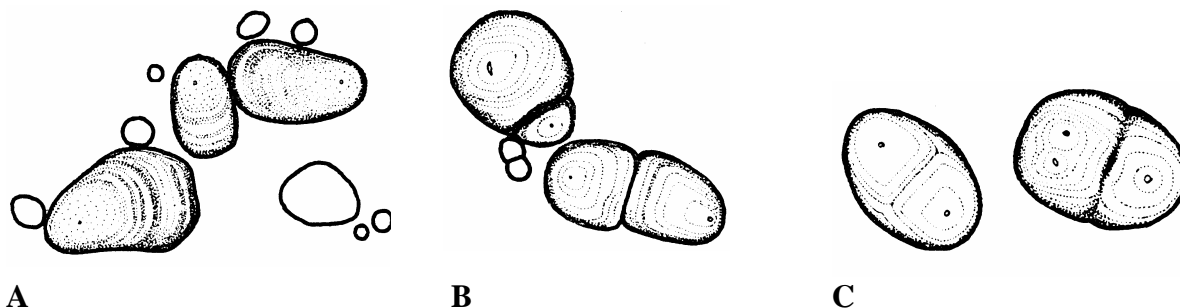
4.9.attēls. Leikoplasti *Rhoeo discolor* šūnās:

1 - šūnāpvalks, 2 - citoplazma, 3 - kodols, 4 - kodoliņš, 5 - leikoplasts, 6 - pora.

Tie parasti ir pielāgojušies rezerves barības vielu uzkrāšanai un lielā daudzumā ir sastopami rezerves barības vielu uzkrājējorgānos - saknēs, sēklās, lapu pārveidēs,

pazemes vasas pārveidnēs. Leikoplasti tiek klasificēti atkarībā no vielām, kādas tajos uzkrājas:

- amiloplastos uzkrājas ciete (kartupeļu bumbuļos) (4.10.attēls)



4.10.attēls. Cietes graudi kartupeļu bumbuļa uzkrājējaudos

A - vienkāršie cietes graudi, B - saliktie cietes graudi, C - pussaliktie cietes graudi.

- lipidoplastos (elaioplastos) uzkrājas lipīdi - eļļas, tauki (riekstos, saulespuķu sēklās)
- proteoplastos uzkrājas proteīni

4.5. Ergastiskie ieslēgumi.

- ciete
- lipīdi
- proteīni
- tannīni - miecvielas (fenola savienojumi)
- kristāli