# CAPITOLUL IX
# BOLILE ŞI DĂUNĂTORII SORGULUI

## 9.1. IMPORTANŢA PROTECŢIEI CULTURII DE SORG

Reuşita culturilor de sorg este frecvent condiţionată de apariţia diferitelor boli şi dăunători care, prin atacul produs, contribuie la reducerea potenţialului de producţie al soiurilor şi hibrizilor sub nivelul condiţiilor agrotehnice asigurate. În multe cazuri, pierderile de producţie pot fi apreciabile (*Bărbulescu, 1985, 2002*).

Sorgul are un nivel ridicat de amidon, zahăr, şi fibre şi este una dintre cele mai importante culturi energetice din lume. Totuşi atacul unor insecte dăunătoare pot provoca mari pagube acestei plante (*Chunshan Guo şi colab., 2011*).

Prin cercetările efectuate s-au dezvoltat diverse metode de control care să conducă la un management mai eficient pentru creşterea producţiei la sorg. Sorgul pentru boabe este considerată o plantă rezistentă la secetă şi cu perspectivă de viitor în zonele secetoase din România (*Cojocaru, 1994, Antohe, 2007, Draghici, 2009*), având în vedere accentuarea secetei atmosferice şi pedologice din ultima perioadă, care ne obligă la găsirea unei alternative la sortimentul de plante care se cultivă în prezent. Antracnoza şi rugina sunt constrângeri biotice importante pentru producţia de sorg pentru boabe şi furaje la nivel mondial şi sunt gestionate cel mai bine prin rezistenţa plantelor (*Rajan Sharma şi colab., 2012*).

Rezultatele obţinute în perioada 2012-2013 ( ) la sorgul pentru boabe au evidenţiat valori 17,11-41,31 %, ale gradului de atac produs de *Hadrotrichum sorghi* şi de 3,73-11,55 % ale gradului de atac produs de *Fusarium moniliforme Sheld* (figura 9.1).

Studiile efectuate au arătat existenţa unei strânse legături între gradul de atac al patogenilor şi rezistenţa plantei la condiţiile de secetă, frecvent întâlnite în zona solurilor nisipoase. Astfel, la o transpiraţie intensă a plantelor de sorg, prin pierderea unei cantităţi de apă mai mare de 2,8 mmol $H_2O$/m/s, s-a înregistrat o creştere a gradului de atac produs de *Hadrotrichum sorghi* şi *Fusarium moniliforme* Sheld.

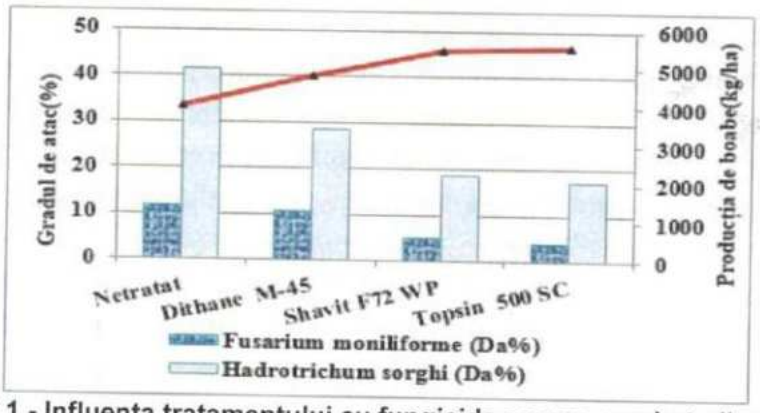
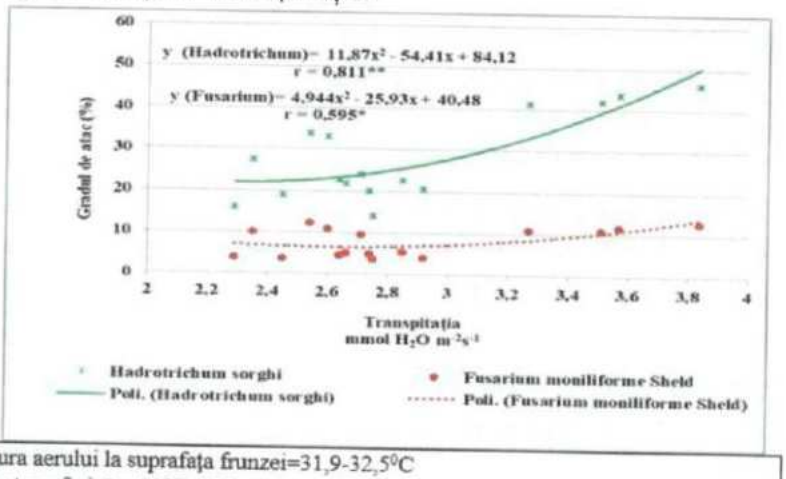



**Figura 9.1 - Influenţa tratamentului cu fungicide asupra combaterii agenţilor patogeni din cultura de sorg (*Drăghici şi colab., 2014*)**

În condiţiile unor temperaturi de 31,9÷32,5 °C înregistrate la nivelul suprafeţei foliare creşterea ratei transpiraţiei a condus la creşterea gradului de atac al patogenilor. S-au stabilit corelaţii semnificative şi distinct semnificative între transpiraţia plantei de sorg şi gradul de atac al acestor patogeni (figura 9.2).

Prin daunele produse de către agenţii patogeni asupra aparatului foliar la sorg se reduce suprafaţa activă pentru fotosinteză, ceea ce înseamnă că planta nu mai poate produce destule substanţe nutritive pentru a susţine un ritm de creştere optim. De asemenea hidratarea frunzelor este scăzută, deoarece cantitatea de apă din plantă este pierdută prin transpiraţie.




Temperatura aerului la suprafaţa frunzei=31,9-32,5°C
Presiunea atmosferică = 1020-1021 atm

**Figura 9.2. Corelaţii între procesul de trasnspiraţie al plantei şi gradul de atac al agenţilor patogeni din cultura de sorg (*Drăghici şi colab., 2014*)**

În ceea ce priveşte atacul dăunătorilor din cultura de sorg pentru boabe, încă de la introducerea sa în cultură, în România, în perioada 1961-1962, s-a impus abordarea cercetărilor referitoare la păduchele verde al cerealelor *Schizaphis graminum* Rond., dăunător care, prin atacul produs, contribuie frecvent la limitarea producţiei şi uneori la compromiterea culturii (*Bărbulescu, 1985*).

Ca urmare a multiplelor direcţii de cercetare sub aspect biologic, s-a stabilit, separat pe forme de afide (fundatrix, virginogene, sexupare, sexuate), durata de dezvoltare şi de reproducere, fecunditatea şi numărul de generaţii care pot evolua în cursul unui an, atât în condiţii controlate de temperatură, cât şi în condiţii de câmp.

S-a urmărit evoluţia dăunătorului în câmp pe plante, de la apariţia sa în primăvară şi până în toamnă, târziu, la depunerea ouălor, s-a urmărit activitatea de zbor şi influenţa factorilor de hrană, prădători, furnici, temperatură şi lumină asupra unor aspecte privind biologia insectei. În privinţa atacului insectei s-au evidenţiat plantele gazdă, diferitele forme de manifestare a atacului pe sorg, pragul economic de dăunare, precum şi pagubele înregistrate. Perimentările privind influenţa unor metode agrotehnice (epocă de semănat, îngrăşăminte chimice, distanţa de semănat şi densităţi de plante), asupra evoluţiei insectei au arătat că aceste metode nu prezintă importanţă practică în protejarea culturilor sorgului de atacul dăunătorului şi deci nu pot fi recomandate în sistemul de combatere integrată.

Numeroasele cercetări cu privire la combaterea chimică a păduchelui verde al cerealelor (*Bărbulescu, 1972, 1985*) au reliefat insecticidele cele mai eficace (aplicate atât preventiv sub formă de granule în timpul semănatului sorgului, cât şi curativ sub formă de pulverizare, pulberi sau granule), numărul tratamentelor şi epoca optimă de aplicare a lor, care depinde de evoluţia apariţiei maxime a afidelor pe sorg. Deşi s-a constatat că tratamentele chimice reprezintă principala măsură de protejare a culturilor de sorg faţă de acest periculos dăunător, o deosebită atenţie a fost acordată şi cercetărilor de rezistenţă a plantei la atacul dăunătorului. În acest sens, cercetările de testare au depistat surse mai puţin atacate, dar neameliorate, care prin încrucişare cu forme de sorg cu bune caracteristici agrofitotehnice, au dus la obţinerea

unor linii tolerante care pot fi utilizate în vederea creării de hibrizi de sorg toleranți față de atacul insectei (*Bărbulescu, 1985*).

Un rol important în stabilitatea recoltelor de sorg o constituie combaterea dăunătorului *Schizaphis graminum*, a cărui prezență a fost favorizată de condițiile climatice ale zonei (*Drăghici și colab., 2015*).

Cercetările efectuate în perioada 2012-2014 la sorgul cultivat pe soluri nisipoase au arătat că infestarea plantei de sorg cu păduchele verde al cerealelor (*Schizaphis graminum (Rond*) s-a înregistrat după 2-3 săptămâni de la răsărire, cu o frecvență cuprinsă între 7,7÷40,6 %, în funcție de tratamentul fitosanitar (figura 9.3).

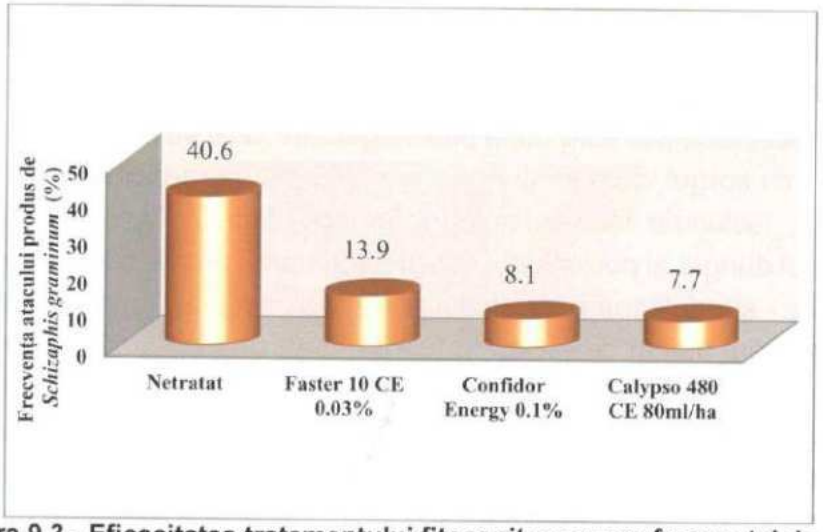



**Figura 9.3 - Eficacitatea tratamentului fitosanitar asupra frecvenței de atac a dăunătorului de Schizaphis graminum (Rond)**

Rezultatele obținute au evidențiat eficacitatea foarte bună a produsului Calypso 480 CE, în doză de 80 ml/ha, în reducerea cu 81 % a frecvenței de atac a dăunătorului *Schizaphis graminum* (Rond) comparativ cu martorul netratat, în care s-a înregistrat o frecvență de 40,6 %. Același studiu subliniază o corelație negativă între frecvența de atac produsă de *Schizaphis graminum* (Rond) și conținutul de clorofilă din frunza de sorg și o corelație pozitivă cu intensificarea procesului transpirație (figura 9.4). Tratamentul cu Calypso 480 CE în doză de 80 ml/ha a condus la optimizarea procesului de transpirație (Fa%=7,73; 2,48 mmol $H_2O$ $m^{-2}s^{-1}$).

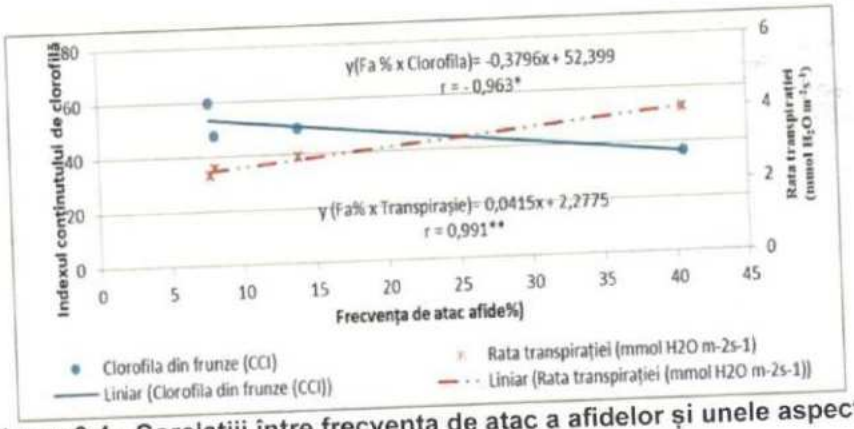



**Figura 9.4 - Corelațiii între frecvența de atac a afidelor și unele aspecte de fiziologie a plantei de sorg**

Prevenirea atacului de boli și dăunători se obține prin evitarea amplasării culturii de sorg după premergătoare care au boli sau dăunători comuni cu sorgul, cum sunt: porumbul (putrezirea rădăcinilor, *Periconia circinita*, taciunele inflorescentei - *Sphaceloteca reiliana*, fuzariozele, mozaicul dungat al porumbului etc. și dăunătorii Tanymecus sp., Ostrinia nubilatis - sfredelitorul porumbului și Rhopalosimphum maydis - afidele negre), grâul atacat de Giberela fujikoroi sau de viermi sârma, floarea-soarelui atacată de Sclerotium bataticola sau premergătoare infestate puternic de costrei (Sorghum halepense) care transmite numeroase boli sorgului (pătarea sorgului - Hadothrichum sp., Helminthosporium sp., Cercospora sp., Gleocercospora sp., tăciunele zburător etc). Un mod mai eficace, dar mai costisitor de prevenire a bolilor și dăunătorilor îl constituie tratamentul la sămânța sau la sol.

Deși sorgul este o alternativă foarte bună pentru înlocuirea porumbului în zonele secetoase marginale, care nu sunt atât de ofertante din punct de vedere al obținerii de producții ridicate la porumb, nu trebuie pierdut din vedere impactul pe care atacul patogenilor și dăunătorilor îl poate avea asupra acestei culturi în contextul în care nu există suficiente studii legate de impactul schimbărilor climatice asupra manifestării acestor factori biotici în cultura de sorg.

Extinderea suprafețelor cultivate cu sorg, datorită numeroaselor avantaje pe care le oferă această planta de cultură, va atrage după

sine noi provocări legate de nivelul la care poate să ajungă atacul patogenilor și dăunătorilor și găsirea celor mai bune metode de combatere integrată a acestora și implementarea lor cu succes în tehnologia de cultură a sorgului.

## 9.2. BOLILE SORGULUI

*A. Viroze*

**Mozaicul sorgului (*Sorghum red stripe virus*) - SRSV**

*Sorghum red stripe* (figura 9.5) este un virus ce aparține Familiei *Potyviridae* și este întâlnit în toate zonele din lume unde se cultiva sorg, putând atinge o frecventa de atac de 25-30 %, având capacitatea de a induce piticire, reducerea suprafeței foliare, a conținutului de clorofilă si pierderi de producție de aproximativ 10 % (*Toler, 1977; 1979; Pawar şi colab., 1990*).



**Figura 9.5 - Mozaicul sorgului (*Sorghum red stripe virus*) - SRSV**
*https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/34621747/another-sorghum-mosaic-virus-is-identified-in-brazil*

Primele simptome de atac pot fi observate începând cu luna iunie și până în toamnă. În fazele incipiente ale bolii pe frunze pot fi observate pete mici, izolate, de culoare galbenă sau verde-deschis. Pe măsură ce boala evoluează petele devin brun-ruginii, iar în cazul infecțiilor puternice, frunzele se brunifică, iar plantele se usucă în întregime.

Virusul poate afecta si costreiul, în rizomii căruia iernează ca parazit obligat, iar în primăvară este transmis la sorg prin intermediul

principalelor insecte vectoare: *Rhopalosiphum maidis, Rhopalosiphum padi, Schizaphis graminum* și *Myzus persicae*.

**Măsuri de prevenire şi combatere:**

- ✓ combaterea costreiului cu erbicide specifice;
- ✓ rotație corectă a culturilor;
- ✓ combaterea afidelor care sunt răspunzătoare de transmiterea virozei;
- ✓ folosirea de hibrizi cu rezistenta genetică

**Marmorarea clorotică a porumbului (*Maize chlorotic mottle virus*) - MCMV**

*Maize chlorotic mottle virus* aparține Familiei *Tombusviridae* și a fost semnalat pentru prima dată în Peru, în prezent fiind răspândit în Argentina, Mexic, Hawai, Kansas și Nebraska din S.U.A, iar în Europa este prezent în Spania (figura 9.6).

Cercul de plante gazdă include porumbul (*Zea mays*), orzul (*Hordeum vulgare*), mohorul verde (*Setaria spp.*), costreiul (*Sorghum halepense*), grâul (*Triticum aestivum*), sorgul (*Sorghum bicolor*).



**Figura 9.6 - Marmorarea clorotică a porumbului (*Maize chlorotic mottle virus*) - MCMV**
*https://cropwatch.unl.edu/plantdisease/corn/maize-chlorotic-mottle-virus*

Simptomele sunt diferite în funcție de genotip, vârstă și condițiile de mediu și se manifestă prin marmorare slabă, dungi clorotice ale frunzelor până la piticire severă a plantelor, necroze, scurtarea inflorescențelor paniculului, formarea de internodii scurte, scurtarea și malformarea inflorescențelor. În infecțiile severe necroza poate determina moartea prematură a plantelor, pierderile de producție variind între 10÷15 % pe suprafețele de producție și de până la 50 % în loturi experimentale.

În S.U.A., virusul acționează sinergic cu *Maize dwarf mosaic* virus (MDMV), producând boala denumită necroza letală a porumbului, care poate produce pierderi de producție de până la 91 %. Virusul MCMV se transmite prin următoarele specii de insecte din familia Chrysomelidae: *Oulema melanopa, Chaetocnema pulicaria, Systena frontalis, Diabrotica undecimpunctata, Diabrotica longicornis și Diabrotica virgifera virgifera*, dar si prin tripși (*Frankliniella williamsi*) și în proporție foarte redusă prin sămânță.

**Măsuri de prevenire și combatere:**

- ✓ utilizarea măsurilor culturale care împiedică răspândirea bolii;
- ✓ cultivarea hibrizilor rezistenți.
- ✓ aplicarea la avertizare a tratamentelor chimice contra insectelor vectoare.

**Piticirea mozaicală a porumbului (*Maize dwarf mosaic virus*) - MDMV**

*Maize dwarf mosaic virus* aparține Familiei *Potyviridae* și este unul dintre cele mai importante virusuri care infectează proumbul și sorgul (figura 9.7), ducând la pierderi de producție de 52 % (*Meckenstock și Wall, 1987*).

În cazul infecției precoce, suprafața frunzelor poate fi redusă cu 11%, iar atacul asociat cu lipsa de apă reduce suprafața frunzelor cu până la 33%, fapt care influenţează negativ înălțimea plantelor şi în final productivitatea culturii. Virusul prezintă 5 tulpini (A,C,D,E,F) diferite din puncte de vedere biologic, serologic si al secvenței de nucleotide (*Loebenstein și Thottappilly, 2003*).



**Figura 9.7 - Piticirea mozaicală a porumbului (*Maize dwarf mosaic virus*) - MDMV**
*https://cropprotectionnetwork.org/resources/articles/diseases/maize-dwarf-mosaic-of-corn*

În condiții naturale virusul produce mozaic, piticire, sterilitate și moartea timpurie a plantelor. Gravitatea simptomelor depinde de sensibilitatea hibridului și de momentul infecției. O infecție timpurie produce simptome severe și mai pronunțate. Mozaicul apare, de obicei, de la baza frunzelor tinere, în momentul ieșirii acestora din teacă. Pe una sau pe ambele părți ale nervurii principale apar puncte clorotice și dungi care se măresc treptat și se întind spre limbul frunzei în creștere. Pe măsură ce infecția avansează frunzele din partea superioară manifestă îngălbeniri, pete roșietice de decolorare și necrozarea vârfurilor. Inflorescențele rămân mici, deformate și au boabe puține.

Virusul se transmite printr-un număr mare de specii de afide (în jur de 20), printre care *Acyrthosiphon pisum, Aphis spp., Myzus persicae*. Nu se transmite prin contact și polen, dar se poate transmite prin sămânța infectată, iar de la un an la altul rezistă în plantele de *Sorghum halepense* (costrei) care pot fi o sursă de răspândire a virusului.

**Măsuri de prevenire și combatere:**

- ✓ cultivarea hibrizilor rezistenți reprezintă un mod de a evita infestarea cu virus;
- ✓ distrugerea buruienilor gazdă (*Sorghum halepense*) și a afidelor vectoare;

- ✓ respectarea rotației culturilor.
- ✓ aplicarea la avertizare a tratamentelor chimice contra insectelor vectoare.

*B. Bacterioze*

**Arsura bacteriană (*Pseudomonas andropogonis sin. Pseudomonas woodsii, Burkholderia andropogonis*)**

Boala este răspândită în America de Nord și de Sud, Europa, Asia, Africa si sudul Pacificului, afectând un cerc larg de plante gazda (*Sorghum halepense, Sorghum bicolor, Sorghum sudanense, Trifolium repens, Vicia sativa, Bougainvillea sp, Ceratonia siliqua, Cicer arietinum, Gypsophila paniculata, Limonium sinuatum, Trifolium pratense, Trifolium subterraneum, Zea mais*), însă este considerată ca având risc moderat asupra culturii de sorg (*Burkholder 1957; Hayward 1972; Vidaver și Carlson 1978; Gitaitis și colab., 1983; Caruso 1984; Moffett și colab., 1986*), figura 9.8.



**Figura 9.8 - Arsura bacteriană (*Pseudomonas andropogonis sin. Pseudomonas woodsii, Burkholderia andropogonis*)**
*https://krex.k-state.edu/dspace/handle/2097/20934*

Bacteria este gram-negativa, motilă, aerobă și prezintă un flagel polar, având dimensiuni cuprinse între 0.5 x 1.5 µm, putându-se dezvolta în colonii circulare de culoare cafenie la temperaturi cuprinse între 4 °C și 41 °C (*Claflin și colab., 1992*).

La debutul bolii pe Frunze apar pete mici, de circa 1 cm în lungime, liniare, dispuse intre nervurile frunzelor, având o culoare

roșietică, uneori chiar galben-brunie, în funcție de reacția hibridului cultivat. În condiții de umiditate aceste pete se pot extinde si ajung chiar la 20 de cm lungime, ocupând suprafețe extinse din limbul foliar. Petele sunt hidrozate, iar pe suprafața lor se poate forma un exudat, mai puțin vizibil în condiții de câmp, dar foarte evident în condiții de laborator.

Primele simptome ale bolii apar în cursul verii, iar în condiții climatice favorabile atacul se poate manifesta și pe teaca frunzei și tulpini. Atacul este favorizat de temperaturile ridicate și vremea umedă.

**Măsuri de prevenire și combatere:**

- ✓ combaterea buruienilor din cercul de plante gazdă;
- ✓ cultivarea de hibrizi rezistenți;
- ✓ rotația culturilor;
- ✓ tratarea semințelor înainte de semănat cu produse cuprice.
- ✓ solarizarea seminței înainte de semănat.

**Pătarea punctiformă a frunzelor și vestejirea sorgului (*Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis*)**

Boala este răspândită în America de Nord și de Sud, afectând porumbul (*Zea mays*), mohorul verde (*Setaria viridis*), iarba de Sudan (*Sudangrass*) și sorgul (*Sorghum bicolor* - figura 9.9), însă nu a fost încă semnalată în România (*Malvick și colab.,2010; Korus și colab., 2011; Hollier și colab., 2013*).



**Figura 9.9 - Pătarea punctiformă a frunzelor și vestejirea sorgului (*Clavibacter michiganensis* subsp. *nebraskensis*)**
*https://agfax.com/2015/11/05/texas-corn-spotting-gosss-wilt/*

Pierderile de producție pot fi cuprinse între 40-60 % în cazul atacurilor severe (*Claflin și colab., 1978; Suparyono și Pataky 1989; Carlson și Wicks 1991*). Bacteria este gram-pozitivă, non-motilă, aerobă, corineformă, de culoare portocalie, având dimensiuni cuprinse între 0.5 x 2.0 µm (*Vidaver și Mandel, 1974*).

Principalele simptome ale bolii sunt ofilirea şi arsura foliară, putându-se confunda cu cele produse de *Pantoea stewartii subsp. stewartii*, ceea ce a făcut ca, anterior, să fie considerată ca o tulpină mai virulentă şi colorată în oranj a bacteriei *Pantoea stewartii subsp. stewartii*. Pe frunze se formează striuri verzui-galbene, rareori roșcate (în funcţie de planta gazdă), cu ondulații pe margine sau pete mici, discrete, hidrozate (pistrui), înșirate de-a lungul nervurilor. Culoarea acestor pete poate fi verde închis până la negricioasă. Cu timpul, frunzele bolnave se brunifică, petele contrastând mai bine. Eventualele confluări ale striurilor duc la arsura frunzei, simptom asemănător cu cel produs de secetă. Frunzele bolnave prezintă la suprafață exsudat, care, după ce se usucă, conferă frunzei un aspect lucios. La plantele tinere, din cauza exsudatului, frunzele se pot lipi sau tulpinile se încovoaie în formă de buclă. La plantele mature, această lipire poate opri apariția paniculului.

Rădăcinile pot să putrezească umed sau uscat, în funcţie de regimul de umiditate. La tulpină, în dreptul nodurilor 3 sau 4, poate apărea o putrezire generală. Dacă se secționează transversal o tulpină, din vase se eliberează un exsudat oranj care, spre deosebire de cel produs de *P. s. subsp. stewartii*, nu este vâscos. În cazul unei infecții severe, în măduva tulpinii se formează pungi pline cu exsudat oranj. Evoluția bolii se încheie prin ofilirea plantei şi moartea ei.

Bacteriile supraviețuiesc bine în frunzele de la suprafața solului şi nu în sol. Bacteriile se transmit prin semințe într-un procent foarte mic. Nu s-a găsit nici o dovadă în legătură cu rolul insectelor în transmiterea şi răspândirea bacteriilor.

Infecția este favorizată de vânt şi de nisipul antrenat de acesta. Bacteria produce o toxină care precede expansiunea ei cu câteva zile. Primele simptome care apar, produse de această toxină, sunt striurile gri-verzi de pe frunze. La început, bacteria se comportă ca un parazit

vascular, dar ulterior invadează și alte țesuturi, cum sunt cele parenchimatice.

**Măsuri de prevenire și combatere:**

- ✓ efectuarea arăturilor adânci pentru diminuarea inoculului potențial;
- ✓ rotația culturilor, cunoscută fiind specificitatea îngustă a bacteriei;
- ✓ cultivarea liniilor şi hibrizilor rezistenți;
- ✓ combaterea buruienilor din cercul de plante gazdă;
- ✓ rotația culturilor;
- ✓ tratarea semințelor înainte de semănat cu produse cuprice;
- ✓ solarizarea seminței înainte de semănat.

**Arsura bacteriană (*Pseudomonas syringae pv. syringae*)**

Bacteria *Pseudomonas syringae* pv.*syringae* afectează un cerc larg de plante gazdă, atât monocotiledonate, cât și dicotiledonate, incluzând însă numeroase specii din familia Graminae (figura 9.10). Este o bacterie aeroba, gram-negativă, motilă cu unul sau mai mulți flageli polari și care măsoară 0.5-0.7 x 0.8-2.2 µm. Coloniile de *Pseudomonas syringae* pv.*syringae* au culoare verde fluorescent și cresc la o temperatura cuprinsă între 1 °C și 35 °C, cu un optim la 28 °C (*Hayward și Waterston, 1965*).



**Figura 9.10 - Arsura bacteriană (*Pseudomonas syringae pv. syringae*)**
*https://www.google.com/search?q=Pseudomonas+syringae+pv.+syringae+on+sorghum&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiNjsDurIfwAhX1hf0HHQUABH8Q_AUoAXoECAIQAw&biw=1536&bih=754#imgrc=M7c96AzV9XP2-M*

Boala poate fi greu de diagnosticat deoarece simptomele pot fi confundate cu cele produse de fitotoxicitatea la pesticide, de atacul unor ciuperci si chiar cu leziuni mecanice mai vechi.

Astfel, pe frunze şi teci apar la început pete mici, de circa 5 mm în diametru, circular-eliptice sau de formă neregulată, care cu timpul se măresc, ajungând la 1-8 cm diametru. Petele sunt hidrozate, de culoare verde-măslinie la debut, apoi devin roșcate. La unii hibrizi petele se extind repede, formând dungi ovale, de culoare purpurie, între care țesuturile sunt necrozate, de culoare galbenă-brunie, in funcție de germoplasmă. Pe suprafața petelor se formează un exudat, care la unii hibrizi poate fi mai abundent.

**Măsuri de prevenire și combatere:**

- ✓ combaterea buruienilor din cercul de plante gazdă;
- ✓ cultivarea de hibrizi rezistenți;
- ✓ rotația culturilor;
- ✓ tratarea semințelor înainte de semănat cu produse cuprice;
- ✓ solarizarea seminței înainte de semănat.

**Striaţia bacteriană (*Xanthomonas vasicola pv. holcicola sin. Xanthomonas campestris pv. holcicola*)**

Boala este răspândită în toate zonele cultivatoare de sorg din Asia, Africa, America de Nord si de Sud, Europa, Australia, Noua Zeelandă, Insulele Solomon (figura 9.11). Din cercul de plante gazdă fac parte sorgul, meiul, iarba de Sudan, costreiul (*Sorghum halepense*), în timp ce porumbul este o gazdă minoră.



**Figura 9.11 - Striaţia bacteriană (*Xanthomonas vasicola pv. holcicola sin. Xanthomonas campestris pv. holcicola*)**
*http://www.pestnet.org/fact_sheets/sorghum_streaky_spot_073.htm*

Bacteria *Xanthomonas vasicola pv. holcicola* este gram-negativă, are unul sau doi flageli polari și dimensiunea de 0.4÷0.9 x 1.0÷2.4 µm. Temperatura optimă pentru dezvoltarea ei este de 24°C, iar coloniile formate sunt circulare, de culoare galbenă, fiind foarte vâscoase, lipicoase.

Pe frunzele bazale ale plantelor infectate apar striuri paralele de culoare roșu-cărămiziu, având 2-3 mm lățime și 5-15 mm lungime, iar pe măsură ce boala evoluează sunt afectate frunzele din etajele superioare, fiind cuprinsă o porțiune din ce în ce mai mare din limbul foliar, astfel încât frunzele se usucă și rămân atârnate de-al lungul tulpinii. Simptomatologia produsă de patogen poate fi observată chiar și pe teaca frunzelor și tulpina plantelor afectate. Pe porțiunile de țesut afectate, bacteria dezvoltă un exudat specific care poate contribui la răspândirea acestui patogen prin intermediul ploii si a vântului.

**Măsuri de prevenire și combatere:**

- ✓ combaterea buruienilor din cercul de plante gazdă, în special a costeiului (*Sorghum halepense*), care este principala gazda alternativă;
- ✓ evitarea monoculturii de sorg;
- ✓ cultivarea de hibrizi rezistenți;
- ✓ tratarea semințelor înainte de semănat cu produse cuprice;
- ✓ solarizarea seminței înainte de semănat.

*C. Micoze*

**Fuzarioza sau Fângerea tulpinilor de sorg *(Fusarium moniliforme)***

Fuzarioza sau frângerea tulpinilor de sorg (figura 9.12) reprezintă una dintre cele mai grave boli ale sorgului, estimându-se ca aproximativ 5 % din totalul pierderilor de producție datorate atacului patogenilor la sorg se datorează acestui patogen (*Hernandez și colab., 1987*). Boala poate determina pierderi de producție între 15÷60 % în funcție de susceptibilitatea cultivarului, atât prin șiștăvirea boabelor datorită întreruperii alimentării plantei cu apă si elemente nutritive ca urmare a putrezirii zonei coletului si a bazei tulpinii, cât și

prin frângerea efectivă a plantelor afectate (*Pande și Karunakar, 1992*).

În câmp, atacul patogenului se manifestă în vetre. Primele simptome ale bolii se pot observa la plantele tinere care prezintă o putrezire a rădăcinilor si bazei tulpinii, fapt ce duce la un aspect ofilit al plantelor ca si cum ar fi afectate de înghețurile târzii de primăvara sau de lipsa de apă din sol. Ulterior o examinare mai atenta a porțiunilor de plantă afectate scoate la iveala boala de natura micotică.



**Figura 9.12 - Fuzarioza sau Frângerea tulpinilor de sorg *(Fusarium moniliforme)***
*https://www.plantpath.k-state.edu/extension/publications/L741.pdf*

Un diagnostic și mai exact se poate pune prin secționarea tulpinilor plantelor mature afectate, putând fi observată porțiunea dintre internoduri unde in interior se observa miceliul ciupercii de culoare roz sau gri-cărbunos, în timp ce vasele conducătoare neputând fi consumate de către patogen rămân vizibile sub forma unor fire celulozice. La o simplă apăsare pe porțiunea de tulpină afectată de patogen, aceasta se frânge, ducând la prăbușirea plantei.

***Măsuri de prevenire și combatere***

- ✓ asigurarea unei desimi optime de plante/ha;
- ✓ combaterea buruienilor ca principali competitori pentru apă și elemente nutritive;

- ✓ gestionarea eficace a irigației: în solurile cu rezervă hidrică mică, o soluție bună poate fi efectuarea unei irigări în stadiul de umplere al boabelor;
- ✓ fertilizarea controlată și echilibrată cu azot;
- ✓ corectarea pH-ului, deoarece un pH de 5,0 favorizează dezvoltarea fuzariozei transmise prin sol;
- ✓ alegerea hibrizilor cu rezistență la fuzarioză;
- ✓ tratarea seminței cu produse sistemice;
- ✓ recoltarea optimă așa încât să fie evitate pierderile datorate căderii plantelor.

**Antracnoza sorgului (*Colletotrichum graminicola*)**

Boala a fost raportată în toate zonele din lume unde se cultivă sorg, însă incidența și severitatea ei sunt mult mai mari în regiunile calde și cu umiditate ridicată (*Porter, 1962; Tarr, 1962; Harris și Sowell 1970; Sundaram și colab., 1972; Powell și colab., 1977; Frederiksen,1984*).

Cercul de plante gazdă include graminee cultivate si spontane, precum grâu, orz, ovăz, secară, porumb, sorg, iarba de Sudan, costrei. Pierderile de producție datorate patogenului *Colletotrichum graminicola* pot ajunge la 50% în cazul unui atac puternic pe cultivarele sensibile. Diminuarea producției apare ca urmare a șiștăvirii boabelor, cu impact negativ asupra MMB-ului si MH-ului (*Powell și colab.,1977*).

*Colletotrichum graminicola* (figura 9.13) poate infecta frunzele, tulpinile, pedunculul paniculului și boabele de sorg (Pastor-Corrales și Frederiksen, 1980), iar in funcție de simptomatologia pe care o dezvoltă pe fiecare dintre aceste organe ale plantei, poate părea ca este vorba de boli diferite (*Edmunds și colab., 1970; Edmunds și Zummo, 1975*). Variabilitatea în privința manifestării simptomelor poate fi influențată și de rezistența cultivarului, rasele patogenului, precum si de starea fiziologică postinfecție a plantei gazdă (*Frederiksen și Rosenow, 1971; Frederiksen,1984*).

Pe frunzele plantelor de sorg susceptibile apar pete mici, circulare, de 2÷6 mm în diametru, înconjurate de un halou de culoare roșiatică, care pe parcursul evoluției bolii pot sa conflueze și să ducă

la uscarea frunzelor, iar în cazul atacurilor severe chiar la moartea plantei înainte de maturitate. Aceste pete roșiatice se pot dezvolta și în partea superioară a tulpinii afectând rezistența mecanică a țesuturilor, fapt ce duce la frângerea tulpinii și pierderi de recoltă. De asemenea, se poate observa și o decolorare a țesuturilor nodurilor, în timp ce porțiunea de tulpina afectata capătă la exterior o culoare cenușie.



**Figura 9.13 - Antracnoza sorgului (*Colletotrichum graminicola*)**
*https://www.padil.gov.au/thai-bio/pest/main/140459/30915*

Patogenul supraviețuiește de la un an la altul pe resturile vegetale infectate ale plantelor din cercul de plante gazdă, putând rezista până la 18 luni în stadiul de saprofit. De asemenea, patogenul se poate transmite prin sămânța provenită de la plantele bolnave, putând să reziste pe aceasta până la 1 an (*Warren și Nicholson 1975; Warren, 1977*).

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ folosirea de sămânță sănătoasă;
- ✓ rotația culturii de cel puțin 1 an;
- ✓ încorporarea resturilor vegetale provenite de la plantele infectate;
- ✓ folosirea de hibrizi cu rezistență genetică.

**Tăciunele știuleților și al paniculelor (*Sphacelotheca holci-sorghi sin. Sphacelotheca reiliana*)**

Boala a fost raportată cu precădere în Africa și Asia, însă a fost semnalată în toate zonele unde se cultivă sorg, iar nivelul pierderilor

de producție poate fi cuprins între 5-60 % (Frowd,1980). Frecvența bolii este dependentă de condițiile de mediu, în special de complexul factorilor temperatură şi umiditate. Infecțiile sunt foarte puternice la porumbul semănat târziu, deoarece temperaturile de peste 15 °C şi uscăciunea solului sub 50 % din capacitatea de câmp pentru apă, constituie factori favorizanți ai atacului.

Atacul se manifestă pe panicule, știuleți şi pe mugurii axilari, foarte rar fiind atacate şi frunzele (figura 9.14). Simptomele sunt foarte caracteristice, evidente în câmp, după apariția inflorescenţelor. Atunci când atacul se manifestă pe inflorescențe, organele florale sunt înlocuite de "pungi" de formă conică de 3÷12 mm, care sunt învelite de o membrană cenuşie-albicioasă. În interiorul acestora se găsește o masă prăfoasă, negricioasă, formată din teliosporii ciupercii, care reprezintă organele de înmulțire asexuată. Teliosporii sunt sferici, alungiți sau unghiulari, cu membrana de culoare brun-măslinie, netedă sau punctiformă și au o dimensiune de 6-8 x 5÷7 µm în diametru.

Sub acțiunea vântului membrana se rupe și teliosporii sunt eliberați realizând noi infecții. Practic, paniculele bolnave sunt total sau parțial distruse şi transformate într-o masă brună negricioasă, pulverulentă (sporii ciupercii). Uneori paniculele se deformează, iar bracteele florilor atacate au formă de frunze.



**Figura 9.14 - Tăciunele știuleților și al paniculelor (*Sphacelotheca holci-sorghi sin. Sphacelotheca reiliana*)**
*https://agritech.tnau.ac.in/crop_protection/sorghum_disease/sorghum_d2.html*

Știuleții sunt, de regulă, distruși în întregime, în locul lor dezvoltându-se o formațiune tăciunată, conică, învelită în pănuși care rămân intacte. Masa de spori este acoperită de o membrană subțire albă-argintie, iar la interior este străbătută de firișoare albicioase (fasciculele de vase ale organului atacat).

Pe măsură ce porumbul se apropie de maturitate, pănușile încep să se depărteze în partea superioară, lăsând să se vadă știuletele tăciunat din care se scutură sporii ciupercii. Mugurii axilari infectați se transformă în gale mici, pline cu spori. Pe frunze și pănuși apar pete alungite cafenii-deschis de formă neregulată. La plantele mature, petele sunt ovale, de 2-5×0,5 cm, cafeniu-deschis sau brune-ciocolatii, cu cercuri concentrice.

De regulă, plantele cu paniculele bolnave au și știuleții atacați; ele își mențin culoarea verde mai mult timp, ajung mai târziu la maturitate și, deseori, sunt ceva mai mici comparativ cu cele sănătoase. De asemenea, inflorescențele plantelor infectate apar mai devreme decât în cazul plantelor sănătoase, însă glumele semințelor sunt hipertrofiate.

În practică, tăciunele inflorescențelor poate fi confundat uneori cu tăciunele comun al porumbului (*Ustilago maydis*). În primul caz, atacul este generalizat, exteriorizat prin distrugerea inflorescențelor, datorită infecției sistemice caracteristice ciupercii *Sphacelotheca reiliana*, pe când, în al doilea caz, tumorile cu spori sunt locale. Masa sporilor de *Sphacelotheca reiliana* este prăfoasă, neagră, străbătută de firișoare albe, iar cea de *Ustilago maydis* este la început moale, umedă, apoi pulverulentă, cu o nuanță brună-verzuie.

Ciuperca se transmite în perioada de vegetație prin sporii duși de vânt, iar de la un an la altul, transmiterea este asigurată prin semințele infectate și prin sporii ce rămân pe resturile vegetale și a celor acumulați în sol. Sporii rezistă în sol 3÷4 ani, uneori chiar și 7÷8 ani.

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ rotația culturilor cu asolament de lungă durată, deoarece sporii au viabilitate mare în sol;

- ✓ recoltarea manuală pentru tarlalele puternic atacate, prin tăierea şi scoaterea plantelor din lan, în vederea micșorării răspândirii sporilor de rezistență;
- ✓ cultivarea hibrizilor rezistenți care răsar la temperaturi inferioare celor necesare pentru germinarea sporilor
- ✓ folosirea de sămânță sănătoasă, tratata cu fungicid;

**Făinarea sorgului *(Peronosclerospora sorghi)***

Deși boala a fost semnalata ca provocând pagube semnificative in zonele tropicale si subtropicale, actualmente este răspândită aproape toate zonele în care se cultivă sorgul.

Boala poate fi atât localizată, cât și sistemică. Forma cea mai gravă este cea sistemică și se manifestă atunci când are loc infectarea țesuturilor meristematice de la nivelul frunzelor, fapt ce duce la clorozarea acestora, apariția unor striuri de culoare albă care alternează cu striuri de culoare verde și chiar moartea prematură a plantelor (figura 9.15).



**Figura 9.15 - Făinarea sorgului *(Peronosclerospora sorghi)***
*https://agrilife.org/texasrowcrops/2015/05/04/scouting-for-sorghum-downy-mildew/*

Țesuturile afectate sunt acoperite cu o pâslă micelian de culoare albă, care reprezintă conidioforii și conidiile ciupercii, organele de înmulțire asexuată a ciupercii, prin intermediul cărora se realizează infecțiile secundare. Conidioforii sunt erecți și ramificați dicotomic, iar conidiile sunt hialine, obovate, non-papilate și măsoară 15÷19 x 15÷27 µm. Oosporii care reprezintă organele de înmulțire sexuată a ciupercii

și care se găsesc pe resturile vegetale provenite de la plantele bolnave, asigura realizarea infecțiilor primare prin emiterea unui tub germinativ de infecție.

Oosporii pot rezista în sol pe resturile vegetale timp de câțiva ani. De asemenea, patogenul poate supraviețui pe costrei, care servește ca sursă de inoculum primar pentru sezonul următor. Umiditatea scăzută a solului și temperatura peste 10 °C favorizează realizarea infecțiilor primare. Realizarea infecțiilor secundare, prin intermediul conidiilor este favorizată de temperaturi cuprinse între 15÷20 °C și umiditate atmosferică de 100 %.

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ cultivarea de soiuri rezistente la atacul acestui patogen;
- ✓ distrugerea buruienilor care fac parte din cercul de plante gazdă;
- ✓ încorporarea resturilor vegetale provenite de la plantele infectate;
- ✓ tratarea seminței cu fungicide si efectuarea de tratamente în vegetație.

**Helmintosporioza sorgului (*Drechslera sorghicola*)**

Atacul patogenului *Drechslera sorghicola* determină apariția pe frunze a unor pete mari, ovale, mărginite de un halou de culoare brună. Pe măsură ce boala evoluează aceste pete se extind, se unesc și acoperă suprafețe din ce în ce mai mari din limbul foliar (figura 9.16).



**Figura 9.16 - Helmintosporioza sorgului (*Drechslera sorghicola*)**
*https://www.nexles.com/articles/sorghum-sorghum-bicolor-treatments-common-diseases-pests-technical-plant/*

Pe vreme umedă, pe suprafața petelor apare un mucegai fin ce reprezintă fructificațiile ciupercii. Pe vreme uscată frunzele se usucă, iar țesuturile atacate se rup, producând sfâșierea frunzelor.

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ încorporarea resturilor vegetale provenite de la plantele infectate;
- ✓ practicarea unei desimi optime de semănat;
- ✓ rotația culturilor;
- ✓ cultivarea de hibrizi rezistenți;
- ✓ efectuarea tratamentelor cu fungicide omologate.

**Rugina sorgului (*Puccinia purpurea*)**

Boala este răspândită în toate zonele în care se cultivă sorg, dar poate să producă epifiții în special în zonele cu temperaturi mai scăzute (10÷12 °C) și umede. Patogenul poate afecta cultura de sorg în toate stadiile de dezvoltare, primele simptome fiind vizibile de obicei pe frunzele bazale sub forma unor pustule de culoare purpurie, care conțin uredosporii ciupercii, și care se formează pe ambele părți ale frunzelor afectate (figura 9.17).



**Figura 9.17 - Rugina sorgului (*Puccinia purpurea*)**
*https://www.flickr.com/photos/scotnelson/29809264600*

Uredosporii sunt unicelulari, pediculați, de formă eliptică sau ovală, având un perete celular subțire, echinulat și de culoare brună. Dimensiunea acestora variază între 30÷42 x 22÷30 µm. Teliosporii se formează mai târziu, uneori în vechii uredosori sau in telisori, aceștia din urmă fiind mai alungiți și mai închiși la culoare decât uredosorii.

Pustulele de teliospori se pot forma și pe teaca frunzelor, precum și pe pedunculul inflorescenței. Teliosporii sunt bicelulari, de culoare brun-roșcată, alungiți spre elipsoidali, cu un apex rotunjit, au 25÷32 x 40÷60 µm și prezintă un singur por germinativ în fiecare celulă. Prin germinarea teliosporilor se produce un promiceliu și se formează bazidiosporii, care infectează gazda alternativa (*Oxalis corniculate*), pe care patogenul dezvolta celelalte categorii de spori, respectiv picnosporii și ecidiosporii.

Infecțiile se realizează prin intermediul uredosporilor care pot supraviețui o perioadă scurtă de timp ăn sol și pe resturile vegetale infectate. Perpetuarea patogenului este asigurată însă de gazda alternativa *Oxalis corniculate.*

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ eliminarea gazdei alternative *Oxalis corniculate*;
- ✓ efectuarea tratamentelor în vegetație cu fungicide omologate.

## 9.3. DĂUNĂTORII SORGULUI

**Păduchele verde al cerealelor - *Schizaphis graminum (Rond)***

Dăunătorul *Schizaphis graminum* atacă cu precădere cereale păioase, iarba de Sudan, sorgul, dar și numeroase graminee spontane. În condițiile țării noastre creează probleme în cultura de sorg în perioada mai-iunie. Adulții sunt mici, nu depășesc lungimea de 2 mm, corpul este oval sau globulos, existând forme aptere și forme aripate, iar culoarea lor variază de la verde-deschis la verde-gălbui (figura 9.18).



**Figura 9.18 - Păduchele verde al cerealelor – *Schizaphis graminum (Rond)***
*https://www.myfields.info/sites/default/files/wppm/ch7/Image_010.png*

Insectele prezintă o mare capacitate de înmulțire, în timpul unui an pot avea între 8 și 15 generații, durata unei generații fiind cuprinsă, în funcție de condițiile meteorologice, între 6 și 21 de zile. În România specia dezvoltă 21-23 generații, dar potențialul ei teoretic este de 50 de generații/ an.

Capacitatea mare de înmulțire a afidelor se realizează datorită unei particularități a ciclului lor biologic care le diferențiază de alte specii de insecte. Acestea iernează ca ou de rezistență. Primăvara apar femele nearipate (aptere), denumite fundatrix sau matcă, care dau naștere prin partenogeneză și viviparie femelelor aripate, numite fundatrigene. La rândul lor, femelele aripate prin partenogeneză vor da naștere femelelor nearipate, denumite și virginogene. Virginogenele aptere au corpul oval, de 1.5÷2 mm lungime, ochii roşii, de culoare verde deschis sau cu nuanțe gălbui. Antenele sunt închise la culoare, cu excepția articolelor bazale care sunt mai deschise, lungimea lor depășind cu puțin jumătatea lungimii corpului. Corniculele sunt evidente, de formă cilindrică și sunt deschise la culoare, cu excepția zonei distale. Coada este de formă conică, are aproximativ ½ sau ¾ din lungimea corniculelor.

Toamna, când temperatura scade, apare ultima generație de femele aripate, denumite sexupare. Virginogenele aripate au corpul de 1.2÷1.9 mm lungime, cu capul și toracele brun și abdomenul verde. Aripile sunt membranoase, dezvoltate, cu nervura mediană bifurcată. Antenele depășesc în general ¾ din lungimea corpului, iar articolul trei are 6÷7 senzori, răspândite pe toată lungimea sa. Corniculele sunt scurte, Acestea vor da naștere formelor sexuale, masculilor și femelelor care se vor împerechea și vor forma oul de rezistență, urmând ca primăvara viitoare ciclul biologic să fie reluat.

De obicei, păduchii (afidele) apar în cultura de sorg la 2÷3 săptămâni după răsărirea acestuia. Aceștia înțeapă frunzele și sug sucul celular. În acel loc, frunza se decolorează și ulterior se înroșește. Plantele atacate puternic se ofilesc și se uscă, mai ales dacă există și stresul hidric cauzat de secetă. Plantele care nu se usucă pot avea talie mai scăzută față de cele neatacate, paniculele rămân nedezvoltate, iar dacă formează boabe, acestea au germinație

redusă. Cu cât primăvara și vara sunt mai secetoase, cu atât pagubele pot fi mai mari. De obicei, atacul se manifestă în vetre.

***Metode de prevenire și combatere:***

- ✓ distrugerea samulastrei pentru împiedicarea dezvoltării coloniilor de vară;
- ✓ tratamentele chimice în vegetație cu insecticide sistemice aplicate după atingerea pragului economic de dăunare (în faza de 3-4 frunze, PED-ul este de 50 afide/plantă, iar în faza de 5-10 frunze, PED-ul este de 100-150 afide plantă).
- ✓ utilizarea de mijloace biologice de combatere, respectiv a insectelor prădătoare cum ar fi: *Chrysopidae*, *Coccinelidae* și *Syrphidae* și a insectelor parazite cum ar fi: *Lisiphlebus fabarum*, *Efedrus plagiator*, *Aphidius ervi* sau *Praon volucre*, care contribuie natural la menținerea populațiilor sub pragul economic de dăunare (PED).

**Viermele vestic al radacinilor de porumb (*Diabrotica virgifera virgifera*)**

Viermele vestic al rădăcinilor de porumb este o specie originara din America, iar in Europa a fost semnalata pentru prima data in 1992 si România în 1996 in județul Arad. În principal atacă porumbul, dar poate ataca și sorgul, precum și alte specii de plante cultivate din familiile *Gramineae, Compositae, Cucurbitaceae și Leguminosae*.

Adulții au corpul de culoare galbena spre verde si prezinta dimorfism sexual (femela se poate deosebi de mascul prin aspectul exterior). Masculul are lungimea de 4,4÷6,6 mm, culoarea corpului galben verzuie, elitrele în jumătatea posterioară de culoare neagră sau mai întunecată. Antenele sunt mai lungi decât corpul, cu articolele 2 şi 3 de dimensiuni egale. Femela are lungimea de 4,2÷6,8 mm, corpul de culoare galben verzuie, iar elitrele prezintă trei benzi longitudinale care se pot contopi. Antenele sunt mai scurte decât corpul reprezentând circa ¾ din lungimea acestuia, cu al treilea articol antenal mai subțire şi mai lung.

Larva este alungită, cilindrică, cutată, alb-gălbuie, cu capsula cefalică brună şi placa anală întunecată, iar talia variază în medie de la 1,5 mm în primul stadiu până la 8÷11 mm lungime la dezvoltarea completă. Pupa este de culoare albă, fiind de tip liber. Oul este de culoare galben deschis, oval, cu diametrul de 0,5 mm (figura 9.19).



**Figura 9.19 - Viermele vestic al radacinilor de porumb (*Diabrotica virgifera virgifera*)**
*https://www.botanistii.ro/blog/viermele-vestic-al-radacinilor-de-porumb-diabrotica-virgifera-virgifera-le-conte/*

Dăunătorul are o generație pe an, iernează în stadiul de ou în diapauză, care poate fi întâlnit de la jumătatea lunii iulie până la sfârșitul lunii iunie anul următor. Larvele se întâlnesc de la mijlocul lunii mai până la sfârșit de august. Pupele apar în perioada iunie–august, adulții în iunie fiind observați pe plante până la sfârșitul lunii septembrie, începutul lunii octombrie. Apariția maximă a adulților are loc în perioada înfloritului şi au o perioadă de viață de 50÷80 zile. Ouăle sunt depuse în sol până la adâncimea de 35 cm, cele mai multe fiind depuse în stratul de 15 cm de la suprafață.

Larvele apar la sfârșitul lunii mai și sfredelesc parenchimul cortical al rădăcinilor şi construiesc tunele în țesutul vascular central scăzând rezistența plantelor la vânt şi ploi. Plantele căzute, prin formarea rădăcinilor adventive îşi pot reface sistemul radicular, dar au tija curbată şi manifestă astfel simptomul de *„gât de lebădă"*. După

eclozare, larvele se pot deplasa pana la 0,5 m pentru a găsi rădăcini de porumb. Daca nu le găsesc, acestea mor.

Solul compact nu este favorabil larvelor, determinând moartea acestora în timp ce umiditatea solului permite supraviețuirea acestora. Aproape de maturitate, larvele se îndreaptă spre stratul superficial al solului şi se împupează.

Adulții perforează frunzele, iar apoi se hrănesc cu polen determinând o polenizare anormală care duce la diminuarea producției, dar în general daunele produse de adulți sunt de importantă secundară. După ce nu mai găsesc polen adulții zboară spre culturile semănate mai târziu sau pe alte plante gazda precum știrul (*Amaranhus retroflexus*) sau diferite specii de Cucurbitaceae.

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ evitarea monoculturii de porumb sau sorg, cu revenirea acestora pe aceeași sola la un interval de 4 ani;
- ✓ efectuarea unei arături adânci imediat după desființarea culturii de sorg expunându-se înghețului majoritatea ouălor depuse în sol;
- ✓ folosirea hibrizilor rezistenți la atacul larvelor;
- ✓ utilizarea capcanelor feromonale pentru detecția adulților şi pentru stabilirea densității populației, în vederea aplicării tratamentelor cu insecticide omologate atunci când se depășesc 10 adulți/plantă;
- ✓ aplicarea metodelor biologice de combatere, dăunătorul fiind parazitat de bacteria *Bacillus thurigiensis* şi ciuperci din genul *Beauveria*, eficace contra stadiilor de adult şi larvă;
- ✓ Alţi prădători naturali cunoscuţi sunt: *Argiope bruennichi* (Araneae: Araneidae), *Speira diademata* (Araneae: Araneidae), *Theridion impressum* (Araneae: Theriidae), *Pseudophomus rufipes* (Coleoptera: Carabidae). Dezvoltarea larvelor poate fi influenţată negativ şi de nematozii entomopatogeni *Steinerma carpocapsae*, *Heterorhabditis bactiophora*.

### Gândacul negru al porumbului *(Pentodon idiota)*

Gândacul negru al porumbului (*Pentodon idiota*) este semnalat în Romania în zona Câmpiei Române și sudul Moldovei, atacul manifestându-se în vetre.

Dăunătorul are o generație la trei ani și iernează ca larvă sau adult în stratul superficial al solului. Adulții apar la suprafața solului în aprilie-mai, având zbor crepuscular, greoi. Ei ataca plantele de sorg de la răsărit până în primele stadii de dezvoltare, atacul manifestându-se la zona coletului unde adultul produce cavități superficiale, provocând întreruperea circulației sevei în planta, iar în cazuri grave retează plantele.

Adultul are corpul robust şi convex, de 14÷22 mm, cu partea dorsală lucioasă, fără perișori şi de culoare neagră, uneori cu nuanțe maronii (figura 9.20). Clipeul este rotunjit şi prezintă pe marginea anterioară 2 dințișori mici obtuzi. Protoracele este puţin curbat ventral, şi acoperit cu o serie de peri fini. Fruntea prezintă un mic tubercul ascuțit, iar elitrele sunt netede, cu carene aplatizate şi punctuație fină, şi au câte o ridicătură proximală şi una distală.



**Figura 9.20 - Gândacul negru al porumbului *(Pentodon idiota)***
*https://www.botanistii.ro/blog/tratamente-informatii-plante-tehnice-sorg/*

Tibiile anterioare sunt adaptate pentru săpat, fiind prevăzute cu dinţi puternici. Larva are capul puternic chitinizat, iar corpul este de culoare albă cu nuanțe gălbui. Segmentul anal este rotunjit posterior

şi divizat prin 2 cute, iar în partea ventrală sunt dispuse neregulat o serie de apendice setiforme, încovoiate distal.

Larvele nu sunt periculoase pentru cultura de sorg.

***Măsuri de prevenire şi combatere:***

- ✓ arătura adâncă de toamnă;
- ✓ cultivarea hibrizilor rezistenţi;
- ✓ efectuarea tratamentelor cu insecticide omologate.

**Rățișoara porumbului (*Tanymecus dilaticollis*)**

*Tanymecus dilaticollis* este un dăunător polifag, atacând porumbul, floarea- soarelui, sfeclă de zahăr, sorgul, soia, lucernă, grâu, orz. Este o specie asemănătoare cu *Tanymecus palliatus* (rățișoara sfeclei), însă este puțin mai mică, de 6,5÷8,0 mm lungime.

Adulții apar la sfârșitul lunii martie, când temperaturile depășesc 9 °C. Adultul au corpul oval alungit, de culoare brun-cenușiu, mai deschisă ventral, 5,5÷8 mm lungime, prezintă un cioc evident denumit rostru, care este mai lung decât capul. Pronotul este mai lat decât lung, cu marginile laterale dilatate postmedian. Elitrele sunt cafeniu-deschise, adesea cu dungi longitudinale mai deschise sau mai închise, iar solzii și perișorii acestora sunt ca niște dungi dispuse longitudinal. Aripile posterioare sunt reduse, ceea ce determină o capacitate redusă de a zbura (figura 9.21).



**Figura 9.21 - Rățișoara porumbului (*Tanymecus dilaticollis*)**
*https://www.agrimedia.ro/articole/daunatorul-tanymecus-dilaticollis-in-dezbaterea-fermierilor*

Oul are 1/0,5 mm, cilindric, rotunjit la capete, inițial de culoare alb-gălbui, apoi se închide la culoare și devine negru. Larva este apodă, la maturitate ajunge la 8÷9 mm, de culoare alb strălucitoare și prezintă o pubescență gălbuie. Pupa are culoare albă, 5÷9 mm lungime.

Dăunătorul prezintă o singură generație pe an și iernează ca adult în sol, în lojele nimfale, la adâncimea de 40÷60 cm. Primăvara ies din loje nimfale, inițial se stabilizează în straturile superficiale ale solului (jumătatea lunii martie-prima jumătate a lunii aprilie), apoi pe măsură ce timpul se încălzește apar pe plante şi devin foarte activi în timpul orelor însorite şi calde.

Depunerea ouălor începe în a doua decadă a lunii aprilie. Stadiul de larvă este prezent în natură din prima jumătate a lunii mai până la sfârșitul lunii august. Acestea se hrănesc cu perișorii absorbanți şi ultimele ramificații ale rădăcinilor plantelor gazdă. Împuparea are loc în sol, începe a doua jumătate a lunii iulie şi se încheie la sfârșitul lunii august.

Adulții rod frunzele încă din faza de răsărire. În faza inițială de 2-3 frunze, adultul retează plantele de la colet, provocând distrugerea în masă a culturii. Datorită atacului de la baza plantei, frunzele surprinse în faza de cornet, prezintă ulterior perforări circulare, dispuse transversal pe limb. Plantele atacate în timpul răsăritului, până în faza de 2-3 frunze, pot fi roase în zona coletului și se impune întoarcerea culturii și reînsămânțarea.

Într-o fază mai înaintată de dezvoltare a plantelor, insecta atacă numai limbul foliar pe părțile laterale. În această fază plantele se refac, înregistrându-se o întârziere în vegetație ce determină o reducere a producției. Plantele trecute de 4-5 frunze, nu mai constituie sursa de hrană pentru dăunător și trece pe alte plante spontane, preferând de obicei pălămida.

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ rotația culturilor şi evitarea monoculturii;
- ✓ stabilirea corectă a perioadei semănatului;
- ✓ asigurarea unor condiții care favorizează răsărirea rapidă;
- ✓ stabilirea unei densități corespunzătoare a plantelor;

- ✓ efectuarea tratamentelor în vegetație cu insecticide omologate;
- ✓ metode biologice: utilizarea patogenului *Beauveria bassiana*.

**Viermii sârmă *(Agriotes spp.)***

Viermii sârmă sau gândacii pocnitori sunt dăunatori polifagi, ce se întâlnesc in aproape toate regiunile globului. În România cele mai frecvente speciile sunt *Agriotes ustulatus* Schall, *Agriotes obscurus* şi *Agriotes lineatus*.

Adulții prezintă corp alungit, îngustat posterior, de 7÷11 mm lungime si culoare brun-roșcată pana la negricioasa. Elitrele sunt pubescente și prezintă striuri longitudinale (figura 9.22). Caracteristic insectelor din familia *Elateridae* este prezenta dispozitivului de sărit. Ajunse într-o poziție nefavorabila, insectele se folosesc de acest dispozitiv pentru a executa un salt energic și a reveni la poziția inițială. De aici vine denumirea de "*gândaci pocnitori*".



**Figura 9.22 - Viermii sârmă *(Agriotes spp.)***
*https://www.botanistii.ro/blog/viermi-sarma-agriotes-sp/*

Ouăle sunt mici, de 0,5 mm, ovale, deschise la culoare. Larvele, denumite popular "*viermi sârma*", au corpul alungit, acoperit de un tegument puternic chitinizat, de culoare galbena-castanie. La dezvoltarea completa, corpul are 18÷25 mm. Prezinta mandibule bine dezvoltate.

Dăunătorul dezvolta o generație la 4÷5 ani și iernează în sol ca larvă de diferite vârste sau ca adult. Adulții hibernanți apar primăvara, în prima jumătate a lunii mai și au zborul nocturn. Ponta este depusă în mai-iunie, izolat sau în grupuri, la adâncimea de 1÷5 cm în sol. O femela poate depune până la 200 de ouă.

Atât adulții cât și larvele sunt sensibili la căldură. Activitatea lor se manifesta dimineața și seara la temperaturi cuprinse între 17÷25°C. În cursul perioadei de vegetație, în lunile aprilie-mai și septembrie-octombrie, larvele se mențin în stratul arabil. Toamna, când temperatura solului scade sub 9 °C, se retrag la 60 cm adâncime, pentru hibernare. Dezvoltarea larvelor durează 3-4 ani, timp în care acestea executa mișcări pe verticală și orizontală, în funcţie de umiditate, temperatură și hrană.

Adulții au un regim de hrana mixt însă daunele produse de aceștia sunt nesemnificative. Larvele, în schimb, sunt extrem de vătămătoare, hrănindu-se cu părțile subterane ale plantelor, cu boabele în curs de germinare, embrionul sau rădăcinile abia formate. Ca urmare plantele au un aspect ofilit, iar dacă sunt smulse din pământ, se constată că tulpina este perforată deoarece larvele atacă în regiunea coletului și a rădăcinilor. O singură larvă aflată în ultimele stadii de dezvoltare poate distruge într-un an 10÷12 plante, iar în anii de invazie, la o densitate de până la 50÷60 larve/m$^2$, pagubele devin considerabile.

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ efectuarea arăturilor de vară și de toamnă imediat după recoltarea culturilor;
- ✓ lucrarea solului prin praşile repetate pentru reducerea rezervei biologice a dăunătorului prin expunerea larvelor la intemperii și la atacul prădătorilor naturali;
- ✓ respectarea adâncimii optime de semănat;
- ✓ rotația culturilor și însămânțarea pe terenurile infestate a unor specii care sunt mai puțin atacate de larve.
- ✓ tratarea semințelor cu insecticide omologate.

- **Sfredelitorul porumbului (*Ostrinia nubilalis*)**

*Ostrinia nubilalis* este o specie polifagă, care poate ataca diferite specii de plante: porumb, sorg, cânepă, sorg, floarea-soarelui, tomate, cartof, sfeclă, mei, grâu, plante spontane (urzici, lobodă, știr). Adulții au lungimea corpului de 13-15 mm şi anvergura aripilor de 25 - 30 mm (figura 9.23).

Specia prezintă dimorfism sexual. Femela este mai mare, abdomenul este rotunjit terminal, de culoare galben deschis. Aripile anterioare sunt gălbui deschis cu trei dungi transversale, dispuse în zig-zag. Aripile posterioare sunt uniform colorate, galben-cenușiu și au în zona centrală o dungă de culoare mai deschisă. Masculul este mai mic decât femela, de culoarea mai închisă cu nuanțe maronii. Aripile posterioare sunt galben-deschis şi au în zona centrală o dungă mai închisă la culoare.



**Figura 9.23 - Sfredelitorul porumbului (*Ostrinia nubilalis*)**
*https://biochemtech.eu/ro/products/ostrinia-nubilalis*

Ouăle au culoarea alb-sidefiu, turtite, grupate în ponte. Larvele la completa dezvoltare au 15÷25 mm lungime, de culoare alb cenușie, pe partea dorsală prezintă o dungă mai închisă la culoare. Capsula cefalică este puternic chitinizată.

Pupa de culoare brună, cu 4 spini ușor curbați în zona terminală a abdomenului, lungimea este de 1,2÷2 cm. După eclozare, larvele se hrănesc cu paniculul plantei, apoi pătrund în interiorul tulpinii și consumă măduva. Orificiile de hrănire au aproximativ 2 mm și în dreptul lor se observă rumeguș fin alb-brun. Larvele în stadiile III și IV produc cele mai însemnate pagube deoarece sapă galerii în tulpină și

panicul. Tulpinile atacate se frâng fapt ce împiedică recoltarea mecanizată a culturilor.

În zona de sud și centrală a țării dăunătorul prezintă 2 generații pe an, iar în regiunile nordice sau situate la altitudine are o singură generație pe an. În primăvară are loc împuparea, fluturii apar în ultima decadă a lunii mai. Adulții au o viață nocturnă şi pot trăi 4÷12 zile în funcție de condițiile meteo. În timpul zilei se pot observa pe partea inferioară a frunzelor.

După copulație are loc depunerea pontei, pe partea inferioară a frunzelor (20÷35 ouă lipite cu o substanță aglutinată). Incubația durează 8÷12 zile, apoi larvele se transformă în pupe în interiorul plantei. După 10 zile apar adulții și are loc împerecherea şi depunerea pontei după 3÷4 zile.

Ciclul biologic al generației a doua se realizează într-o perioadă mai scurtă datorită regimului termic ridicat. La sfârșitul lunii iulie și începutul lunii august larvele ajung la completa dezvoltare, apoi intră în diapauza estivală şi cea hiemală. Dinamica populațiilor este puternic influențată de factorii climatici.

***Măsuri de prevenire și combatere:***

- ✓ efectuarea arăturilor de toamnă;
- ✓ evitarea monoculturii;
- ✓ folosirea de hibrizi rezistenți;
- ✓ combaterea buruienilor pentru limitarea cercului de plante gazdă;
- ✓ distrugerea resturilor vegetale, după recoltare;
- ✓ când 50 % din plante prezinta perforații, se efectuează tratamente cu insecticide omologate;
- ✓ aplicarea de metode biologice: aplicarea insecticidelor biologice cu *Bacillus thurinigiensis* în loturile semincere;
- ✓ lansarea entomofagului parazit al ouălor *Trichogramma maydis* (100.000 exemplare/ha).

## BIBLIOGRAFIE


1. **Antohe, I.,** 2007. *Realizari in ameliorarea sorgului la Fundulea.* AN. I.N.C.D.A. FUNDULEA, VOL. LXXV. p. 137-157.
2. **Bărbulescu, A.**,1972. *Cercetări biologice ecologice şi de combatere a păduchelui verde al cerealelor (Schizaphis graminum Rond.) pe sorg.* Teză de doctorat, IANB, Bucureşti.
3. **Bărbulescu, A.,** 1985. *Aspecte privind combaterea păduchelui verde al cerealelor Schizaphis graminum la sorg prin tratamentul chimic al seminţei.* Probleme de protecţia plantelor, XIII, 2, p. 157-171.
4. **Bărbulescu, A., Popov, C., Mateiaş, M. C.**, 2002. *Bolile şi dăunătorii culturilor de câmp.* Edit. Ceres, Bucureşti, p. 279.
5. **Burkholder, W.H.** 1957. *A bacterial disease of clover and velvet beans.* Phytopathology 47, p. 48-50.
6. **Carlson, M. L., și Wicks, Z. W., III.** 1991. *Relationship between leaf freckles and wilt severity and yield losses in closely related maize hybrids.* Phytopathology 81, p.95-98.
7. **Caruso, F.L.** 1984. *Bacterial blight of chickpea incited by Pseudomonas andropogonis.* Plant Disease, 68, p. 910-913.
8. **Chunshan, G., Wei, C., Xue, F., Jianzhou, Z., Guihua, L.,** 2011. *Sorghum Insect Problems and Management.* Article first published online: 22 FEB 2011.DOI: 10.1111/j.1744-7909.2010.01019.x. Journal of Integrative Plant Biology, Volume 53, Issue 3, pages 178–192, March 2011.
9. **Claflin, L. E., Bockelman, D. L., Shahin, E. A., Walter, T. L.** 1978. *The effect of Corynebacterium nebraskense on corn yields.* (Abstract) NC-5 Phytopathology 12, p. 86.
10. **Claflin, L.E., Ramundo, B.A., Leach, J.E., Qhobela, M.,** 1992. *Bacterial Diseases of Sorghum. In: Sorghum and millets diseases: a second world review*, de Milliano, W.A.J., Frederiksen, R.A., Bengston, G.D. (eds,)., India, 1992., International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. ISBN 92-9666-201-8, p.135-151.
11. **Cojocaru, D.,** 1994. *Posibilităţi de combatere a afidelor dăunătoare sorgului pentru boabe.* Bul. Soc. Naţ. Prot. Plant. Cluj Napoca, nr.12, p. 86-92.

12. **Drăghici I.,** 2009. *Grain sorghum, corn alternative culture under heat stress and specific hydric sandy soils.* "Environment and agriculture in arid regions", first edition, Estfolia House, Bucharest, 2009, ISBN: 978-973-7681-68-3
13. **Drăghici,I., Drăghici,R.,** 2015. *Assessing the damage caused by aphids at grain sorghum crop under psamosoils in southern Oltenia*. Romanian Journal for Plant Protection 2015 Vol. 8 pp. 102-106 ref.8, ISSN 2248-129X
14. **Drăghici, I., Drăghici, R., Croitoru, M.,** 2014. *Researches on the effect of phytosanitary treatments to grain sorghum in sandy soil conditions* (usamv.ro). Scientific Papers. Series A. Agronomy, Vol. LVII, 2014, ISSN 2285-5785; ISSN CD-ROM 2285-5793; ISSN Online 2285-5807; ISSN-L 2285-5785, p. 163-167.
15. **Edmunds, L.K., Futrell, M.C., Frederiksen, R.A.** 1970. *Sorghum diseases.* Pages 200-234 in Sorghum production and utilization (Wall, J.S. and Ross, W. M., eds.). Westport, CT, USA: AVI Publishing Company, Inc.
16. **Edmunds, L.K., and Zummo, N.** 1975. *Sorghum diseases in the United States and their control.* USDA Handbook No. 468. Washington, D. C, USA: U.S. Government Publishing Office.
17. **Frederiksen, R.A., Rosenow, D.T.,** 1971. *Disease resistance in sorghum.* Pages 71-62 in Proceedings of the 26th Annual Corn and Sorghum Research Conference. Washington, D. C., USA: American Seed Trade Association.
18. **Frederiksen, R.A.,** 1984. *Anthracnose stalk rot*. Pages 37-42 in Sorghum root and stalk rots, a critical review: proceedings of the Consultative Group Discussion on Research Needs and Strategies for Control of Sorghum Root and Stalk Rot Diseases, 27 Nov-2 Dec 1983, Bellagio, Italy. Patancheru, A.P. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.
19. **Frowd, J.A.** 1980. *A world review of sorghum smuts*. Pages 331-338 in Sorghum diseases, a world review: proceedings of the International Workshop on Sorghum Diseases, 11-15 Dec 1978, ICRISAT, Hyderabad India. Patancheru, Andhra Pradesh 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

20. **Gitaitis, R.D., Miller, J., and Wells, H.D.** 1983. *Bacterial leaf spot of white clover in Georgia*. Plant Disease 67, p. 913-914.
21. **Harris, H.B., and Sowell, G., Jr.** 1970. *Incidence of Colletotrichum graminicola on Sorghum bicolor introductions*. Plant Disease Reporter 54, p. 60-62.
22. **Hernandez, M.M., Mendoza, O.L.E., and Osada, K.S.** 1987a. *Inoculation de sorgo en antesis con Fusarium moniliforme (Sheld)*. S. & H. mediante palillo y jeringa en pedunculo y tercer entrenudo basal. Revista Mexicana de Fitopatologia (SC1), p. 27-31.
23. **Hayward, A.C.** 1972. *A bacterial disease of clover in Hawaii*. Plant Disease Reporter 56, p. 446-450.
24. **Hayward, A.C., Waterston, J.M.** 1965. *Pseudomonas syringae. Descriptions of pathogenic fungi and bacteria*, No. 46. Kew, Surrey, UK: Commonwealth Mycological Institute.
25. **Hollier, C. A., Singh, R. A., and Frazier, R.** 2013. *Goss's wilt in Louisiana: Incidence, severity and loss*. Phytopathology 104(Suppl. 2), S2.5.
26. **Korus, K. A., Timmerman, A. D., French-Monar, R. D., and Jackson, T. A.** 2011. *First report of Goss's bacterial wilt and leaf blight (Clavibacter michiganense subsp. nebraskensis) of corn in Texas*. Plant Dis. 95, p. 73.
27. **Loebenstein, G., Thottappilly, G.,** 2003. *Virus and Virus-like Diseases of Major Crops in Developing Countries*—Springer.ISBN 978-94-010-3729-7. S2CID 5921160.
28. **Malvick, D., Syverson, R., Mollov, D., and Ishimaru, C. A.** 2010. *Goss's bacterial blight and wilt of corn caused by Clavibacter Michiganensis subsp. nebraskensis occurs in Minnesota*. Plant Dis.94 (8), p. 1064.
29. **Meckenstock, D.H.,Wall, G.C.** 1987. *Enfermedades de sorgo en the Honduras; su importancia y estrategias para su control*. In Memoria del taller sobre Los maicillos criollos y otros sorgos en Meso-America: produccion, utilizacion y mejoramiento, 7-11 Dec 1987, Tegucigalpa, the Hondoras, Secretaria de Recursos Naturales, Tegucigalpa, the Honduras: SRN-INTSORMIL-ICRISAT/CLAIS-AID/H.

30. **Moffett, M.L., Hayward, A.C., Fahy, P.C.,** 1986. *Five new hosts of Pseudomonas andropogonis occurring in Eastern Australia: host range and characterization of isolates.* Plant Pathology 35, p. 34-43.

31. **Pande, S. și Karunakar, R.I.,** 1992. *Stalk Rots. In: In: Sorghum and millets diseases: a second world review*, de Milliano, W.A.J., Frederiksen, R.A., and Bengston, G.D. (eds,)., India, 1992., International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. ISBN 92-9666-201-8, p. 219-234.

32. **Porter, R.H.** 1962. *A preliminary report of surveys of plant diseases in East Asia.* Plant Disease Reporter 46, p.58-166. (Supplement).

33. **Pastor-Corrales, M.A., and Frederiksen, R.A.** 1980. *Sorghum anthracnose. Pages 289-294 in Sorghum diseases, a world review*: proceedings of the International Workshop on Sorghum Diseases, 11-15 Dec 1978, Hyderabad, India. Patancheru, A.P. 502 324, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics.

34. **Pawar, P. S., Garud, T. B., Mali, V. R., Choudhari, S. D.,** 1990. *Effect of sorghum red stripe virus (SRSV) on leaf chlorophyll and sugar content of stalk juice in different genotypes of sorghum.* Indian Phytopathology, vol.43 (3), p. 345-348.

35. **Powell, P., Ellis, M., Alameda, M., Sotomayor, A.** 1977. *Effect of natural anthracnose epiphytotic on yield, grain quality, seed health, and seed-borne fungi in Sorghum bicolor.* Sorghum Newsletter, 20, p. 77-78.

36. **Rajan Sharma, H D Upadhyaya, S V Manjunatha, V P Rao, R P Thakur,** 2012. *Resistance to Foliar Diseases in a Mini-Core Collection of Sorghum Germplasm.* Plant Dis. 96(11), p. 1629-1633.

37. **Rothwell, A., și Hayward, A.C.,** 1964. *A bacterial disease of bougainvillea.* Rhodesian Journal of Agricultural Research 2, p. 97-99.

38. **Sundaram, M.V., Palmer, L.T., Nagarajan, K., Prescott, J.M.,** 1972. *Disease survey of sorghum and millets in India.* Plant Disease Reporter, 56, p. 740-743.

39. **Suparyono și Pataky, J. K.** 1989. *Influence of host resistance and growth stage at the time of inoculation on Stewart's wilt and Goss's wilt development and sweet corn hybrid yield*. Plant Dis. 73, p. 339-345.

40. **Tarr, S.A.J.** 1962. *Diseases of sorghum, Sudan grass, and broom corn*. Kew, Surrey, UK: Commonwealth Mycological Institute, p. 380.

41. **Toler, R.W.,** 1977. *A decade of research on viruses in sorghum*. Pages 54-55 in: Proc. Biannu. Grain Sorghum Res. Util. Conf.10th.

42. **Toler, R.W.,** 1979. *Viruses and viral diseases of sorghum.* Pages 395-408 in: Sorghum Diseases: A World Review, R.J.Williams, R.A. Frederiksen and L.K. Mughogho, eds. ICRISAT, Adhara Pradesh, India.

43. **Vidaver, A. K., Mandel, M.** 1974. *Corynebacterium nebraskense, a new, orange pigmented phytopathogenic species.* International Journal of Systemic Bacteriology 24, p. 482-485.

44. **Vidaver, A.K., Carlson, R.R.,** 1978. *Leaf spot of field corn caused by Pseudomonas andropogonis*. Plant Disease Reporter 62, p. 213-216.

45. **Warren, H.L.,** 1977. *Survival of Colletotrichum graminicola in corn kernels*. Phytopathology, 67, p. 160-162.

46. **Warren, H.L., Nicholson R.L.,** 1975. *Kernel infection, seedling blight, and wilt of maize caused by Colletotrichum graminicola*. Phytopathology 65, p. 620-623.

# CAPITOLUL X
# VALORIFICAREA SORGULUI ZAHARAT

## 10.1. PROCESAREA PRIMARĂ ȘI VALORIFICAREA SUB FORMĂ DE SUC

Culturile de sorg pentru boabe, sorg zaharat, sorg tehnic, iarbă de Sudan şi hibrizii de sorg se adaptează bine la secetă şi temperaturi înalte, suportă solurile salinizate, au bune capacităţi furajere, o utilizare largă în scopuri alimentare şi mare perspectivă ca sursă energetică (*Oprescu R. et al., 2018*). În plus, sorgul zaharat este o cultură cu o eficienţă fotosintetică ridicată. Astfel, dezvoltarea sorgului zaharat va juca un rol important în promovarea dezvoltării producţiei agricole. Cu siguranţă culturile de sorg corespund acestor cerinţe stricte, deoarece comparativ cu alte culturi agricole, pentru formarea unui kg de masă uscată sorgul utilizează cu mult mai puţină umiditate, respectiv 271 l, în timp ce lucerna necesită 850 l, ovăzul 635 l, grâul 505 l, sfecla de zahăr 475 l, iar porumbul 372 l. *(Caba I. et al, 2018).*

Prin urmare, sorgul dulce își poate extinde capacitatea de producție, oferind industriilor existente pe bază de zahăr și pe bază de biocarburanți o recoltă flexibilă, cu costuri reduse. În plus, sorgul zaharat poate fi folosit ca recoltă alternativă în zonele în care cultivarea trestiei de zahăr nu dă randament *(Barcelos C. et al, 2016).*

Printre produsele derivate din sorgul zaharat pot fi enumerate cerealele de sorg care sunt folosite pentru pâine, chipsuri, terci. Sorgul este de asemenea exploatat pe scară largă în obținerea unor produse extrudate, produse pentru sănătate și alimente suplimentare. Acest fapt este potrivit pentru pacienții celiaci, deoarece este o plantă fără gluten, cu un conținut mare de fibre. Sorgul zaharat are o cantitate mai mare de carbohidrați nestructurali decât furajele. Datorită asemănării dintre compoziția chimică a bobului de sorg cu cel de porumb, cerealele de sorg pot fi folosite ca hrană pentru animale în locul porumbului. Folosirea sorgului ca o sursă de hrană, alimente sănătoase și bioenergie face din această plantă o promițătoare resursă durabilă și regenerabilă *(Dar R. et al, 2018).*

În tulpinile de sorg zaharat există până la 20% zahăr şi având în vedere acest indice ridicat, sorgul zaharat este folosit în principal pentru obţinerea siropurilor şi chiar a zahărului, prin presarea tulpinilor, *(Caba I. et al, 2018).*

Spre deosebire de alte plante, sorgul se comportă bine atunci când este înghețat și readus apoi la starea inițială, fără a-și pierde textura, respective gustul pentru produsele obţînute din acesta *(Caba I. et al, 2018).*

*10.1.1. Valorificarea sorgului zaharat pentru obținerea sucului*

Una din metodele de valorificare a sorgului zaharat este procesarea sucului obţinut din presarea tulpinilor, prin diverse tehnologii în vederea obţinerii alcolului, care apoi poate fi transformat în etanol, bioetanol, etc.

Pulpa sau restul deșeurilor rămase după extragerea sucului din tulpini dulci de sorg reprezintă *bagasa*. Compoziția bagasei de sorg dulce este prezentată în figura 10.1. Conține 35-50 % celuloză, 20-30 % hemiceluloză și 15-25 % lignină. În conformitate cu Asociația Sweet Sorghum Ethanol, bagasa de sorg zaharat conține 32,3 % celuloză, 21,2 % hemiceluloză și 8,3 % lignină. Diferența de compoziție este atribuită diferenței dintre tipul de soi, tipul de sol și factorii de mediu *(Dar R. et al, 2018).*

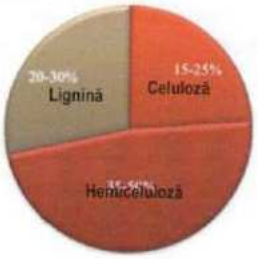



**Figura 10.1 - Compoziția chimică a bagasei de sorg *(Dar R. şi colab., 2018)***

*10.1.2. Prelucrarea tulpinii*

În 1946 s-a realizat o variantă îmbunătăţită a presei de stoarcere. Cele două valțuri confecţionate din lemn de salcâm au dimensiuni mai mari comparativ cu versiunea mai veche. Acţionarea se face manual, iar rotirea sincronizată prin angrenaje de roţi din roţi

dinţate. Datorită creşterii în diametru a valţurilor, efortul depus la manivelă de către operator, se menţinea foarte ridicat. Un an mai târziu construieşte o presă de extragere a sucului din sorg, cu îmbunătăţiri substanţiale faţa de modelele anterioare.

Pentru uniformizarea mişcării şi a îmbunătăţirii condiţiilor de lucru ale motorului de acţionare, sistemul de stoarcere era prevăzut cu un volant. Pe arborele motorului era instalată o roată de curea care transmitea mişcarea la dispozitivul de stoarcere. Acţionarea valţurilor se realizează printr-o transmisie cu o curea lată. Volantul era construit din însăşi roata de curea lată, mare şi grea montată pe un arbore intermediar al dispozitivului de stoarcere. La capătul opus volantului, arborele intermediar era prevăzut cu un angrenaj de roţi dinţate, care transmitea mişcarea la unul din valţuri, acesta antrenându-l pe cel de al doilea tot prin roţi dinţate (figura 10.2).

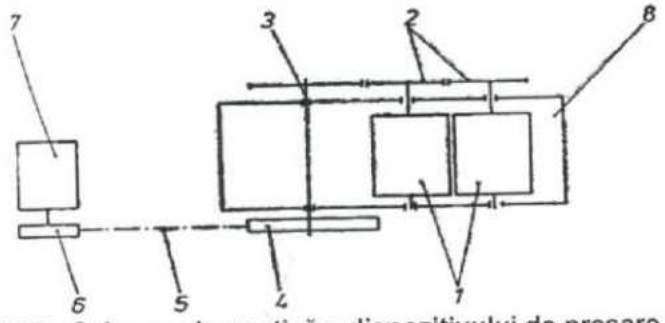



**Figura 10.2 - Schema cinematică a dispozitivului de presare acţionat cu motor Sendling *(Vlăduţ V. et al., 2012)***

Părţile componente ale schemei cinematice a dispozitivului de presare acţionat cu motor Sendling sunt următoarele: 1 - valţuri de stoarcere; 2- roţi dinţate de sincronizare a rotirii valţurilor; 3 - arbore intermediar cu pinion de antrenare a valţurilor; 4 - volant; 5 - curea lată de acţionare; 6 - roată de curea; 7 - motor termic de acţionare tip Sendling; 8 - scheletul presei de stors.

Deşi instalaţia respectivă nu făcea faţă unei exploatări industriale, a constituit o bună posibilitate de studiu şi orientare a concepţiei de realizare a unei instalaţii moderne, care să se apropie cât mai mult de necesităţile unei producţii mari de suc din sorg zaharat, destinat industriei alimentare şi industriei chimice. Micii fermieri utilizează şi

astăzi pentru obţinerea sucului prese de capacităţi mici, acţionate de un motor diesel sau de cai, presarea realizându-se direct în câmp (figura 10.3), la fermă (figura 10.4) sau direct în casă (figura 10.5).



a) Alimentare presă b) ) Evacuare tulpini c) Colectare suc

**Figura 10.3 - Presă pentru obţinerea sucului din tulpinile de sorg zaharat direct în câmp**

*(http://alarmclockwars.blogspot.com/2010/11/farm-equipment-fridays-pressing-sweet.html)*



a) Vedere în ansamblu b) Vedere alimentare cu tulpini

**Figura 10.4 - Presă acţionată de un cal pentru obţinerea sucului din tulpinile de sorg zaharat**

*(http://alarmclockwars.blogspot.com/2010/11/farm-equipment-fridays-pressing-sweet.html)*



**Figura 10.5 - Minipresă pentru obţinerea sucului din tulpinile de sorg zaharat în casă**

*(http://doctorschar.com/features/sweet-sorghum-sorghum-bicolor)*

*10.1.3. Obţinerea sucului crud de sorg zaharat în sistem industrial*

Cantităţile mari de tulpini de sorg zaharat ce se obţin în cadrul unei culturi extinse pe suprafeţe mari, nu mai pot fi prelucrate cu metodele artizanale utilizate în cadrul cultivării sorgului în gospodăriile populaţiei sau a unor suprafeţe restrânse. S-a constatat că producţia

mare de sorg înseamnă o foarte mare cantitate de masă verde de sorg (80÷100 t/ha), care trebuie prelucrată şi manevrată atât înainte, cât şi după stoarcere.

O asemenea instalaţie alcătuită din utilaje de stoarcere şi echipamentele anexe fac obiectul unei staţii de extragere a sucului, capabilă a-l furniza într-un ritm constant unor beneficiari din industria alimentară sau chimică. Aceasta trebuie să fie alimentată ritmic cu masă verde recoltată de pe suprafeţe agricole amplasate la distanţe apropiate. Trebuie avut în vedere însă, că în cadrul staţiei se produc mari cantităţi de masă verde stoarsă, care la rândul ei trebuie evacuată pentru a nu produce blocarea utilajului de stoarcere şi implicit a întregii staţii.

În figura 10.6 este reprezentată schema tehnologică de principiu a unei staţii de obţinere a sucului din sorg zaharat cu următoarea componenţă: 1 - sistem de recepţia tulpinilor; 2 - buncărul de alimentare a utilajului de stors; 3 - utilajul de stors tulpini de sorg zaharat; 4 - transportor de evacuare; 5 - platforma de stocare pentru masă verde stoarsă.

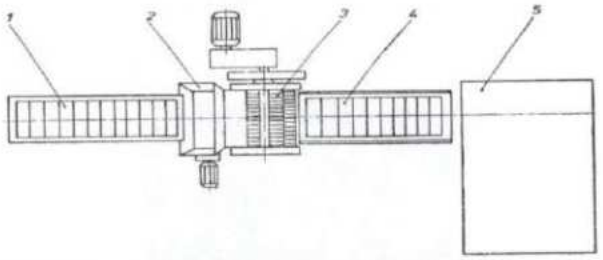



**Fig. 10.6 - Schema tehnologică de principiu a staţiei de obţinere a sucului din sorgul zaharat *(Vlăduţ V. et al., 2012)***

Datele principale care au stat la baza lucrărilor de proiectare a utilajului de stors suc din sorg zaharat se referă la capacitatea de producţie preconizată a fi 5÷6 tone masă verde pe oră şi la unele proprietăţi ale tulpinilor de sorg zaharat cum sunt: structura sa morfologică şi comportamentul în timpul presării.

În figura 10.7 este reprezentat schematic modul în care are loc drenajul sucului de sorg în timpul trecerii masei verzi printre valţuri

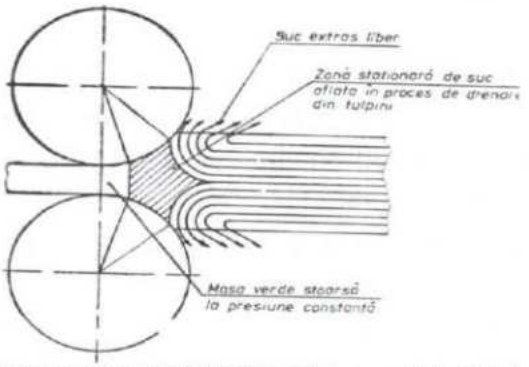



**Figura 10.7 - Schema procesului de drenaj a sucului *(Vlăduț V. et al., 2012)***

Se remarcă faptul că extracția masivă de suc din masa de tulpini tocate are loc înaintea pătrunderii acestora între valțuri. Fluxul de suc extras din tulpini opune o rezistență suplimentară față de cea necesitată de comprimarea lor între valțuri.

Utilajul este conceput ca un sistem de trei valțuri poziționate orizontal în cadrul unui schelet metalic (figura 10.8), având urmatoarea componență: 1 - valț superior; 2 - valț inferior de intrare; 3 - valț inferior evacuare; 4 - piesă de conducere A - pasajul I de prestoarcere; B - pasajul II de stoarcere.

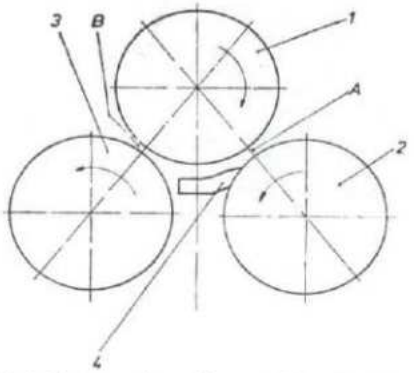



**Figura 10.8 - Principiul de construcție a utilajului de extras suc din sorg zaharat *(Vlăduț V. și colab., 2012)***

În scopul îmbunătățirii efectului extracției de suc, a fost dezvoltat un nou utilaj cu canelare circulară, dotat cu un subansamblu de zdrobire a bucăților de tulpini de sorg. El este format din două valțuri de dimensiuni mai mici montate într-un schelet propriu, amplasat la un nivel mai ridicat decât intrarea în primul pasaj al utilajului propriu-zis,

pasajul de prestoarcere. Cele două valțuri ale dispozitivului de zdrobire sunt prevăzute la rândul lor cu caneluri circulare care se întrepătrund de asemenea. În scopul îmbunătăţirii aderenţei acestor valțuri zdrobitoare faţă de masa verde de tulpini de sorg, peste canelurile circulare ale valțurilor mai sunt practicate nişte canelări elicoidale de mică adâncime care în timpul funcţionării exercită o acţiune de tragere a masei verzi şi conducere a ei prin canalul de alimentare al primului pasaj de la utilajul de stoarcere. Structura de principiu a utilajului nou este reprezentată în figura 10.9. cu următoarea componență: 1 - buncăr de alimentare cu masă verde; 2 - zdrobitorul cu două valțuri canelate; 3 - canalul de alimentare cu masă verde al utilajului de stors; 4 - utilajul de stors cu trei valțuri; 5 - bazinul colector de suc; 6 - transportul de evacuare pentru masa verde stoarsă.

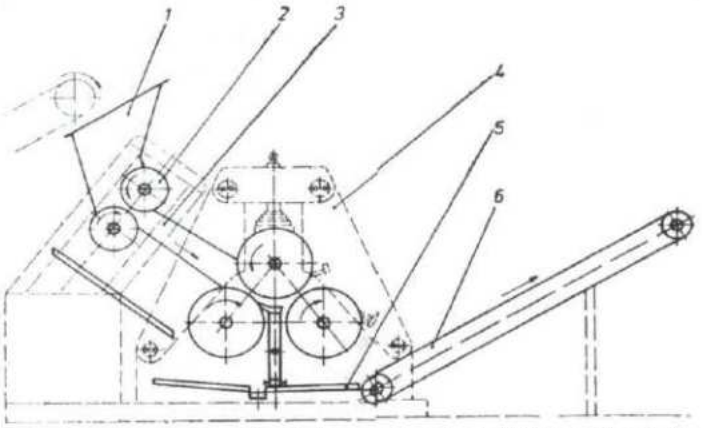



**Fig. 10.9 - Structura de principiu a utilajului *(Vlăduț V. et al., 2012)***

Sucul extras din cele două pasaje este colectat în bazinul de la partea inferioară a valţului. Datorită capacităţii mici a acestui bazin de colectare, sucul necesită o transvazare continuă într-un rezervor tampon de capacitate ridicată, de unde să fie încărcat în mijloace de transport, auto, feroviare sau fluviale, după caz, pentru a fi transportat eficient la unitatea de industrializare. Utilajul permite efectuarea stoarcerii tulpinilor de sorg defoliate, decapitate de panicul sau nedefoliate, funcţie de destinaţia şi calităţile impuse sucului. Un utilaj pentru extragerea sucului din sorg zaharat - *presă cu valțuri* (figura 10.10) a fost realizat la Institutul de Tehnică Agricolă „Mecagro" din

Republica Moldova, urmărindu-se creşterea gradului de extragere a sucului din tulpini prin trecerea lor repetată prin pasajele de stoarcere. Acest lucru s-a realizat prin utilizarea unui bloc intermediar cu două pasaje de stoarcere, calculându-se jocurile pasajelor de stoarcere în vederea asigurării unei productivităţi maxime a presei.

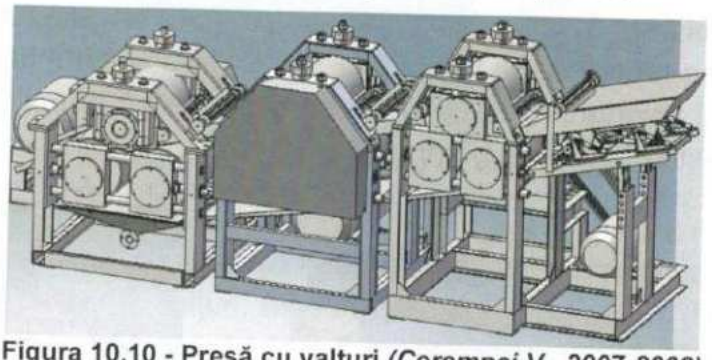


**Figura 10.10 - Presă cu valţuri *(Cerempei V., 2007-2008)***

Pentru presarea cantităţilor mari de tulpini în vederea obţinerii sucului se utilizează prese de capacitate mare (figura 10.11) şi foarte mare (figura 10.12).



**Figura 10.11 - Suc obţinut din sorg prin prelucrare într-o presă cu şnec**
*(http://www.treepower.org /sweetsorghumpictures/main.html)*



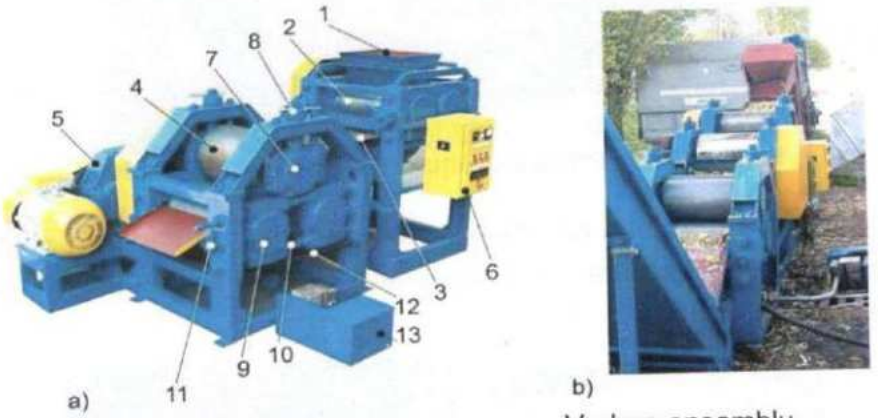
**Figura 10.12 - Presarea tulpinilor în mori specializate**
*(http://www.sorghum.silvaeculture.co.uk/cfc/1styr-rpt/1styrrep.html)*

Echipamentul pentru stoarcerea sucului din sorg zaharat (figura 10.13), produs de compania ITA Mecagro, include: buncărul recipient 1, blocul 2 cu două valţuri de alimentare şi strivire a tulpinilor, transportorul 3, blocul de presare 4 cu trei valţuri, mecanismul de acţionare 5, sistemul de dirijare 6.

În blocul de presare 4 valţul superior este amplasat pe două lagăre 7, fiecare din acestea fiind instalat pe două tije verticale de

ghidare. Pe partea superioară a lagărelor 7 acţionează arc-discuri, strângerea cărora este reglată cu piuliţe 8. Fiecare din valțurile de jos este instalat pe două lagăre 9, montate mobil pe tije orizontale de ghidare 10. Reglarea jocului dintre valțuri se obţine prin deplasarea valțurilor inferioare pe ghidaje cu ajutorul mecanismelor cu şurub 11.

Reglarea turaţiilor valțurilor de presare se efectuează prin schimbarea raportului de transmisie şi a frecvenţei curentului electric cu ajutorul invertorului. Sucul stors se acumulează în recipientul 12, de unde este evacuat cu pompa 13.




Utilajul de stoarcere Vedere ansamblu

**Figura 10.13 - Echipament pentru extragerea sucului din tuplini de sorg zaharat, ITA Mecagro *(Hăbăşescu şi colab., 2014)***

Extracția sucului se face în instalaţii de presare specializate, sucul extras fiind filtrat și apoi limpezit. Partea vâscoasă ce se depune pe fundul vasului de stocare prin vid rotativ pentru filtrare și filtratul este concentrat în secțiunea de evaporare. Se recomandă concentrarea sucului la 16-18 brix pentru producerea etanolului. Cu toate acestea, dacă siropul urmează să fie depozitat în timpul sezonului, concentrația trebuie crescută la minimum 65 brix (*Dar şi colab., 2018*).

Cele mai răspândite prese utilizate pentru extragerea sucului din tulpinile de sorg zaharat sunt cele cu trei valţuri. Firma Kamdhenu Agro Machinery Wathoda, Nagpur, Maharashtra, India, produce astfel de prese, modelul prezentat în figura 10.14 având diametrul tamburului de 254 mm, actionare cu motor electric 25 CP şi o capacitate de presare fiind de 2,2 t/ora (figura 10.14).



**Figura 10.14 - Presa sorg cu trei valturi**
*https://www.indiamart.com/kamdhenu-expeller/sugarcane-crusher.html*

Şi firma PATEL MANUFACTURIN COMPANY, Gujarat, India, produce prese cu 3 valţuri, modelul OM KAILASH NO.1 (fig. 10.15), având o capacitate de lucru: 80-100 kg/oră; diametru valţuri de 216 mm şi un motor de 5 CP.



**Figura 10.15 - Presa sorg cu 3 valţuri**
*http://www.sugarcanecrusher.co.in*

Firma Penagos-Columbia produce modelul SUGAR CANE MILL TH (figura 10.16), o presă cu 3 valţuri, cu lungimea de 152 mm, o capacitate de lucru de până la 600 kg/oră şi o putere instaltă de 6 CP pentru varianta acţionată electric, respectiv 10 CP pentru varianta acţionată cu combustibil, randamentul de extracţie fiind de aprox. 60 %.



**Figura 10.16 - Presa sorg cu 3 valturi**
*http://www.penagos.com/eng/product/sugar-cane-mill-th-6/*

INMA Bucureşti a realizat un model experimental de instalaţie de presare cu 3 valţuri - IPTS (figurile 10.17 și 10.18) este destinat pentru presărea tulpinilor de sorg în vedeara obţinerii sucului ce va fi utilizat la producerea de alcool brut / bioetanol.



**Figura 10.17 - Instalaţie de presare tulpini sorg cu cu 3 valturi**

Această instalaţie de presare are în componenţă următoarele componente principale:

1. batiu instalaţie presare sorg;
2. bloc de presare cu 3 valţuri;
   2.1. carcasa bloc presare;
   2.2. modul 3 valţuri:
      2.2.1. valţ superior
      2.2.2. valţ primar-antrenare material;
      2.2.3. valţ presare finală;
3. sistem de antrenare tamburi;
4. tablou electric de comanda şi control.

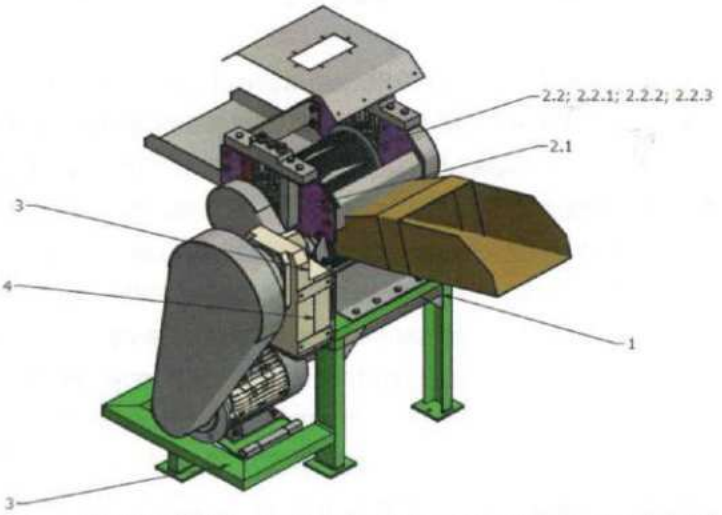



**Figura 10.18 - Instalaţie presare tulpini sorg (IPTS)**

**Principalele caracteristici tehnice**

- diametrul şi lungimea valţurilor de presare: 240/400 mm;
- număr valţuri: 3;
- turaţie valturi de presare = 22 rot/min;
- acţionare cu motor electric 5,5 kW, turaţia de 1470 rot/min, transmisie cu curele raport 1/3 şi motoreductor cu axe paralele raport 1/15; transmisie pinion-coroană, montată pe primul valţ de presare cu raport 2/3;
- capacitate estimate de presare în varianta cu alimentare manual: 250-300 kg/oră tulpini de sorg;
- randament de presare la o singură trecere: 55-60 %;
- forţa de presare estimată: 80-110 KN;
- distanţe de reglare: de 12-15 mm la intrarea tulpinilor de sorg în primii doi tamburi de presare, respectiv 5-7 mm între ultimii doi tamburi de presare.

## 10.2. OBŢINEREA SIROPULUI DIN SUCUL REZULTAT DIN PRESAREA TULPINILOR DE SORG ZAHARAT

Sorgul dulce este unul dintre soiurile de sorg cu tulpini cu conținut ridicat de zahăr și este cultivat în principal pentru producția de suc, furaje, siloz și sirop. Siropul este un material alimentar bogat în

antioxidanți produs prin concentrarea sucului său zaharat (*Rajvanshi şi colab., 2020*).

Datorită tulpinii dulci suculente, sorgul zaharat este o excelentă sursă de producție de etanol și sirop. Cu toate acestea în dezbaterea despre mâncare versus combustibil, importanța trebuie să fie întotdeauna dat mâncării. În plus, siropul obţinut din sorg zaharat are proprietăți antioxidante bune și este util în alimente, băuturi și industria farmaceutică. De asemenea, siropul este un bun substitut pentru miere în formulări nutraceutice. Scăderea producţiei de miere naturală a condus la o cerere tot mai mare de sirop din sorg zaharar în ultimul deceniu (*https://straitsresearch.com/report/sorghum-syrup-market; https://www.beeculture.com/u-s-honey-industry-report-2017*)

Siropul se obţine din sucul de sorg zaharat prin fierbere la aproximativ 75 de brix, ceea ce duce la o consistență și aspect asemănător mierii. Datorită compoziției chimice a siropului, durata de valabilitate a acestuia este, de asemenea, ridicată.

Realizând importanța alimentelor față de combustibil, încă din anii 1990 NARI și-a concentrat eforturile pe producerea de sirop din sorg zaharat, astăzi fiind singura organizație din India care produce și vinde siropului de sorg zaharat. Dacă în trecut, NARI folosea pentru producția de sirop un singur hibrid (Madhura-1) dezvoltat în cadrul organizaţiei, recent, două noi soiuri: Madhura-2 și Madhura-3 sunt fost folosite cu succes pentru obţinerea siropurilor (*Rajvanshi şi colab., 2020*).

Înca din cele mai vechi timpuri obtinerea siropului de sorg zaharat s-a realizat prin diferite metode de strivire a tulpinilor În vederea obţinerii sucului. Una dintre metodele folosite era o moară actionată de un cal, care permitea punerea în funcţiune a mecanismului de presare, ulterior fiind dezvoltate prese manuale, iar în zilele noastre se utilizeazş prese moderne acţionate mecanic sau electric.

Un impediment major în producerea industrială a siropului de sorg zaharat l-a constiut în trecut dificultatea păstrării şi depozitării în condiţii optime, din cauza fenomenului de cristalizare a zaharului pe timpul iernii, respectiv a fermentării sucului pe timp de vară. În prezent, studiile actuale efectuate au demonstrat că atunci când siropul este fabricat corespunzător, acesta poate fi păstrat pentru timp îndelungat în recipiente bine închise, cu condiţia să nu fie agitate, iar siropul să

nu fie expus aerului pe cât posibil. Dacă depozitarea se face în vase mici, bine umplute, nu neaparat etanşe, siropul se poate păstra chiar şi pentru o perioada de câţiva ani (*Harrington, 1903*).

Înainte de fierberea sucului obţinut din presarea tulpinilor de sorg zaharat, se măsoară conţinutul de zahăr pe scala Brix, sucul având în medie 8÷17 grade pe scala Brix, care înseamnă aproximativ 8÷17 % zahăr.

Randamentul şi calitatea siropului de sorg sunt influenţate de echipamentul şi de procedeul folosit în procesul de fabricare, cunoştinţele şi îndemânarea fabricanţilor de sirop. Pentru a îmbunătăţi calitatea generală a siropului de sorg dulce, se va acorda atenţie procesului de fabricare.

- **Incinta de procesare**

Clădirea în care sucul se evaporă în sirop trebuie să fie o zonă sanitară adecvată pentru pregătirea hranei. Zona trebuie să fie acoperită, iar podeaua trebuie să fie din beton sau alt material similar şi trebuie să permită spălarea cu apă, după terminarea operaţiei. În zona de procesare trebuie să existe o sursă de apă sub presiune, instalaţii sanitare pentru spălarea mâinilor cu săpun, astfel încât să fie asigurate cele mai bune condiţii sanitare.

- **Filtrarea şi decantarea sucului**

Sucul verzui trebuie să fie filtrat printr-o sită ecran de sârmă până ajunge într-o cuvă destinată sucului. Această filtrare îndepărtează fragmentele de tulpini. De aici sucul trece printr-o conductă sau printr-un furtun până la rezervoarele de decantare unde este filtrat printr-un filtru sită sau în naylon fin, la intrarea în rezervor.

Sucul se lasă la decantat de la o jumătate de oră la trei ore. Dacă se ţine mai mult de 3 ore fără refrigerare şi fără încălzire se poate ajunge la fermentarea lui. Sucul se extrage cu mare grijă, astfel încât substanţa decantată pe fundul rezervorului să nu fie trasă în evaporator. Pentru operaţiile de anvergură, sucul este încălzit în rezervoarele de decantare unde se adaugă enzime şi se îndepărtează spuma, înainte ca sucul să fie mutat în evaporator. Sucul trece din rezervor în cuva din dreapta printr-un filtru fin de sârmă şi apoi în cuva din stânga.

Sucul se introduce într-un tanc de preîncălzire şi se încălzeşte la 82 °C, timp de 2 ore, în urma acestui proces o mare parte din impurităţi adunându-se la suprafaţa sucului încălzit, fiind eliminate.

Sucul preîncălzit se tranferă într-un rezervor tampon mai mare, înainte de a fi trasferat în vasul unde va fi încălzit până la fierbere. Acest vas are o capacitate mare, fiind realizat într-o construcţie de formă paralelipipedică, cu mai multe secţiuni, din oţel inoxidabil alimentar, pentru a putea fi încălzit uşor. Între secţiuni există câte o fantă pentru ca sucul încălzit să poată trece dintr-o secţiune în alta (figura 10.19).



**Figura 10.19 - Vasul de fierbere împărţit în secţiuni (într-o fermă medie)**
*(http://www.alarmclockwars.com/2010/11/farm-equipment-fridays-cooking-sweet.html)*

Transferul sucului preîncălzit către vasul de fierbere se realizează gravimetric (figura 10.20 a și b) trecând prin nişte filtre care au rolul de a opri particulele solide care nu au fost înlăturate în procesul de preîncălzire şi nu s-au separat încă.

După trecerea prin filtre, sucul cade în vasul de fierbere, trecând dintr-o secţiune în alta şi se uniformizează până la nivelul de umplere.



a) Transferul gravimetric



b) Filtrarea sucului preîncălzit în vasul de fierbere

**Figura 10.20 - Transferul sucului preîncălzit**
*(http://www.alarmclockwars.com/2010/11/farm-equipment-fridays-cooking-sweet.html)*

Se porneşte procesul de încălzire până ce sucul ajunge la fierbere (figura 10.21). În procesul de fierbere ultimele impurităţi solide se ridică la suprafaţă şi sunt înlăturate manual (figura 10.22).



**Figura 10.21 - Fierberea sucului de sorg zaharat**
*(http://www.aiarmclockwars.com/2010/11/farm-equipment-fridays-cooking-sweet.html)*



**Figura 10.22 - Înlăturarea ultimelor impurităţi din suc**
*(http://www.alarmclockwars.com/2010/11/ farm-equipment-fridays-cooking-sweet.html)*

Pe măsură ce apa se evaporă în procesul de fierbere şi impurităţile sunt eliminate, conţinutul de zahăr din sucul fiert creşte.

Temperatura sub vasul de fierbere este mai ridicată la capătul de alimentare cu suc şi scade progresiv spre partea de evacuare, acolo unde sucul devinde din ce în ce mai gros, adică creşte conţinutul în zahăr.

Pe măsură ce timpul trece se observă o diferenţă clară de culoare (figura 10.23 a şi b) între capătul de alimentare cu suc al vasului de fierbere, unde conţinutul de zahăr este de aproximativ 17 % şi o culoare verde, sucul fiind apos, pe când spre zona de evacuare sucul are culoarea maro, o consistenţă mai groasă şi un conţinut de zahăr de circa 80 %.



a) Culoarea sucului la alimentare

b) Culoarea sucului la evacuare

**Figura 10.23 - Culoarea sucului la alimentare şi evacuare**
*(http://www.alarmclockwars.com/2010/11/farm-equipment-fridays-cooking-sweet.html)*

Conţinutul de zahăr se verifică periodic cu un aparat special (figura 10.24), pentru a vedea când acesta a atins concentraţia dorită.



**Figura 10.24 - Verificarea conţinutului de zahăr**
*(http://www.alarmclockwars.com/2010/11/farm-equipment-fridays-cooking-sweet.html)*

Când conţinutul de zahăr din suc ajunge la 78÷83 %, sucul se transferă într-un vas de răcire (figura 10.25), fiind filtrat printr-un tifon sau un filtru special, se lasă la răcit un timp şi apoi se îmbuteliază în sticle (fiind filtrat din nou în prelabil) pentru consum (figura 10.26).



**Figura 10.25 - Transferul sucului fiert şi filtrat în vasul de răcire**
*(http://www.alarmclockwars.com/2010/11/farm-equipment-fridays-cooking-sweet.html)*



**Figura 10.26 - Filtrarea şi îmbutelierea în sticle a sucului răcit**
*(http://www.alarmclockwars.com/2010/11/farm-equipment-fridays-cooking-sweet.html)*

## 10.3. OBȚINEREA DE CONCENTRATE GLUCIDICE ALIMENTARE DIN SUCUL DE SORG ZAHARAT

Procedeul se referă la obținerea unui concentrat alimentar din sucul crud obținut prin presarea tulpinilor de sorg.

Sucul de la stațiile de zdrobire și presarea tulpinilor transportate în autocisterne la instalația de concentrare, se strecoară printr-o sită cu ochiurile de 2 $mm^2$ pentru îndepărtarea părților grosiere, depozitându-se apoi în rezervorul tampon. Dacă sucul nu poate fi prelucrat imediat și stă mai mult de 4÷6 ore (în funcție de temperatura mediului ambiant) este supus operației de sulfitare cu dioxid de sulf.

Sulfitarea se poate realiza fie prin dozare directă folosind sulfitometre sau cu o soluție de dioxid de sulf 6%.

Cu o pompă centrifugă se transvazează sucul din rezervorul tampon în vasul colector de 15 $m^3$ cu fund conic prevăzut cu un agitator unde se lasă să se decanteze timp de 1-2 ore. Sucul apoi se tratează cu gelatină și bentonită pentru îndepărtarea macromoleculelor proteice și amidonoase, obținându-se astfel un lichid limpede. Pentru limpezire se utilizează 50÷100 g gelatină și 1000÷1500 g bentonită la 1000 l suc. Gelatina mărunțită se introduce treptat într-un vas cu apă caldă (temperatura de 45°C) de 10 l prevăzut cu un agitator. După dizolvarea gelatinei, aceasta se introduce treptat în vasul decantor agitând continuu până la omogenizare.

Bentonita se prepară într-un vas de 15 l prevăzut cu agitator. În vas se introduce apă caldă (temperatura 45°C) și se adaugă treptat bentonita. Se lasă 4 ore pentru ca bentonita să se îmbibe bine, timp în care se agită, obținându-se o pastă gelatinoasă.

Cantitatea de betonită ce se adaugă este în funcție de trubiditatea sucului. În cazul recoltării tulpinilor, în faza de lapte, turbiditatea este mai mare datorită macromoleculelor proteice, amidonoase, pectice în sucul crud. Gelul de bentonită obținut se adaugă treptat în vasul decantor după cca. 2 ore de la tratarea cu gelatină, agitând continuu până la omogenizare.

Sucul limpede decantat se centrifughează folosind o centrifugă separator cu talere la o turație de 3500÷5000 rot/min. Sucul centrifugat este luat cu o pompă centrifugă și se introduce într-un vas cu

serpentină de încălzire şi colectare de spumă unde se încălzeşte la temperatura de 82÷83 °C. Aici are loc denaturarea unor macroelemente (clorofila etc.) separarea spumei formate, o pasteurizare preliminară şi eliminarea dioxidului de sulf.

Pentru obţinerea de concentrate cu un pH mic, la concentratele utilizate la obţinerea de băuturi răcoritoare produse zaharoase etc., se adaugă acid citric 0,5÷1,2 g ac. citric/ l suc, în sucul limpede decantat, după tratamentul cu gelatină. Adaosul de acid citric contribuie şi la eliminarea unor metale din suc.



**Figura 10.27 - Cuvă de încălzire pentru evaporarea apei din suc**
***(Vlăduţ V. et al., 2012)***

*10.3.1. Cuptorul şi evaporatorul*

Multe dintre cuptoarele care se folosesc utilizează ca sursă de căldură lemnele. Totuşi sursa predominantă o reprezintă petrolul brut. Aburii sunt metoda ideală de încălzire, în special pentru operaţiile importante. Evaporatoarele pentru suc sunt făcute din oţel inoxidabil sau aramă, dar tipul cel mai comun folosit este oţel inoxidabil. Siropul care are culoarea corespunzătoare poate fi făcut în cuve din fier galvanizat. Totuşi, atunci când fierul este expus, siropul se poate înnegri. Majoritatea cuvelor noi sunt făcute din oţel inoxidabil, înlocuindu-le pe cele vechi. Cuptorul ideal şi concepţia ideală de evaporator folosesc ca sursă de căldură aburii.

Cele mai multe cuve sunt de tipul continuu cu dimensiuni de aprox. 0,93x3,66 şi 6", dar mărimea poate varia în mod considerabil. Ele sunt împărţite în mai multe secţiuni prin filtrele care se întind în cuvă. Pe fiecare parte a evaporatorului poate fi ataşat un jgheab de separare.

*10.3.2. Preîncălzirea sucului*

Preîncălzirea sucului înainte de evaporare reduce cantitatea de spumă rămasă în suc şi micşorează timpul de procesare. După ce sucul a fost stors din sorg, poate fi pus în containere din oţel inoxidabil, preîncălzit la 160÷180° şi lăsat să se aşeze 1÷2 ore. În timpul acestui proces, multe dintre impurităţile din suc se vor ridica la suprafaţă, iar altele se vor precipita la fundul rezervorului.

*10.3.3. Procesul de evaporare*

Evaporarea sucului nu este dificilă dacă se doreşte producerea unui sirop de bună calitate. În timp ce sucul extras este încălzit, unele proprietăţi ale acestuia - proteinele şi substanţele nezaharoase sunt coagulate. Aceste substanţe coagulate (spumă) se vor ridica la suprafaţă şi vor trebui să fie îndepărtate.

Evaporarea va trebui să fie făcută cât mai repede posibil, dar având grijă să nu se ardă siropul. Sucul fiert prea repede va fi închis la culoare şi va conţine particulele mici şi negre ale impurităţilor care nu au fost îndepărtate. Cuva trebuie să fie la cel puţin 1" mai sus faţă de extremitatea cu sirop. Când siropul este scos (îndepărtat) sucul va împinge siropul neterminat spre capătul terminat şi se va preveni arderea. Golirea siropului este uşor de făcut, dar trebuie ştiut că o parte a cuvei nu trebuie să fie uscată pentru mai mult de o clipă pentru că, calitatea siropului poate fi deteriorată. Siropul trebuie să fie răcit şi golit înainte de a fi aşezat într-un container mare. O metodă mai simplă constă din circularea siropului într-un bazin mare de 1,83÷3,05 m. Siropul trebuie să fie golit prin muselină sau o sită ecran de 45" înainte de a ajunge în containerele pentru trestia de zahăr. Această răcire rapidă menţine culoarea mai naturală cu metodele de răcire mai lente.

Siropul final este sterilizat prin fierbere. Dacă se conservă la peste 150 °C în containere curate, el nu se va strica şi nici nu va fermenta. Containerul trebuie să fie etanş pentru a preveni fermentarea.

Nu sunt recomandate containerele mari din lemn, cum ar fi butoiaşele pentru depozitarea siropului, pentru că se curăţă greu. După fiecare zi de folosire evaporatorul trebuie curăţit.

Cuvele se freacă cu o substanţă abrazivă nemetalică. O soluţie cu 1÷2 % acid nitric trebuie să fie folosită pe cuvele din oţel inoxidabil, după prima curăţire. Acidul nitric este preferat celui sulfuric pentru cuvele din oţel inoxidabil. detergenţii alcalini (folosiţi cu o noapte înainte) vor îndepărta depunerile minerale şi soluţia acidă va îndepărta complet precipitatele (sedimentele) de sare din cuva din oţel inoxidabil. Atunci când folosiţi aceste substanţe de curăţire, folosiţi întotdeauna mănuşi din cauciuc.

*10.3.4. Folosirea enzimelor pentru procesarea siropului de sorg*

Prevenirea gelatinizării. În funcţie de sezonul de creştere şi de varietatea de trestie, siropul de sorg se va gelatiniza câteodată atunci când va fi fiert la concentraţia de zahăr cerută. Gelatinizarea rezultă din cauza cantităţilor ridicate de amidon din sucul primar şi este de obicei asociată cu sorgul care a depăşit maturitatea. Atunci când este făcut din sorgul recoltat în stadiul corespunzător şi se lasă să se aşeze 1÷3 ore, siropul de sorg nu va conţine prea mult amidon. Ocazional, gelatinizarea se va produce, totuşi chiar dacă sucul a fost lăsat să se sedimenteze.

Rezolvarea problemei amidonului din suc este adesea cea mai dificilă problemă de rezolvat atunci când se produce sirop de calitate ridicată. Amidonul se carbonizează adesea în timpul fierberii, înnegrind siropul şi scoţând un anumit miros. Atunci când se fierbe sucul, amidonul se îngroaşă.

## 10.4. OBŢINEREA DE CONCENTRATE GLUCIDICE FURAJERE DIN SUCUL CRUD DE SORG ZAHARAT

Sucul crud obţinut prin presarea tulpinilor de sorg este transportat cu autocisterne de la staţiile de presare şi se depozitează în rezervorul tampon. Aici poate fi supus operaţiei de sulfitare cu dioxid de sulf, ca în cazul concentratului glucidic alimentar, numai dacă se impune o păstrare mai îndelungată. După circa. 2 ore de liniştire sucul decantat se strecoară, pentru îndepărtarea unor particule grosiere şi apoi cu o pompă centrifugă se introduce în concentratoare.

În urma concentrării rezultă un produs cu un conţinut de 65% substanţe solubile totale care se depozitează în rezervorul tampon.

Concentratul furajer obţinut are o culoare maroniu închis şi este folosit în diferite reţete în alimentaţia animalelor.

Tulpinile de sorg zaharat sunt utilizate în producția de furaje, complexe de vitamine, aditivi alimentari, deoarece conține zahăr în cantități mari. Cea mai mare cantitate de material din plantă este concentrată după înflorire.

Sorgul zaharat este foarte popular în producție, deoarece produce o bună recoltă și nu impune pretenții mari față de sol, condiții climatice (altele decât energia termică necesară), tolerează seceta, prezintă un randament ridicat chiar și în soluri marginale. Sorgul poate fi înghețat și reîncălzit fără a-și pierde gustul și textura. Un alt avantaj important al sorgului este că se conservă prin înghețare, preparîndu-se în avans cu diferite mirodenii și apoi păstrat în congelator pentru o utilizare ulterioară.

Având în vedere aceste caracteristici, interesul pentru această cultură a crescut recent în toate țările cu condiții climatice adecvate. Costul zahărului din sorg ajunge doar la jumătate din prețul aceluiași produs obținut din trestie de zahăr și sfeclă. Când se cultivă această cultură, se utilizează mult mai puțin pesticide, ceea ce se explică prin rezistența ridicată a plantelor de sorg la boli și dăunători. Astfel, produsul bazat pe sorg este mult mai prietenos cu mediul și mai sănătos.

## 10.5. VALORIFICAREA SORGULUI SUB FORMĂ DE BIOETANOL ŞI ALCOOL ETILIC ALIMENTAR

*10.5.1. Elemente generale privind obținerea alcoolului etilic din sorgul zaharat*

Consumul de etanol (alcool etilic) este într-o creștere rapidă la nivel global, datorită politicilor de mediu care impun amestecul său în combustibilii auto, în vederea reducerii consumului de hidrocarburi utilizate și de a micșora impactul negativ asupra ecosistemelor. Alcoolul etilic se produce în prezent pe plan mondial, în cea mai mare parte prin fermentarea plămezilor care conțin glucide fermentescibile, cu ajutorul drojdiilor. Alcoolul etilic obținut pe cale biotehnologică mai poartă denumirea de bioalcool, deosebindu-se astfel de alcoolul etilic de sinteză.

Costul ridicat de cultivare, îngrijire și recoltare al plantelor utilizate în acest moment pe scară largă pentru producerea alcoolului etilic, precum și sensibilitatea acestora la condițiile de climă au creat premisele identificării unor surse alternative.

Sorgul zaharat prezintă un potențial ridicat în utilizarea ca materie primă pentru producția de bioetanol datorită ritmului său rapid de creștere, eficienței ridicate de utilizarea apei, necesităților reduse de îngrășăminte, valorii totale ridicate de producere a biomasei și adaptabilității foarte bune la soluri dificile. Etanolul produs din sorgul zaharat este prietenos cu mediul înconjurător datorită conținutului scăzut de sulf, al cerințelor biologice și chimice reduse de oxigen și al ratingului octanic ridicat (*Reddy și colab., 2017*).

Industria alcoolului se bazează în principal pe activitatea fermentativă a drojdiilor, care transformă glucidele fermentescibile din sucul extras din tulpinile de Sorg zaharat în alcool etilic ca produs principal de fermentație și respectiv în resturi de biomasă.

Alcoolul etilic se produce în prezent în cea mai mare parte prin fermentarea plămezilor care conțin glucide fermentescibile, cu ajutorul drojdiei. Alcoolul etilic obținut pe cale biotehnologică mai poartă denumirea de bio-alcool, deosebindu-se astfel de alcoolul etilic de sinteză. Alcoolul etilic rafinat are multiple utilizări în diferite industrii. În industria alimentară este folosit pentru fabricarea băuturilor alcoolice și a oțetului, în industria chimică pentru obținerea cauciucului sintetic și ca dizolvant, în industria farmaceutică pentru prepararea anumitor substanțe (eter, cloroform, etc.), iar în medicină ca dezinfectant *(Han K.J. și colab., 2012)*.

Producția de etanol combustibil din sorgul zaharat poate reduce semnificativ dependența de petrol reducând la minimum riscurile asociate mediului înconjurător generate de consumul combustibililor fosili.

Sorgul zaharat este o plantă tehnică ce prezintă câteva caracteristici deosebite, care au creat în timp premisele utilizării acestuia pe scară largă pentru producerea de combustibili ecologici, alcool alimentar sau îndulcitori pentru industria alimentară. Fiind o cultură de tip C4, Sorgul zaharat prezintă cerințe reduse de plantare și îngrijire și acumulează niveluri ridicate de zaharuri în tulpini, care pot fi extrase și procesate. Fotosinteza de tip C4 este deosebit de

importantă, pentru că aceasta contribuie la o eficiență mai mare a utilizării azotului și a apei, precum și la robustețea generală a plantei, oferindu-i proprietățile pentru a supraviețui în regiunile secetoase, cu intensitate luminoasă ridicata și temperaturi mai mari (*Wang, 2014; Billings, 2015*). Soiurile de sorg zaharat sunt de regula mai înalte decât soiurile de sorg cultivate pentru producerea de semințe sau soiurile energetice, având o eficiență ridicată în utilizarea radiațiilor solare. Deși, producția anuală de etanol din sorgul zaharat depinde de mai mulți factori, inclusiv fondul genetic, perioada anului, calitatea solului, tehnologia utilizată și alți factori de mediu, o cultură de sorg zaharat poate produce până la 8000 l de etanol / ha / an (*Rutto, 2013*).

Sorgul zaharat ar putea juca în viitorul apropiat un rol important în dezvoltarea producției agricole pe terenurile mai puțin fertile, în creșterea animalelor, producerea de biocombustibili de calitate, (*Nahvi și colab., 1994a, b*), producerea de zahar și îndulcitori sau în fabricarea hârtiei. Dintre elementele componente care conferă plantei caracteristicile superioare de producere de alcool putem aminti glucidele, care pot fi nestructurale, cum ar fi zaharurile și amidonul, sau structurale precum celuloză, hemiceluloză și substanțele pectice (*Anglani, 1998*). Principalele zaharuri prezente în sucul de sorg sunt monozaharidele glucoză și fructoză, dizaharidele zaharoză și maltoză și rafinaza trizaharidică.

Utilizarea zaharurilor din tulpina de sorg zaharat poate fi considerată cea mai facilă metodă pentru producerea de biocombustibil, deoarece acești carbohidrați sunt ușor de convertit în alcool. Deși etanolul poate fi produs și din semințe sau chiar întreagă sa masa vegetală, este nevoie de o procesare mai elaborată pentru transformarea amidonului în glucoză, care ulterior va fi transformată în etanol (*Jacques și colab., 1999*). În plus, deșeurile rezultate după extragerea sucului (bagasa) pot fi folosite și acestea pentru producția de etanol utilizând tehnologii mai avansate de procesare (*Jacques și colab., 1999*), sau pentru producerea de nutrețuri pentru hrana animalelor (*Jafarinia și colab., 2005*). *Almodares și Hadi (2014)*, propun schema următoare ca soluție de producere a bioetanolului din sorgul zaharat și utilizarea deșeurilor rezultate în zootehnie.

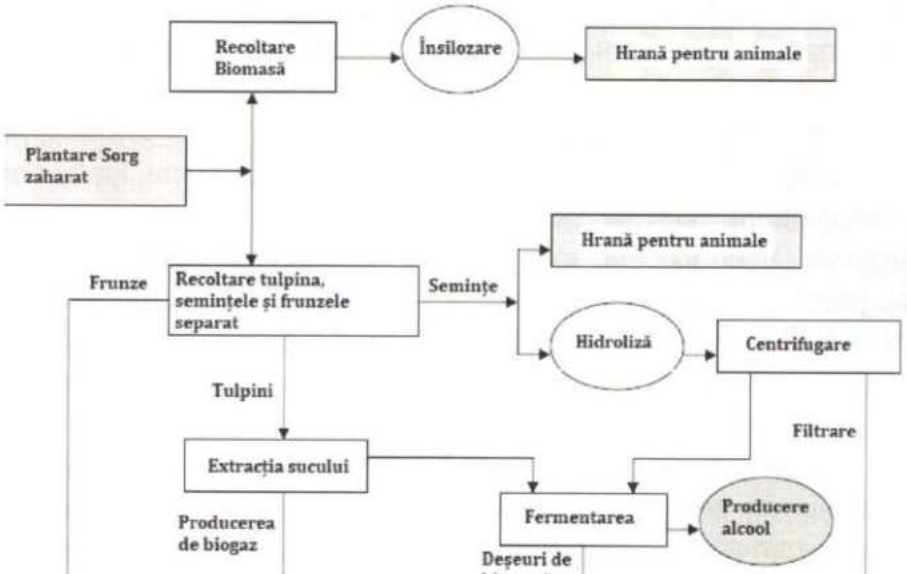



**Figura 10.28 - Schema de producere a bioetanolului din sorgul zaharat cu utilizarea masei vegetale în zootehnie *(Almodares și Hadi, 2014)***

Cu toate acestea, plantarea pe scară largă a sorgului zaharat pe terenuri marginale, care nu pot fi alocate producției de hrană ar necesita dezvoltarea unor genotipuri îmbunătățite, care să prezinte caracteristici optimizate de generare de biocombustibili și o toleranță mai mare la stresurile biotice și abiotice. Având în vedere că unele genotipuri de sorg zaharat conțin o cantitate ridicată de zaharuri însă o biomasă mai mică, în timp ce altele, prezintă randamente mai mici de producere a zaharurilor însă pot produce mai multă biomasă, trebuie realizate unele compromisuri pentru dezvoltarea genotipurilor optime. În general, programele de îmbunătățire a soiurilor de sorg zaharat prezintă trei obiective majore, și anume (1) îmbunătățirea cantității și calității sucului din tulpină, (2) identificarea soiurilor multifuncționale care pot acumula zaharuri în tulpină, dar pot în același timp să producă semințe de bună calitate și biomasă ridicată și (3) rezistența la potențialele stresuri biotice și abiotice (*Almodares și Hadi, 2014*).

Producerea de biocombustibilii din masă vegetală a sorgului zaharat poate produce efecte pozitive și în reducerea emisiilor de gaze cu efect

de seră. În plus, înlocuirea culturilor energetice clasice cu noi culturi care să utilizeze terenuri marginale și care sunt mult mai rezistente pot genera avantaje economice, ecologice și de siguranță alimentară.

*10.5.2. Avantajele utilizării sorgului zaharat în producerea de alcool etilic alimentar și biocombustibili*

Potențialul zilnic de producere a etanolului din sorgul zaharat este mai mare comparativ cu alte culturi energetice, pentru că acesta prezintă o perioadă de creștere mai scurtă de patru luni și necesități scăzute privind aportul de apă, putându-se înființa pană la două culturi anual (*Soltani și Almodares, 1994*).

Costul de înființare al culturii este mai mic, iar complexitatea tehnologiei de cultivare și întreținere este mai scăzută. Sorgul zaharat prezintă unele caracteristici care împiedică sărăcirea solurilor, deci plantațiile pot avea un efect pozitiv pe termen lung asupra ecosistemelor, iar aceste elemente pot influența intențiile fermierilor de a face tranziția mai ușoară către această cultură.

Având în vedere că se pot înființa mai multe culturi pe an (în condiții normale două culturi), se poate asigura mai ușor un flux continuu de plante proaspete pentru procesare, iar fluxurile stabile conferă avantaje pentru piața de materie primă și predictibilitate a prețurilor.

**Tabel 10.1**

**Oportunitățile sorgului zaharat pentru producerea etanolului**

*(Reddy și colab., 2005)*

| Oportunitățile culturii | Oportunitatea ca sursă de producere a etanolului | Oportunități privind masa vegetală / bagasa |
|---|---|---|
| • Perioadă de dezvoltare scurtă (3–4 luni);<br>• Cultură ce poate fi înființată pe terenuri uscate și dificile;<br>• Rezistență mai mare la stres și dăunători;<br>• cultură ușor de întreținut pentru fermieri;<br>• Se pot satisface nevoile furajere / alimentare;<br>• Specie non-invazivă / foarte puțin invazivă specii;<br>• Emisii reduse de $NO_2$ / $CO_2$;<br>• Sămânța propagată | • Procese ecologice de producție;<br>• Calitate superioară a etanolului;<br>• Mai puțin sulf eliminat;<br>• Cifra octanică mare;<br>• Combustibilii generați sunt prietenoși cu motoarele cu ardere internă (atunci când se utilizează până la 25% etanol amestec de benzină) | • Valoare biologică ridicată;<br>• Bogat în micronutrienți;<br>• Folosiți în alimentație / pentru furaje;<br>• Posibilități de utilizare pentru cogenerare / biocompost;<br>• Cantități de biomasă ridicate |

Un alt aspect pozitiv al culturilor de sorg zaharat constă în profitabilitatea mai mare (cu 23 % mai mare) decât sorgul cerealier în condiții normale de precipitații. Sucul obținut din sorgul zaharat este mai potrivit pentru producția de etanol, datorită conținutului său ridicat de zaharuri reducătoare în comparație cu alte surse, inclusiv sucul obținut prin procesarea trestiei de zahăr. Aceste caracteristici, împreună cu posibilitatea de procesare mecanizată a culturilor și capacitatea de producție în instalații similare celor care utilizează melasa trestiei de zahăr fac din sorgul zaharat o sursă alternativă viabilă pentru producerea etanolului.

Bagasa (tulpinile rezultate după zdrobire pentru extragerea sucului) și semințele au o valoare biologică mai mare decât bagasa din trestia de zahăr atunci când este folosită ca hrană pentru bovine, pentru că pe lângă aportul de micronutrienți și minerale, bagasa din sorg este mai potrivită în ceea ce privește digestibilitatea (*Reddy și colab., 2005*).

*10.5.3. Provocări importante în producerea de etanol utilizând sorgul zaharat*

Tehnologia de producție a etanolului din sorgul zaharat a câștigat în mod constant teren, apropiindu-se de culturile energetice clasice, cu toate acestea s-au identificat o serie de aspecte care trebuie considerate de antreprenori și fermieri.

Aspecte precum sezonalitatea culturii, fereastra de recoltare limitată, necesarul ridicat de forță de muncă, reducerea rapidă a conținutului de zahăr din tulpină în momentul recoltării, timpul suplimentar generat de procesele de zdrobire și necesitatea gestionării eficiente a lanțului de aprovizionare sunt unele dintre provocările majore ale culturilor de sorg zaharat utilizate în tehnologia de producere a etanolului (*Reddy și colab., 2005*).

În planificarea strategică a culturilor se va avea în vedere înființarea culturilor în zone geografice variate, plantarea realizându-se eșalonat în timp, iar soiurile selectate trebuie sa permită recoltarea în perioade de timp diferite. Trebuie cercetate noi modalități mai ieftine de recoltare și de eliminare a paniculelor și semințelor, care să permită o manoperă mai redusă.

Un domeniu care necesită atenție reprezintă dezvoltarea continuă a hibrizilor performanți, care să permită oferirea unei cantități mari de suc, cu conținut ridicat de zahăr, dar și o masă vegetală bogată.

Cea mai importantă provocare o reprezintă gestionarea lanțului de aprovizionare cu materie primă. În mod practic trebuie să se înființeze un sistem descentralizat de procesare care să confere susținerea fermierilor, să se evite pe cât posibil eventuale întârzieri în procesarea tulpinilor și evitarea pierderilor de materie primă. Fermierii trebuie să fie capabili să furnizeze materie primă de calitate sub formă de sirop într-un interval cât mai scurt de timp.

*10.5.4. Clasificarea materiilor prime utilizate la fabricarea alcoolului din plante tehnice și cereale*

În funcție de natura substanțelor utile pe care le conțin, materiile prime folosite la fabricarea alcoolului și a drojdiei se pot clasifica astfel:

A. Materii prime amidonoase: cereale (porumb, secară, grâu, orz, ovăz, orez, sorg, etc); cartofi; rădăcinoase și tuberculi de plante tropicale (rădăcini de manioc, tuberculi de batate);

B. Materii prime zaharoase: sfecla și trestia de zahăr; melasa din sfecla și trestie de zahăr; struguri, fructe, tescovine dulci, etc.;

C. Materii prime celulozice: deșeuri din lemn (de brad, molid, fag); leșii bisulfitice rezultate de la fabricarea celulozei;

D. Materii prime care conțin inulină și lichenină: tuberculi de topinambur; rădăcini de cicoare; mușchi de Islanda.

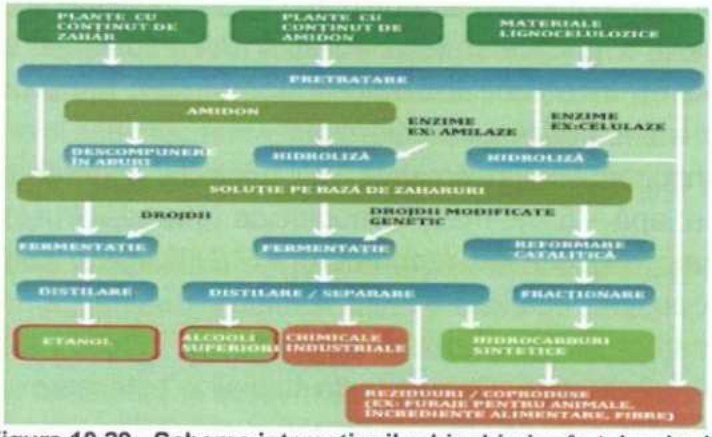



**Figura 10.29 - Schema interacțiunilor biochimice în tehnologia de producere a alcoolului**

*https://www.etipbioenergy.eu/images/EIBI-5-sugar-to-alcohols.pdf*

Prin urmare, etanolul poate fi obținut din sucul extras prin presarea tulpinilor, prin procesarea semințelor sau prin procesarea întregii mase vegetale, schema interacțiunilor biochimice pentru cele trei opțiuni fiind prezentată în figura 10.28.

*10.5.5. Procedee utilizate în fabricarea alcoolului din materii prime vegetale*

Fabricarea alcoolului se poate realiza prin două mari procedee (*Serna-Saldıvar S.O. și colab., 2012*) cu fierberea sub presiune a materiei prime și fără fierbere sub presiune.

Procedeele clasice de producere a alcoolului din materii prime se bazează pe fierberea sub presiune a materiilor prime, care se realizează în scopul gelificării și solubilizării amidonului astfel încât acesta să poată intra în proces cu ajutorul amilazelor la zaharificare.

Aplicarea procedeelor de prelucrare fără presiune necesită o mărunțire mai mare a materiei prime, astfel încât să se obțină randamente maxime de alcool, cu un consum minim de energie. O mărunțire insuficientă poate conduce la pierderi în alcool de până la 20 l/t.

*10.5.6. Particularitățile morfologice ale sSorgului zaharat cu impact asupra producerii de etanol*

În cazul sorgului zaharat, hidrații de carbon se formează în frunze prin fotosinteză și se transportă prin tuburi perforate în țesutul medular al tulpinii, care dispune de o capacitate sporită de înmagazinare a glucidelor (cca 75-80% din substanța uscată). Glucidele din frunze sunt dizolvate în apă și sunt transportate în tulpină până la maturizarea plantei.

Componența aproximativă a tulpinilor de sorg este următoarea: apă – 65 % mas; monoglucide (glucoză, fructoză etc) – 3 % mas; oligoglucide (zaharoză) – 12 % mas; poliglucide (amidon-5; pectină, celuloză-8) – 13 % mas; albumine – 2,5 % mas; hidrați de carbon cu masa moleculară mare – 3 % mas ; substanțe minerale – 1,2 % mas. Componența tulpinilor este aproximativă, deoarece ea depinde, de originea plantei și condițiile pedoclimatice, iar pe de altă parte, de faza de vegetație a plantei. Cantitatea

maximă a sucului poate fi de maxim 80÷85 % din masa tulpinii. Conținutul de zahăr în suc variază în funcție de soi (hibrid) și condițiile pedoclimatice, intre 8÷24 %. Tulpinile mature de sorg zaharat au o lungime de 1,5÷4,5 m, iar diametrul tulpinii la bază poate ajunge până la 40 mm, (*Morrissey K., 2017).*

Sorgul are o capacitate ridicată de lăstărire, care îngreunează condițiile de recoltare mecanizată și reduce gradul de extragere a sucului. În cazul unei densități mari a plantelor, diametrul tulpinilor este mic și prezintă un procent redus de producere al a sucului. Densitatea optimă a plantelor de sorg la 1 ha este de 100-120 mii plante recoltabile pe terenuri neirigate și 150-180 mii – pe terenuri prevăzute cu sisteme de irigare. Distanța recomandată dintre rânduri este de 50 cm, pentru a asigura spații de nutriție și luminozitate optime. Semănatul se realizează la distanțe între rânduri de minimum 70 cm, pentru a facilita utilizarea mijloacelor tehnice mecanizate.

Zaharurile sunt amplasate, în tulpina sorgului, neuniform fiind recomandată tăierea tulpinilor cât mai aproape de pământ, având în vedere ca internodurile inferioare și mediane conțin cea mai mare cantitate de suc.

Internodul purtător al inflorescenței este bogat în săruri minerale, care înrăutățesc indicii de calitate ai sucului extras prin presare. În contextul celor expuse, este necesar ca înainte de extragerea sucului, să se înlăture de la tulpină internodul superior cu panicul. Înălțimea tăierii tulpinii în partea inferioară este dictată și de necesitatea asigurării funcționării dispozitivului de tăiere. În aceste condiții este necesară tăierea tulpinii la înălțimea de 100-200 mm de la suprafața solului. Astfel lungimea tulpinii pentru presare variază între 1,5÷3,5 m.

Rezistența sporită a sorgului la secetă se datorează procesului limitat de transpirație al plantelor, fiind produs de stratul de ceară care acoperă tulpina și frunzele. La extragerea sucului ceara îi înrăutățește calitatea. Din acest motiv, precum și din cauza conținutului redus de zaharuri din acestea (3-7 %), se impune separarea frunzelor de tulpini pentru presare, *(Ivanova T. și colab., 2018).*

O creștere semnificativă a rentabilității cultivării sorgului zaharat se poate obține prin utilizarea produselor secundare (internodurilor superioare cu panicule, frunzelor, bagasei). Cercetările au confirmat un nivel crescut de compuși hrănitori în plante pentru utilizarea produselor secundare în vederea nutriției animalelor, în special a ovinelor și bovinelor.

În tehnologiile de cultivare și utilizare a sorgului zaharat, procesele care se pretează cel mai greu la mecanizarea complexă sunt recoltarea și prelucrarea (procesarea) tulpinilor. Prin urmare sunt necesare cercetări ample care să permită optimizarea acestor procese.

Pentru că morfologia sorgului zaharat coincide cu cea a trestiei de zahăr, tehnologiile de recoltare și procesare a acestora sunt similare, incluzând următoarele operații tehnologice:

- înlăturarea de la tulpină a paniculelor cu internodul superior și al frunzelor;
- tăierea tulpinii la internodul inferior; - tocarea tulpinii în fragmente de o anumită lungime;
- încărcarea și transportarea tulpinilor fragmentate, paniculelor, frunzelor la locul de prelucrare sau depozitare;
- extragerea sucului crud din segmentele de tulpini; - transportarea sucului la locațiile de producere a etanolului sau a produselor alimentare secundare;
- procesarea și depozitarea bagasei, (*Morrissey K., 2017).*

Pot fi utilizate două metode de recoltare a sorgului zaharat: manuală și mecanizată. Recoltarea mecanizată poate fi realizată direct, prin tăierea și încărcarea plantelor în mijlocul de transport sau separat prin tăierea plantelor și lăsarea lor pe sol, și încărcarea ulterioară a tulpinilor preprocesate în mijlocul de transport.

Indicată este recoltarea directă, deoarece ea permite evacuarea plantelor pentru procesare imediat după tăiere, evitându-se inițierea proceselor biochimice nedorite. Recoltarea directă are și alte avantaje cum sunt reducerea cheltuielilor de muncă și materiale și minimizarea acțiunii mijloacelor tehnice asupra solului. În ghidurile de proiectare a tehnicii agricole, se evidențiază patru scheme ale echipamentelor de recoltare și anume, *(Ivanova T. și colab., 2018)*:

a) tăierea paniculelor, tulpinilor cu frunze, fragmentarea și încărcarea tulpinilor;
b) tăierea paniculelor, tulpinilor, defolierea mecanică a tulpinilor, încărcarea tulpinilor întregi în mijlocul de transport sau, (în caz de necesitate), descărcarea pe suprafața solului;
c) tăierea paniculelor, tulpinilor, fragmentarea simultană a tulpinilor întregi, separarea frunzelor prin metoda aerodinamică, încărcarea fragmentelor de tulpini în mijlocul de transport;
d) tăierea tulpinilor, fragmentarea simultană a tulpinilor întregi cu înlăturarea paniculelor, separarea frunzelor prin metoda aerodinamică, încărcarea fragmentelor de tulpini în mijlocul de transport.

*10.5.7. Tehnologii utilizate pentru producerea etanolului din sorgul zaharat*

Principalul criteriu considerat în producția de alcool etilic din sorgul zaharat este costul de producție, care este puternic influențat de doua elemente: costul materiilor prime și de tehnologia de producție utilizată.

Principalele tehnologii utilizate pot avea ca obiective:
- Procesarea tulpinilor de sorg zaharat și obținerea de etanol din sucul obținut prin extrudarea acestora
- Producerea de etanol din masa lignocelulozică prin procese tehnologice complexe
- Producerea de bioetanol din semințele de sorg zaharat

*10.5.7.1. Tehnologii de producere a etanolului prin procesarea sucului de sorg zaharat (obținut din prelucrarea tulpinilor)*

- *Obținerea sucului din sorgul zaharat*

Extragerea sucului din tulpinile de sorg zaharat se efectuează de regulă utilizând prese dotate cu valțuri, folosind tehnici de extrudare. Alte tehnologii utilizează prese în formă de spirală care necesita mărunțirea anterioară a tulpinilor de sorg, sau chiar utilizarea unor separatoare de tip centrifuga după mărunțire, reușind astfel obținerea unei productivități mai mari, (*Morrissey K., 2017).*

Alegerea schemei tehnologice pentru extracția sucului din sorg zaharat, în marea măsură, depinde de destinația produsului obținut și de capacitățile tehnico-economice ale producătorilor.

În schemele tehnologice practicate la scară largă elementul cheie care contribuie la variația productivității de obținere a sucului este presa cu valțuri, *(Nan L., și colab. 1994).* Există variante constructive de prese cu 2 valțuri (1 pasaj de stoarcere), sau cu 3 valțuri (2 pasaje de stoarcere).

Metoda de extracție utilizată cel mai frecvent implică introducerea tulpinilor de sorg zaharat de către doi operatori în pâlnia de alimentare a echipamentului de extrudare, iar după trecerea prin valțuri sucul stors din tulpinile tocate se acumulează în bazinul de stocare temporară, de unde este pompat în cisterna, în timp ce bagasa este eliminată printr-un orificiu de evacuare.

După extragerea sucului, rămâne masa vegetală stoarsă (bagasa), care conține cca 50 % de substanță uscată (preponderent celuloză). Eficiența cultivării și procesării culturilor energetice depinde de modul de utilizare nu doar a produsului de bază dar și a celui secundar (bagasei). Bagasa poate fi utilizată în scopuri tehnice (hârtie, viscoză, furfurol etc.), energetice (pelete, brichete, biogaz), furajere, precum și în calitate de fertilizant al solului, *(Venkata S.C. și colab., 2012).*

Obținerea sucului crud de sorg zaharat cu ajutorul presei de stors cu valțuri în figura 10.30, fiind prezentată schema tehnologică de principiu.




**Figura 10.30 - Schema tehnologică de principiu a stației de obținere a sucului din sorgul zaharat *(Nan L., și colab. 1994)***

1 - sistem de recepția tulpinilor; 2 - buncărul de alimentare a utilajului de stors; 3 - utilajul de stors tulpini de sorg zaharat; 4 - transportor de evacuare; 5 - platforma de stocare pentru masă verde stoarsă

Instalațiile utilizate pentru extracția sucului din sorg se recomandă a fi amplasate în centrul bazinului de cultivare, asigurând o poziționare care să confere acces de la culturile de producție până la stație, dar și posibilitatea de gestiune ușoară a deșeurilor rezultate din procesare.

Bazinul colector constituie o anexă tehnologică care permite mutarea facilă a sucului în mijloace de transport adecvate, (cisterne auto) iar apoi acesta poate fi expediat la unitățile de industrializare.

Este de asemenea necesară amenajarea unui sistem de recepție a tulpinilor tocate aduse de vehicule. Capacitatea sistemului de recepție se corelează cu capacitatea utilajului de extrudat/stors de așa manieră, încât să permită funcționarea sa continuă între două transporturi succesive. Sistemul de recepție a materialului tocat, trebuie să permită alimentarea uniformă a utilajului de stoarcere, fie direct prin deversarea tocăturii în buncărul storcătorului, fie prin intermediul unui transportor, de preferință cu bandă, amplasat corespunzător între sistemul de recepție și buncărul storcătorului, *Nan L., și colab. 1994.*

- *Procesele de fermentație utilizate în producerea etanolului din sucul de sorg*

Microorganismele care influențează fermentația

Pe cale fermentativă se poate fabrica alcool, bazându-se pe proprietatea pe care o au unele drojdii selecționate de a transforma zaharurile fermentescibile în alcool și dioxid de carbon, fenomen denumit fermentație alcoolică. Rezultatul unei fermentații alcoolice este apreciat după cantitatea de alcool care se obține din zaharurile supuse fermentării, *(Rotaru V. și colab., 1976).*

Pe lângă drojdii, care predomină cantitativ, în mediile supuse fermentării se mai găsesc și alte microorganisme în cantitate variabilă, în raport cu obiectivele producătorului. Microorganismele consumă din substanța utilă (zahăr fermentescibil) și prin produsele lor de metabolism pot duce la slăbirea eficientei sau chiar inactivarea drojdiilor, efectul fiind diminuarea randamentului de producere a alcoolului. Gestiunea microorganismelor în procesul de fermentație este deci extrem de importanta în vederea maximizării producției de alcool.

În procesul tehnologic de fabricație a alcoolului se pot întâlni: drojdii, bacterii și mucegaiuri, *(Han K..J. și colab., 2012).* Drojdiile

folosite în industria fermentativă la fabricarea alcoolului, a drojdiei de panificație și a berii sunt plante microscopice unicelulare, cu dimensiunea de 6-10 u și nu conțin clorofilă. Ele fac parte din familia Saccharomycetaceae, genul Saccharomyces, specia Saccharomyces cerevisiae. Aceste drojdii au ca și caracteristică faptul că fermentează energic și complet zaharul.

Selecționarea se realizează prin izolarea unei singure celule, căreia i se creează condiții de multiplicare în laborator în medii lichide sterilizate pană la obținerea unei culturi pure. Cultura pură este apoi multiplicată în 2-3 faze în fabrică, pană la obținerea cantității de drojdie necesară fermentării plămezilor.

După modul de fermentare se deosebesc două feluri de drojdii cultivate: de fermentație inferioară și de fermentație superioară. Drojdia de fermentație inferioară formează un sediment floconos în tancurile de fermentare, de aceea în producerea alcoolului se folosesc drojdiile de fermentație superioară, care se dispersează uniform în toată masa lichidului care fermentează, optimul de temperatură fiind între 25-30 $^0$C, rezultând o cantitate net superioară de alcool, în comparație cu drojdiile de fermentație inferioară. (*Rotaru V. și colab., 1976).*

Capacitatea de fermentare a unei drojdii depinde în special de conținutul în enzime. Înmulțirea celulelor de drojdie încetează la o concentrație alcoolică de 4-5 %, dar o drojdie care are o capacitate bună de fermentare trebuie să continue fermentarea, pană la o concentrație alcoolică de circa 10 % *(Apostol L. și colab., 1969).*

Activitatea drojdiilor este influențată de o serie de factori precum:

- Structura și funcțiile enzimatice ale celulei de drojdie;
- Capacitatea de fermentare a drojdiilor;
- Temperatura;
- pH-ul mediului;
- Concentrația de zaharuri;
- Concentrația alcoolică;
- Oxigenul.

În industria alcoolului și a drojdiei trebuie să existe o preocupare permanentă pentru combaterea microorganismelor străine, care se mai numesc microorganisme de infecție.

Drojdia de cultură transformă zaharul în alcool și dioxid de carbon, în timp ce microorganismele străine consumă din zaharul existent și astfel determină scăderea randamentului în alcool. Microorganismele străine întâlnite la producerea alcoolului sunt drojdiile sălbatice, bacteriile și mucegaiurile, *(Apostol L.: și colab., 1969).*

- *Procedee de fermentație alcoolică*

Alcoolul etilic din sucul crud de sorg se poate produce prin procedee industriale de fermentație alcoolică de următoarele tipuri *(Cojocaru C., 1969)*:

A. Procedeu de fermentare alcoolică discontinuu.;
B. Procedeu de fermentare alcoolică semicontinuu;
C. Procedeu de fermentare alcoolică continuă fără sterilizare termică.

A. Procedeul de fermentare alcoolică discontinuu

Fermentarea sucului crud de sorg care conține glucide direct fermentescibile și compuși biologici activi necesari multiplicării celulelor de drojdie până la alcool etilic și dioxid de carbon are loc în prezența enzimei "zimază" produsă de specia de drojdie Sacharomyces cerevisiae adaptată pentru sucul crud. Acest procedeu industrial are o productivitate de 1,5÷2 kg alcool etilic/$m^3$ reactor.

*a) Faza de laborator.* Aceasta cuprinde pregătirea mediilor de cultură și a culturilor de drojdie. În această fază, un factor de cea mai mare importanță îl constituie sterilizarea, atât a mediilor de cultură cât și cea din timpul inoculărilor. Sterilizarea se efectuează pentru evitarea pătrunderii altor microorganisme existente în mediul ambiant, care odată apărute în culturile de laborator se dezvoltă și se înmulțesc în faza industrială, producând infecții periculoase, care periclitează fermentația, ducând implicit la diminuarea randamentului în alcool etilic, *(Cojocaru C. 1969).*

Ca substanțe pentru combaterea infecțiilor existente în sucul de sorg se pot folosi: sulfatul de cupru, acidul sulfuros, pentaclorfenolatul de sodiu, para şi orto-nitrofenolul și nitrofuranul. Dintre aceștia cele mai bune rezultate în combaterea infecțiilor le-a dat pentaclorfenolatul de sodiu. Constatându-se că pentaclorfenolatul de sodiu are influență

asupra drojdiei, se realizează lucrări de adaptare a tulpinilor de drojdie la acest antiseptic.

Pentru pregătirea mediilor de cultură se folosește sucul de sorg la care se adaugă substanțele nutritive (sulfatul de amoniu, superfosfatul de calciu). Sterilizarea mediilor de cultură se realizează în autoclavă la presiunea de 0,5 bar.

Multiplicarea culturilor de drojdie în laborator cuprinde mai multe faze de înmulțire, de la eprubetă până la bidon. Între fiecare fază se efectuează analiza microscopică în scopul urmăririi și dezvoltării celulelor de drojdie și pentru a preîntâmpina infecțiile cu microorganisme străine.

*b) Faza industrială.* Aceasta constă în dezvoltarea culturilor de drojdie în prefermentare, fermentarea sucului în linul de fermentaţie, distilarea plămezii și rafinarea alcoolului *(Cojocaru C. 1969).*

Prefermentatorul este prevăzut cu serpentină de încălzire și agitator, este supus sterilizării la o temperatură de 95÷105 °C.

Peste sucul crud, transvazat cu ajutorul unor pompe centrifuge în prefermantatorul sterilizat, se introduce apă fiartă până ce amestecul rezultat ajunge la o concentrație de 14÷150. Se introduc în prefermentator acid sulfuric și substanțele nutritive (sulfat de amoniu: acid fosforic), astfel că amestecul rezultat să ajungă la un pH final de 4,6 și temperatura de 27 ± 3 °C.

Urmează apoi înlocuirea cu culturi de laborator a amestecului din prefermentator în condiții sterile. În tot cursul dezvoltării culturilor este necesar să se respecte regimul tehnologic (temperatura 27 ± 3 °C; debit aer 20 mc/h; pH 4,5÷4,6). Sucul de sorg, cu ajutorul unei pompe centrifuge se transvazează în linul de fermentare sterilizat prealabil.

Linul de fermentare este prevăzut cu un agitator și o serpentină de încălzire cu aburi cu care se ridică temperatura sucului la 27±1 °C. Când se atinge această temperatură se face inocularea cu cultura de drojdie din prefermentator corectându-se pH-ul la 4,6÷4,8 cu acid sulfuric 30 %. Temperatura din linul de fermentație trebuie să rămână continuu în intervalul 27 ± 1 °C pe tot timpul fermentației.

În primele ore rezultă cantități reduse de alcool etilic și dioxid de carbon deoarece continuă procesul de înmulțire a drojdiilor. Un

ciclu, normal de fermentație durează 50÷60 ore, plămadă având un conținut în alcool etilic de 4,9÷5,2 %.

Plămada fermentată în linuri se transvazează în rezervorul de plămadă și de aici cu ajutorul pompelor centrifuge se alimentează coloana de plămadă trecând printr-un preîncălzitor unde i se ridică temperatura de 55÷60 °C. Coloana cu plămadă este încălzită cu aburi direct printr-un distribuitor de la baza ei.

În partea de concentrare a coloanei, plămada cu 5% alcool etilic se concentrează la 60÷70 % în funcție de cantitatea de alcool brut refluxat de la deflegmator. Alcoolul brut se stochează în rezervor.

Alcoolul brut se supune rafinării pentru obținerea alcoolului etilic de 95,5 %. Acesta, cu ajutorul unei pompe centrifuge se introduce în coloana de rafinare cu talere și clopote, care este încălzită la bază cu abur indirect. Vaporii de alcool rafinat sunt parțial condensați în deflegmatorul și condensul este refluxat total. Vaporii trec printr-un răcitor intermediar, unde condensează și de aici alcoolul rafinat este depozitat în rezervoare, *(Cojocaru C. 1969)*.

B. Procedeul de fermentare alcoolică semicontinuă

Acest procedeu are o productivitate de 3÷4 *l* alcool etilic/mc reactor și prevede fermentația alcoolică în prezenta de drojdie de panificație.



Fermentator 10 l



Fermentator 50 l

**Figura 10.31. Fermentatoare pentru instalații pilot de producere a alcoolului din sorg zaharat *(Li S.-Z., 2010)***

C. Procedeu de fermentare alcoolică continuă fără sterilizare termică

Cea mai răspândită metodă este metoda de fermentare fără reutilizarea drojdiei în procesul de fermentare. Acest procedeu permite

menținerea pe timp îndelungat a unei bune sterilizări a mediului, asigurând randamente sporite în alcool *(Cojocaru C. 1969)*.

Tehnologia de fermentare în lot (intermitent) (ciclu de fermentație aproximativ 70 de ore) sau tehnologia de fermentare continuă cu concentrație unică (ciclu de fermentație circa 24 ore) poate fi utilizată pentru fermentarea alcoolului din sucul de tulpină de sorg dulce. Tehnologia avansată a fermentației cu strat fluidizat cu drojdie stabila, care a fost dezvoltată în ultimii ani de către Universitatea agricolă Shenyang și Institutul de Ecologie Aplicată, face ca ciclul de fermentare a alcoolului să fie scurtat la 4-5 ore, crescând astfel foarte mult rata de producție a alcoolului.

- *Tehnologia de fermentare continuă a sucului de tulpină de sorg zaharat*

Pentru că sucul obținut din sorgul zaharat poate curge ușor, metoda recomandată pentru utilizare este cea de fermentare continuă. Comparând cu fermentația intermitentă, fermentarea continuă este mai rapidă, are un raport de utilizare mai mare al echipamentului, economisește mai multă forță de muncă și resurse materiale și are un consum redus de producție *(Nan L., și colab. 1994)*.

Echipamentul utilizat pentru fermentarea sucului de sorg este reprezentat în figura 10.32.



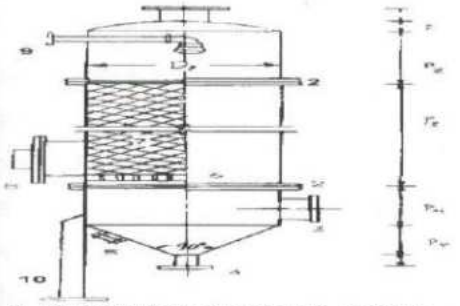

**Figura 10.32 . Schema rezervorului de fermentație**
***(Nan L., și colab. 1994)***

1 - admisie; 2 - priză de măsurare a presiunii; 3 - priza $CO_2$; 4 - fereastră; 5 - intrare pentru om; 6 - ieșirea apă de răcire; 7, 8 - soclu termometru; 9 - intrare pentru abur și gaz; 10 - gura de ieșire a sucului; 11-intrarea apa de răcire; 12, 13 - gaura de eșantionare

- *Tehnologia fermentării continue prin strat fluidizat cu drojdie stabilă*

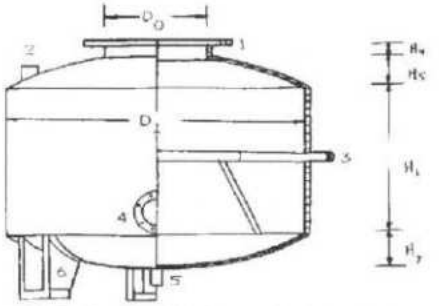
Tehnologie de fermentare prin *strat fluidizat cu drojdie stabilă* este o tehnică biologică avansată, și ușor de implementat. Comparând cu fermentarea în șarje și/sau fermentarea continuă cu concentrație unică, noua tehnologie de fermentare posedă avantajele: viteza rapidă a ciclului de fermentație, a randamentului ridicat și este ușor de realizat automatizarea. Capacitatea de producție a noii tehnologii este de 10 până la 20 de ori mai mare decât cea a fermentării în șarje. Ciclul de fermentație este scurtat pană la 4,5 ore, datorită faptului că drojdia stabilă se reproduce neîncetat și durata de viață a drojdiei este prelungită, poluarea mediului este atenuată, *(Nan L., și colab. 1994).*

Procesul tehnologic include sistemul de circulație a CO2, sistemul de curgere a sucului și sistemul de umplere, sistemul de eliminare a berii, sistemul de răcire și încălzire, instrumentele de măsurare și sistemul de producere a particulelor. Sistemul de circulație a CO2 este alcătuit din: colector de spumă (fig. 10.33); separator de gaz-lichid (fig. 10.35); rezervor de răcire și purificare (fig. 10.36); compresor de gaze; rezervor de stocare a gazului sub presiune; debitmetru; cameră cu gaze (fig. 10.34) . Sistemul de scurgere și umplere a sucului este alcătuit din rezervor de stocare a sucului; pompă de suc; filtru; rezervor de poziție; debitmetru; reactor biologic cu strat fluidizat cu trei unități *(Nan L., și colab. 1994).*



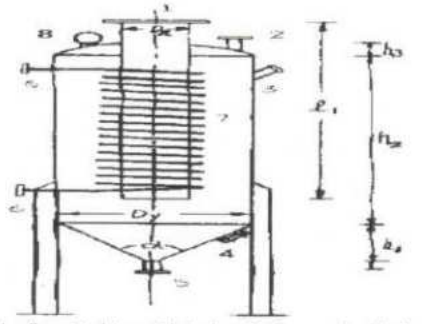
1 – Conducta de evacuare gaz; 2 - flanșă; 3 - conducta de intrare pentru gaz; 4 - Conducta de evacuare pentru lichid; 5 - fereastră; 6 - placă de separare; 7 - tocătura; 8 - gura de introducere a materialului; 9 - conducta pentru apă; 10 – picior

**Figura 10.33. Colector de spumă *(Nan L., și colab. 1994)***



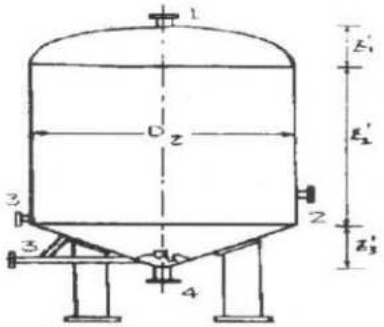
1, 9 - flanșă; 2 - fereastră; 3 - soclu termometru, 4 - placă de sprijin; 5 - țeavă de eșantionare; 6 - fereastră; 7, 8 - conducta de umplere a sucului

**Figura 10.34. Structura camerei de gaz *(Nan L., și colab. 1994)***



1 - flanșă și țeavă interioară; 2 - conductă de evacuare pentru gaz; 3 - soclu termometru; 4 - fereastră; 5 - flanșă și țeavă de evacuare pentru lichid; 6 - intrarea și ieșirea bobinei de răcire; 7 - bobină; 8 - soclu și contor de vid

**Figura 10.35. Separatorului de gaz-lichid *(Nan L., și colab. 1994)***



1 - conductă de evacuare gaz; 2 - conductă de admisie gaz; 3 - priză de conducte pentru măsurare; 4 - picioare

**Figura 10.36. Rezervorul de răcire și purificare *(Nan L., și colab. 1994)***

*10.5.7.2. Procesul tehnologic de distilare a plămezilor fermentate*

După ce sucul de sorg dulce a fost fermentat, sistemul de distilare este necesar pentru a prelucra și de a rafina alcoolul. Coloana de distilare poate fi selectată în conformitate cu tehnologia convențională pentru distilarea redată în figura de mai jos *(Nan L., și colab. 1994)*.

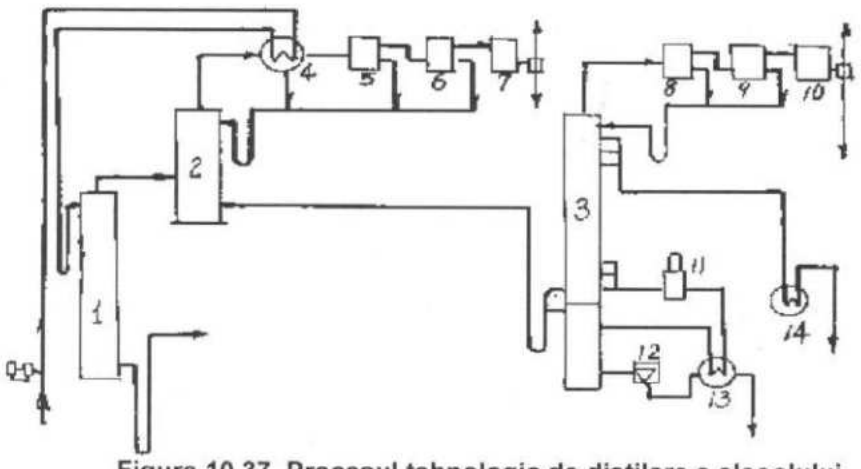
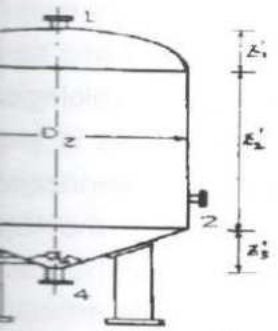


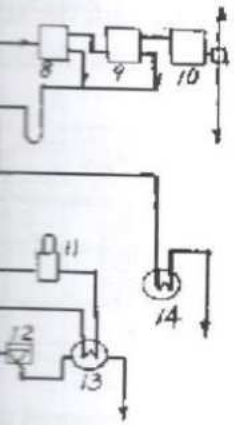
**Figura 10.37. Procesul tehnologic de distilare a alcoolului *(Nan L., și colab. 1994)***

1 - coloană de distilare brută; 2 - coloană de îndepărtare a aldehidei; 3 - coloana de purificare; 4 - preîncălzitor; 5, 6, 7, 8, 9, 10 - condensator; 11 - rafinărie de țiței; 12 - țeavă de evacuare apă; 13 - schimbător de căldură; 14 - răcitor de produs finit



ictă de evacuare gaz; 2 -
e admisie gaz; 3 - priză de
entru măsurare; 4 - picioare
10.36. **Rezervorul de**
**ire și purificare**
***L., și colab. 1994)***

*plămezilor fermentate*
rmentat, sistemul de
fina alcoolul. Coloana
itate cu tehnologia
de mai jos *(Nan L., și*



**tilare a alcoolului**

idehidei; 3 - coloana de
afinărie de țiței; 12 - țeavă
or de produs finit



- *Distilarea plămezilor fermentate*

Plămada fermentată este un amestec apos de diferite substanțe aflate în soluție sau în suspensie, unele dintre ele fiind substanțe nefermentescibile provenite din materiile prime și auxiliare, iar altele produse ale fermentației alcoolice.

Din materiile prime rămân în soluție cantități mici de zahăr rezidual, dextrine nezaharificate, acizi organici, grăsimi, substanțe azotoase neasimilate de drojdie, săruri minerale, iar în suspensie coji și proteine coagulate, (*Rotaru V. și colab., 1976).*

În timpul fermentației alcoolice se formează ca produse principale alcoolul etilic și dioxidul de carbon, iar ca produse secundare aldehide, esteri, alcooli superiori, alcool metilic, glicerină, ș.a. De asemenea, plămada fermentată mai conține drojdii și eventual microorganisme de contaminare.

Concentrația alcoolică a plămezii fermentate variază în limite largi cuprinse între 6 și 12% în funcție de tipul materiei prime și procesul tehnologic aplicat.

Alcoolul etilic și alți componenți volatili din plămadă ca: aldehide, esteri, alcooli superiori, furfural, acizi volatili, se separă prin operația de distilare. Distilarea se realizează prin încălzirea pană la fierberea plămezilor fermentate în instalații speciale, prin care alcoolul etilic și alți componenți volatili trec în faza de vapori și sunt apoi condensați prin răcire cu apă, *(Almodares A. și colab., 2009).*

Pentru a înțelege mai bine procesul de separare a alcoolului din plămadă prin distilare se poate asimila plămada fermentată cu un amestec binar miscibil format din alcool etilic și apă, având o concentrație alcoolică egală cu a plămezii fermentate. Separarea alcoolului etilic din acest amestec se bazează pe diferența de volatilitate dintre acesta și apă. Astfel, alcoolul etilic este mai volatil decât apa, având o temperatură de fierbere de 78,39°C, în timp ce temperatura de fierbere a apei este de 100°C, la presiunea atmosferică.

Întrucât separarea componenților din amestec prin distilare se face în ordinea volatilității lor, distilând mai întâi pe cei cu volatilitate

mai ridicată, deci cu temperatură de fierbere mai scăzută, înseamnă că vaporii rezultați prin fierberea amestecului de alcool și apă vor fi mai bogați în alcool etilic, iar amestecul supus distilării se va epuiza treptat în alcool.

Pentru a obține un produs cu un conținut ridicat în alcool sunt necesare distilări repetate și odată cu creșterea conținutului de alcool al lichidului supus distilării se realizează o concentrare până în momentul în care se ajunge la așa numitul punct azeotropic, din care nu se mai poate realiza în continuare o concentrare prin distilare. Pentru amestecul de alcool etilic și apă acest punct azeotropic corespunde unei concentrații alcoolice de 97,17 %vol. sau 95,57 % masic, *(Almodares A. și colab., 2009)*. Din acest motiv, pe calea distilării repetate se poate obține un alcool cu concentrația maximă de 97,2 % vol.

Pe lângă alcool și apă, prin distilarea plămezii fermentate trec în distilat și alte substanțe volatile, cum ar aldehide, esteri, alcooli superiori, acizi volatili, alcool metilic, care îi conferă un gust și un miros neplăcut produsului. Acesta este denumit alcool brut, care trebuie purificat în continuare prin operația de rafinare. Reziduul fără alcool rezultat în urma distilării este denumit borhot.





**Figura 10.38 - Echipamente utilizate pentru distililarea alcoolului etilic**

*https://www.ystralpump.com/product/distilling_system?gclid=CjwKCAjw6qqDBhB-EiwACBs6x1tyfzKC8LBqBbGhATv3k3NYUpZKuqkCEykaWEMi1sZqT693EMwPBxoC-jUQAvD_BwE*

*source=univ&tbm=isch&q=alcohol+distillation+equipment&client=firefox-b-d&sa=X&ved=2ahUKEwjW4_nG9ejvAhXOg_0HHcblAsUQjJkEegQIFRAB&biw=1366&bih=626#imgrc=BzEMSVi-2RyL2M*



**Figura 10.39. Echipamente industriale de distilare a alcoolului**
*https://line.17qq.com/articles/chkhplkoov.html*



**Figura 10.40. Sistem de distilare multi pressure Vogelbusch**
*https://www.vogelbusch-biocommodities.com/technology/alcohol-process-plants/ bioethanol-technology/*



**Figura 10.41. Instalație industrială semi-automată pentru producerea de etanol**
*https://www.indiamart.com/proddetail/bio-ethanol-plant-4312289997.html*



**Figura 10.42. Instalație industrială de producere etanol**
*https://www.ars.usda.gov/*

Distilarea plămezilor fermentate în vederea obținerii alcoolului brut este de fapt o distilare repetată a unor condensate alcoolice, cu scopul obținerii unei concentrații ridicate în alcool, proces care este denumit rectificare. Înainte de punerea în funcțiune, se umple cu apă coloana de distilare, în care se introduce abur, pentru a constata dacă nu există neetanșeități, *(Han K.J și colab., 2012)*.

În urma distilării rezultă ca produs intermediar alcoolul brut, care are o concentrație alcoolică de 80-85 % vol. și conține o serie de impurități, mai mult sau mai puțin volatile, fie provenite din plămada fermentată, fie formate chiar în cursul procesului de distilare.

Rafinarea reprezintă operația de purificare și concentrare a alcoolului brut, în vederea obținerii unui produs de puritate superioară denumit alcool etilic rafinat.

Prin rafinare alcoolul se concentrează, devine limpede, fără gust și miros străin, trebuie să aibă o concentrație alcoolică de minimum 96 %, nu trebuie să conțină alcool metilic sau furfural, iar conținutul său în acizi, esteri, aldehide și alcooli superiori trebuie să fie foarte scăzut.

Pentru a se realiza o purificare avansată a alcoolului este necesar ca la rafinare să se aibă în vedere două aspecte principale: temperaturile de fierbere ale impurităților și solubilitățile lor în amestecul de alcool și apă.

Impuritățile se vor repartiza în coloană în funcție de temperaturile lor de fierbere și solubilitatea lor, *(Serna-Saldıvar și colab., 2012)*.

Operația de rafinare a alcoolului brut se execută în instalații speciale, care în funcție de construcție și modul de funcționare, sunt de două tipuri:

- instalații cu funcționare discontinuă (periodică);
- instalații cu funcționare continuă.



**Figura 10.43. Sistem de fermentare și distilare multiplu**

*https://www.alibaba.com/product-detail/Brewery-1000l-1000L -Professional-Micro-Brewery_1600190440461.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.38c14335khdiK5&s=p*



**Figura 10.44. Sistem de fermentare și distilare multiplu**

*https://www.indiamart.com/proddetail/multi-product- distillation-system-12484299748.html*

*10.5.7.3. Procese tehnologice de rafinare a alcoolului din sucul de tulpină de sorg zaharat*

Unele țări bogate în resurse agricole exploatează energic culturile de carbohidrați și culturile de amidon pentru fabricarea alcoolului și pentru dezvoltarea de combustibili alternativi, *(Nan L., și colab. 1994)*. Aceasta este tehnologia cea mai simplă și ieftină de producere a zahărului și a alcoolului. Se compune din următoarele cicluri: se curăță tulpinile de frunze, se presează tulpinile pană la eliberarea sucului, se adaugă sucul de drojdie și zahăr, alcoolul se separă prin distilare, *(Kashapov N. F. și colab.,2016 )*.

Există o cantitate mare de zahăr în sucul de tulpină dulce de sorg. Sucul de tulpină de sorg dulce este bogat în zahăr fermentativ și este un material dorit de fermentație alcoolică.

Producția de alcool cu tulpină de sorg dulce ca materie primă nu necesită tehnologie complicată și echipamente scumpe, de asemenea, perioada de producție este scurtă din cauza unor proceduri care sunt lăsate afară. Este o metodă de producere a alcoolului cu cost redus, *(Wu X. și colab., 2010)*.

În ceea ce privește conținutul de amidon, începutul lunii octombrie este cel mai bun moment pentru recoltare atunci când cantitatea de amidon este mare. Amidonul poate fi utilizat pentru a produce alcool prin fermentare.

Sucul de sorg dulce conține o cantitate mare de zahăr fermentabil, conținutul de zahăr variind în funcție de condițiile de sol și de soiurile de sorg dulce.

*10.5.7.4 Producerea bioetanolului din sorgul zaharat utilizand biomasa lignocelulozică*

Producția de bioetanol lignocelulozic din sorgul zaharat reprezintă o alternativă avantajoasă pentru bioetanolul produs la scară largă din amidon. Bioetanolul lignocelulozic are principalul avantaj că nu concurează cu producția de hrană și contribuie la o reducere importană a emisiilor de gaze cu efect de seră. Biomasa lignocelulozică reprezintă o sursă de zaharuri cu o mare disponibilitate, multe dintre materialele cu un conținut ridicat de energie fiind deșeurile din diferite activități agricole. (*Rivera-Burgos și colab., 2019*).

Lignoceluloza este o structură complexă formată din celuloză, hemiceluloză, lignină și alte componente regăsite în proporții mai mici. Lignina joacă un rol important în reticularea celulozei și a hemicelulozei, ceea ce face ca întreaga sa structură să fie mai durabilă și mai rezistentă la agenții externi de hidrolizare. În cazul producției de bioetanol, acesta este un obstacol major, prin urmare, un pas important în procesarea masei plantelor este pretratarea acesteia pentru îndepărtarea ligninei și creșterea potențialului de acțiune al agenților de hidrolizare (*Batog și colab., 2020; Kumar și colab., 2017*).

Atât celuloza cât și hemiceluloza reprezintă surse de zaharuri fermentabile pentru diferite microorganisme, care le pot procesa și transforma masa vegetală în etanol. Procesul de conversie a biomasei de sorg în bioetanol constă în trei etape principale. Primul pas este pregătirea biomasei prin utilizarea pretratamentului fizico-chimic. Tocarea este cea mai utilizată metodă fizică de reducere a dimensiunii substratului și favorizează accesul substanțelor bioactive la suprafața de contact a materiei brute, la reducerea polimerizării și a gradului de cristalizare a lignocelulozei. Procesele chimice includ, tratamente cu diferiți acizi și baze în funcție de metoda utilizată. Astfel, au loc diferite modificări în cadrul complexului lignocelulozic. Pretratarea alcalină și neutră este un proces de delignificare, în timp ce tratamentul cu acid și abur dizolvă cea mai mare parte a hemicelulozei.

Un alt pas în procesare o reprezintă hidroliza enzimatică, folosind preparate enzimatice speciale, care permit eliberarea de zaharuri fermentabile. Fermentarea etanolului este ultima etapă în care monozaharidele sunt transformate în etanol de către diferite microorganisme, dintre care cea mai cunoscută este drojdia Saccharomyces cerevisiae (*Rosales-Calderon și colab., 2019*).

Principala problemă în utilizarea sucului de sorg pentru producerea de biocombustibili este reprezentată de degradarea rapidă a acestuia. Există câteva tehnologii de stocare aplicabile precum evaporarea apei din suc, conservarea tulpinilor în acid formic sau conservarea utilizând straturi enzimatice, însă acestea nu rezolvă problema pe perioade de timp îndelungate.





De aceea u
bioetanol din toată
extracția sucului.
producția de etano
(în principal lignina
Hidroliza fracțiunilo
acizi sau enzime ce
de pretratare pentr
degradată astfel m

*Sipos și cola*
bagasei la diferit
semnificativă a efic
că cele mai eficien
temperaturi de 190
timp de 5 min pentr

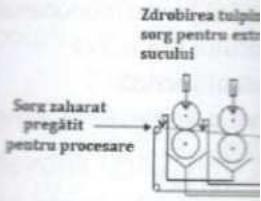



**Figura 10.45. Dia
etanolului (procede
procesare**

Costul cu tran
un factor limitativ
Peletizarea sau alte
la creșterea eficienț

De aceea una dintre posibilele abordări ar fi producerea de bioetanol din toată masa plantei, în special din bagasa obținută după extracția sucului. Cea mai promițătoare utilizare a bagasei este producția de etanol pe bază de celuloză, în timp ce solidele reziduale (în principal lignina) ar putea fi arse pentru a furniza căldură și energie. Hidroliza fracțiunilor de celuloză și hemiceluloză poate fi catalizată de acizi sau enzime celulolitice. Procesul enzimatic are nevoie de o etapă de pretratare pentru a crește susceptibilitatea celulozei, care poate fi degradată astfel mai ușor de enzimele celulolitice la glucoză.

*Sipos și colab. (2009)* au propus o metodă de tratare cu abur a bagasei la diferite temperaturi cu care au reușit o creștere semnificativă a eficienței de hidroliză a celulozei. Eu au concluzionat că cele mai eficiente condiții de procesare presupun menținerea unei temperaturi de 190 °C, timp de 10 min sau o temperatură de 200 °C, timp de 5 min pentru o conversie de 85-90 %.

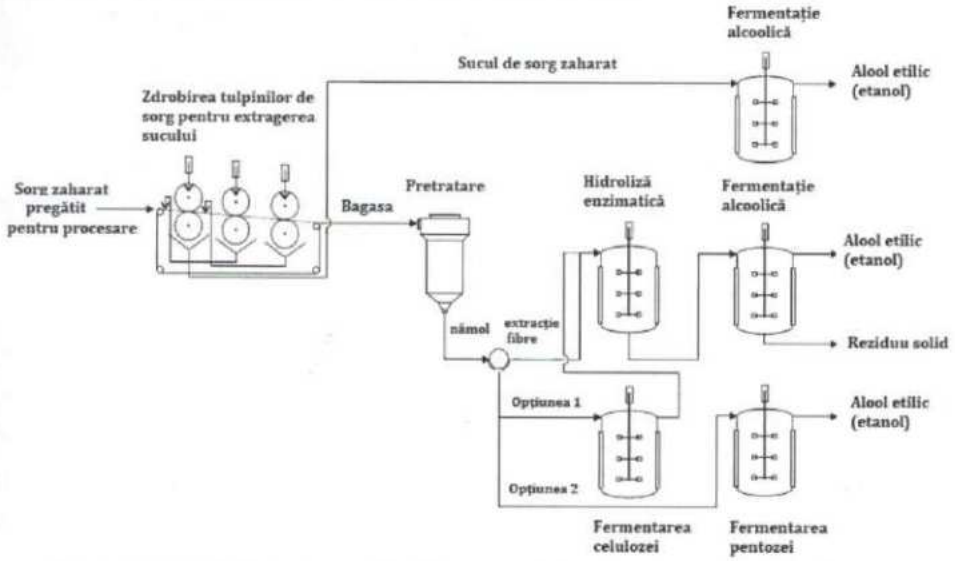



**Figura 10.45. Diagrama utilizării sorgului zaharat pentru producerea etanolului (procedeu combinat care implică atât extragerea sucului cat și procesarea bagasei pentru obținerea de combustibil)**
***(Sipos și colab., 2009)***

Costul cu transportul al masei vegetale de sorg zaharat reprezintă un factor limitativ pentru utilizarea pentru producerea de biogaz. Peletizarea sau alte metode de compactare a materialului pot contribui la creșterea eficienței procesului (*Theerarattananoon și colab. 2011*).

Sorgul are în compoziție fibre cu niveluri mai scăzute de lignină decât multe alte surse lemnoase (*Reddy și Yang 2007; Godin și colab. 2010*). Arderea bagasei pentru producerea de energie este în prezent o opțiune mai profitabilă decât alte potențiale aplicații (*Bennett și Anex, 2008*).

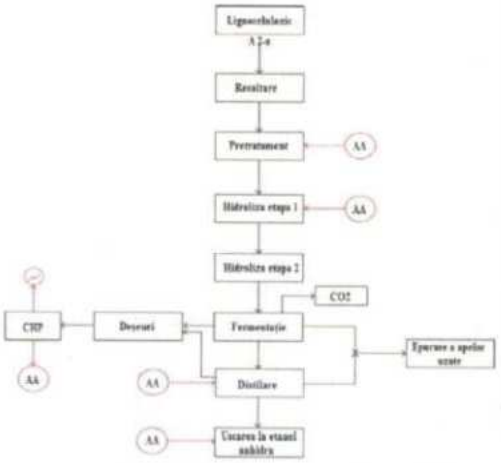



**Figura 10.46. Producere etanol din generația a doua (AA: Aport Abur)**
*https://www.hindawi.com/journals/tswj/2014/298153/*



**Figura 10.47. Fabrică pentru producerea bioetanolului din masă lignocelulozică**
*https://www.s2biom.eu/images/Publications/S2biom---T932---SCS-Serbia---report.pdf*

Principalul dezavantaj al producerii de biocombustibili din biomasa lignocelulozică este reprezentat de provocările tehnologice, economice și de mediu. Structurile lignocelulozice foarte complexe fac necesară utilizarea agenților chimici și biochimici și a procedurilor complicate care scad randamentul produselor obținute și descurajează astfel investițiile la scară largă.

Un factor care trebuie considerat în cazul reziduurilor agricole este acela că utilizarea lor în procentaj mare poate conduce la probleme de mediu precum eroziunea solului și la reducerea conținutului de materie organică din sol. Practicile de conservare ale solului prevăd un procent de maximum 30% din reziduurile vegetale care trebuie îndepărtate de pe suprafața solului, pentru a stopa fenomenele de eroziune (*Kim și Dale, 2004).*

i mai scăzute de lignină
g 2007; Godin și colab.
energie este în prezent
licații (*Bennett și Anex,*



**47. Fabrică pentru producerea etanolului din masă lignocelulozică**
*s2biom.eu/images/Publications*
*n---T932---SCS-Serbia---*
*report.pdf*

de biocombustibili din
provocările tehnologice,
ice foarte complexe fac
imici și a procedurilor
obținute și descurajează

zul reziduurilor agricole
are poate conduce la
lului și la reducerea
icile de conservare ale
din reziduurile vegetale
olului, pentru a stopa



Conversia materiilor prime lignocelulozice în etanol este un proces complex, care necesită mai multe etape, dintre care unele au ajuns la maturitatea tehnologică, pe când altele nu sunt complet dezvoltate.

Comparativ cu producția de etanol din materiale care conțin zaharoză, procesarea biomasei implică realizarea unui număr mai mare de procese tehnologice și presupune o cantitate mai mare de material brut care trebuie tratat. În momentul descompunerii complexului lignocelulozic, sunt eliberați mulți carbohidrați unii dintre aceștia fiind fermentabili pe când alții nu sunt ușor fermentabili. Un alt dezavantaj este dat de generarea prin proces a unor compuși care pot fi toxici pentru dezvoltarea microorganismelor. De aceea, este necesar ca în procesul de procesare să se includă etape suplimentare, cum ar fi detoxifierea și neutralizarea biomasei pretratate. Mai mult, celuloza trebuie sa fie mai întâi hidrolizată înainte sau simultan cu etapa de fermentare, pentru a produce etanol, etapa ce poate implica unele condiții de prelucrare periculoase sau toxice pentru mediu (*Bhagia și colab., 2017*).

Dezvoltarea unor noi modalități de a reduce costurile de producție și de a îmbunătăți eficiența diferitelor etape de procesare, a devenit una dintre principalele direcții de cercetare pentru producerea de etanol din biomasă, scopul fiind acela de a reduce costul producerii unui litru de etanol din materiale lignocelulozice comparativ cu utilizarea materiilor prime care conțin zaharoză sau a materialelor ce conțin amidon (*Bušić și colab., 2018*).

*10.5.7.5. Producerea etanolului din semințele de sorg zaharat*

Pentru a crește valoarea culturilor de sorg, trebuie dezvoltate tehnologii complementare care să utilizeze la eficiență ridicată părțile plantelor care sunt generate de regulă ca deșeuri în producția de etanol, cum sunt semințele. Semințele de sorg prezintă cea mai importantă sursă de carbohidrați, componenta sa în amidon având proprietăți similare cu porumbul.

Există foarte multe soiuri și hibrizi de sorg, cu variații mari ale compoziției lor ce afectează performanțele de hidroliză și fermentare.

Este extrem de important ca industria producătoare de etanol și producătorii de sorg să aibă metode adecvate care anticipează cu precizie randamentele de etanol și eficiența conversiei din semințe.

*Barcelos și colab. (2011)* au studiat producția de etanol din semințele de sorg, utilizând α-amilază și glucoamilază pentru hidroliză, considerând dimensiunile particulelor, raportul solid-lichid și sarcina enzimatică. În cele mai bune condiții hidrolizatul a conținut glucoză într-o concentrație de 250 g /L, care a fost fermentată pentru producerea de etanol într-un reactor discontinuu. Tehnica utilizată a permis obținerea unei concentrații maxime de etanol produsă de aproximativ 106 $gL^{-1}$ în 24 de ore de fermentație, rezultând o productivitate volumetrică de 4,4 $gL^{-1}h^{-1}$ și un randament al produsului pe baza substratului consumat (0,499 $g.g^{-1}$) apropiat de cel teoretic.

Producția de etanol din semințele de sorg zaharat în acest moment nu prezintă un interes deosebit, având în vedere ca hibrizii dezvoltați sunt orientați către producerea de tulpini voluminoase, cu conținut ridicat de suc și zaharuri.

*10.5.7.8. Producerea de alcool etilic din sorgul zaharat, utilizat în industria alimentară*

Se estimează că din producția de sorg zaharat obținută pe plan global, un procent de 35 % este alocat consumului în industria alimentară, sub diferite forme în timp ce restul de 65% este utilizat în principal pentru hrana animalelor, obținerea de biocombustibili și în realizarea unor produse industriale (*Kangama și colab., 2005*).

Producția de etanol din sorgul zaharat este considerată a fi o opțiune mai avantajoasă decât arderea acestuia pentru a produce energie. Cu toate acestea, producția de etanol sau zahăr din sucul de sorg la nivel industrial au fost condiționate semnificativ de prețul zahărului produs în China. Creșterea prețurilor petrolului obligă industria chimică să găsească materii prime alternative pentru producerea etanolului, chiar și pentru alcoolul cu destinație alimentară.

Etanolul alimentar obținut din sucul sorgului zaharat are avantajul de a fi produs prin mijloace și procese tehnologice bine cunoscute. Țări din America de Sud precum Brazilia au tehnologii

mature de producție de îndulcitori și alcool din sorgul zaharat, cel mai des întâlnit flux fiind cel în cascadă cu rezervor tampon, menținând o temperatură de fermentare de 33-35 °C. Creșterea conținutului de drojdii este controlată prin intermediul aportului de oxigen, iar fosforul (sub formă de acid fosforic) și azotul sunt utilizate pentru creșterea drojdiei. Drojdia este separată prin centrifugare în rezervoare de reținere, iar conținutul este orientat rezervoarele de fermentare. Etanolul este apoi recuperat prin distilare și deshidratare pentru producerea de etanol anhidru. Acest lucru se realizează în două coloane, prima fiind o coloană de distilare și iar a doua fiind o coloană de rectificare, cuplate cu site moleculare. Randamentul de etanol prezentat în acest flux tehnologic este de 87L de alcool pe tona de suc de sorg zaharat.

*Rathnavathi și colab. (2003)* au prezentat un studiu pilot care a evaluat fezabilitatea producerii de alcool din sorgul zaharat utilizând soiul studiat SSV-84. Sucul a fost obținut prin zdrobirea și extrudarea tulpinilor de sorg imediat după recoltare. Timpul de procesare pentru 100 tone de suc de sorg a fost de 8 ore, obținându-se 47 kL de suc, având 18% în grade Brix. Peste această cantitate a fost adăugată o nouă cantitate de 60 kL suc de sorg cu 12 % Brix, pentru a asigura cantitatea de funcționare optimă a instalației, pompând sucul în rezervorul de fermentare. Din cauza conținutului mare de fibre din suc, procesul de transport al sucului a durat 3,5 ore, apoi a fost amestecat cu un inocul din drojdii și a fermentat timp de 48 de ore. Utilizând procesele de distilare și rafinare s-a obținut o concentrație de pană la 95 % alcool. Bagasa rezultată din proces a avut un conținut de 46.5% umiditate și 2.6 % zaharuri, fiind utilizată în procese de cogenerare în special pentru producerea de electricitate. Din cogenerarea bagasei a rezultat o producție estimată de 2086 de calorii nete de energie pe tonă.

Pentru realizarea studiului de fezabilitate, *Rathnavathi și colab. (2003)* au analizat producția în 60 de ferme de dimensiuni mici (capacități între 4 ha și 6 ha) din India într-un an care a prezentat condiții meteorologice dificile. S-a estimat o medie de achiziție a materiei prime (tulpini de sorg) de la fermieri de 4,44÷5,55 Euro/tonă

și un cost de procesare și transport de aproximativ 1,11 Euro/tonă. Media de productivitate a culturilor e terenul din India a fost de 21,9 t/ha de tulpini neprocesate, rezultatul obținându-se într-un an foarte secetos și călduros. Semințele obișnuite din culturi au fost utilizate pe plan local în alimentație și creșterea animalelor. Având în vedere ca fluxul tehnologic și instalațiile utilizate pot procesa atât trestia de zahar cât și sorgul zaharat s-au analizat comparativ costurile de producție a celor două culturi. A rezultat un cost de producție per litru de alcool, utilizând forța de muncă și prețul energiei din India de 0,15 Eur/litru pentru sorgul zaharat și un preț de 0,10÷0,13 Eur/litru din trestia de zahar. Deși costul de producție al alcoolului din sorgul zaharat a fost mai mare, nu au fost considerate elemente care țin de protecția mediului înconjurător.

Sorgul zaharat prezintă avantajul de a putea fi recoltat de până la două ori pe an, datorită creșterii și dezvoltării rapide, în timp ce prima taiere a trestiei de zahar poate avea loc după 18 luni de la plantare. Pentru producția de etanol din suc, procesarea materiei prime se poate realiza mecanizat și mult mai facil decât în cazul altor culturi, iar necesarul de apă este mai mic.

Unul dintre avantajele obținerii alcoolului alimentar din sorgul zaharat este acela ca gustul acestuia nu este alterat prin prezența unor substanțe volatile, așa cum se întâmplă în cazul topinamburului.

Deși alcoolul alimentar se poate obține și din semințe sau resturile vegetale rezultate din procesele industriale, costul de procesare este prea mare raportat la costul de vânzare al produsului obținut. Bagasa rezultată are cea mai mare valoare energetică în raport cu deșeurile obținute din procesarea altor plante energetice, de aceea utilizarea cea mai eficientă economic este producția de nutrețuri pentru hrana animalelor.

Unul dintre cele mai mari costuri în procesarea sorgului zaharat este transportul materiei prime. Spre deosebire cu alte culturi, tulpinile de sorg sunt mult mai voluminoase, în special din cauza frunzelor iar costul cu transportul poate crește cu pană la 75 % în comparație cu sfecla de zahăr sau trestia de zahăr.

Costurile cu forța de muncă în procesarea sorgului zaharat sunt de asemenea mari, chiar și în cazul unei procesări mecanizate intense. Echipamentele de eliminare a frunzelor de pe tulpini prezintă unele complexități tehnice și au un consum de energie ridicat. Natura și forma plantelor de sorg zaharat generează probleme transportoarelor automate, pentru ca tulpinile tind să genereze blocaje.

Unii parametri de fermentație, cum ar fi viteza optimă de inoculare, pH-ul, temperatura etc. joacă un rol important în obținerea unui randament ridicat de etanol. Sunt de asemenea necesare substanțe nutritive în cantități suficiente pentru ca drojdiile din inocul să crească și să se reproducă. Au existat numeroase studii privind fermentarea melasei de către S. cerevisiae pentru trestia de zahar sau sucul de fructe, însă sucul de sorg zaharat are o compoziție diferită, iar parametrii de fermentație trebuie să fie optimizați pentru producția de etanol alimentar.

*Parmar și colab. (2017)* au obținut alcool etilic din sorgul zaharat utilizând drojdii (Saccharomyces cerevisiae) la temperatura camerei, studiind cantitatea de inocul (5%, 7,5%, 10%), rata de agitație a amestecului (50 rpm, 75 rpm, 100 rpm) și temperatura de procesare (20°C, 25°C, 30°C), și analizând diferite variabile de răspuns printre care aciditătea totală, pH-ului și procentul de etanol produs. Astfel, a fost identificat un regim optim de procesare în condițiile de temperatură de 30°C, 100 rpm și 5% (v/v) inocul.

*Prasad și colab. (2009),* au studiat tehnologia de fermentare discontinuă, pentru a obține procese de fermentație mai rapide și randamente ridicate de producere a etanolului din sucul de sorg zaharat. Parametrii optimi de fermentație pentru generarea unui randament ridicat de etanol și o eficiență de fermentație ridicată, utilizând tulpina Saccharomyces cerevisiae NCIM 3186 au fost identificați pentru valorile de pH 4,5, temperatura 30 °C, rata de inoculare 10 % și suplimentarea cu sulfat de amoniu de 0,03 %.

Procesele de izolare a unor drojdii și utilizarea acestora în vederea îmbunătățirii proceselor de fermentare au fost de asemenea studiate de *Rahman și colab. (2013)*. Două tulpini de Saccharomyces cerevisiae au fost izolate din sucul de curmale și struguri și crescute

în medii speciale de cultură pentru a îmbunătăți procesul de fermentare a sorgului zaharat. Rezultatele au arătat că o temperatură de 30 °C, pH-ul 6,0 și o concentrație de zahăr de 6,5 % au fost optime pentru fermentarea masei procesate.

Testele de toleranță la stres au arătat că izolatele au fost extrem de tolerante la temperatură, pH și concentrația mare de etanol. Izolatele de drojdie testate pentru fermentarea carbohidraților s-au arătat eficiente în procesele de fermentare a șase din cele șapte zaharuri testate. Izolatul din curmale a fermentat cu succes glucoza, zaharoza, fructoza, lactoza, maltoza și trehaloza, însă nu a reușit fermentarea xilozei. Izolatul de struguri nu a reușit fermentarea maltozei și a xilozei. Rezultatele fermentației de 72 de ore au arătat caracterizarea detaliată a izolatului de suc de curmale, care s-a dovedit a fi cel mai bun izolat din toate punctele de vedere.



**Figura 10.48. Prezentarea unei fabric utilizate în producerea producerea alcoolului alimentar**

*https://tomsadestil.es/?gclid=CjwKCAjwjbCDBhAwEiwAiudBy9FMeEW8sj6reE0O1mH2afCqoQOznhXoB0zky4oLOcxcmEW5zmK-IhoCYnIQAvD_BwE*

## 10.6. VALORIFICAREA SUBPRODUSELOR ȘI DEȘEURILOR REZULTATE DIN FABRICAREA ALCOOLULUI

Din procesul tehnologic de fabricare a alcoolului rezultă că principale subproduse dioxidul de carbon, alcoolul tehnic, iar ca deșeuri recuperabile: borhoturile de cereale, cartofi și melasă, *(Almodares A. și colab., 2009).*

Prin valorificarea integrală și complexă a subproduselor și deșeurilor rezultate, fabricile de alcool beneficiază de avantaje

economice apreciabile, rezolvându-se parțial sau chiar integral și problema apelor reziduale, *(Negro M.J. și colab., 1999)*.

În timpul fermentării plămezilor din materii prime amidonoase sau melasă se degajă dioxid de carbon, care antrenează și cantități mici de alcool, produse secundare de fermentație cat și apă din plămadă, impurități care formează 0,5-1 % din cantitatea de gaz degajată.

Cantitatea de dioxid de carbon care rezultă teoretic prin fermentare reprezintă 48,8 % din masa glucozei fermentate, 50,3 % din masa maltozei și 54,3 % din masa amidonului prelucrat. Cantitatea recuperabilă de dioxid de carbon depinde de materia primă folosită, procesul tehnologic aplicat și mărimea linurilor de fermentare. Dioxidul de carbon se poate recupera prin lichefiere, având o puritate de minimum 98 %, să conțină maximum 0,1 % apă, să nu conțină urme de ulei și alte gaze și să nu prezinte mirosuri străine.

Carbonatul de calciu se obține în fabricile de alcool, folosind ca materii prime varul și dioxidul de carbon rezultat de la fermentație. Stingerea varului se efectuează cu apă caldă cu temperatura de 65÷70 °C.

Alcoolul tehnic reprezintă amestecul de alcooli rezultat în instalațiile de rafinare, în care predomină frunțile. Alcoolul tehnic este folosit în industria lacurilor și vopselelor sau la fabricarea alcoolului denaturat.

Frunțile obținute de la rafinare se pot întoarce la fermentare sau la distilare. Prin reîntoarcerea frunților în plămezi la începutul fermentării se limitează formarea de noi produse secundare de fermentație ce conduce la creșterea randamentului în alcool, iar prin întoarcerea lor la distilare se frânează procesul de formare a esterilor, iar unii acizi trec în borhot, *(Han K.J. și colab., 2012)*.

Uleiul de fuzel este un produs rezultat de la rafinarea alcoolului brut, format din impurități cu volatilitate mai redusă din care predomină alcoolii superiori: amilic, izoamilic, izobutilic, propilic. Alături de alcooli superiori, se găsesc cantități mai mici de esteri ai acestora, acizi organici volatili și furfural.

Borhotul rezultat de la distilarea plămezilor fermentate conține atât substanțe nefermentescibile din materia primă (celuloză, proteine,

pectine, grăsimi, acizi nevolatili, substanțe minerale), resturi de amidon, dextrine și uneori chiar maltoză nefermentată, produse secundare nevolatile ale fermentației alcoolice (glicerină, acid lactic) cat și celule de drojdii, *(Negro M.J. și colab., 1999)*.

Datorită substanțelor nutritive pe care le conține, în special a substanțelor azotoase asimilabile, borhotul din cereale și cartofi constituie un furaj valoros. Acesta se poate folosi în stare proaspătă, îmbogățit în vitamine sau în lactat de amoniu sau sub formă de borhot uscat.

## 10.7. VALORIFICAREA TULPINILOR DE SORG ZAHARAT SUB FORMĂ DE GLUCIDE HEMICELULOZICE ȘI BIOETANOL

Creşterea cererii de combustibili fosili și preocupările asociate încălzirii globale, emisiilor de gaze cu efect de seră și securității energetice, au accelerat producția de biocombustibili din materii prime regenerabile în sectoarele de transport (*Girard și Fallot, 2006; Ahorsu și colab., 2018*). În aprilie 2009, Uniunea Europeană a adoptat una dintre cele mai ambițioase politici de energie regenerabilă pentru a lupta împotriva schimbărilor climatice și a reduce poluarea aerului. Directiva privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile (*Directiva 2009/28/EC*) a stabilit un obiectiv de 20% privind ponderea globală a energiei din surse regenerabile (inclusiv un obiectiv de 10% privind energia din surse regenerabile în transporturi) până în 2020. În decembrie 2018, Directiva revizuită privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile *(Directiva UE 2018/2001)* stabilește un nou obiectiv obligatoriu, respectiv atingerea unei ponderi de cel puțin 32 % a energiei din surse regenerabile în cadrul consumului final brut de energie din Uniunea Europeană până în anul 2030.

În acest context, sorgul zaharat poate fi considerat unul dintre cei mai promițători candidați pentru producția de bioetanol, limitând obținerea de biocombustibili din culturi alimentare și furajere (cum ar fi cerealele și alte culturi bogate în amidon) (*Dar și colab., 2018*). Sorgul zaharat are următoarele avantaje (Fernandes și colab., 2014): (i) ciclu de viață rapid (între 90 și 120 de zile); (ii) toleranță la secetă și capacitatea de a crește în condiții infertile; (iii) tulpini bogate în glucide fermentescibile (40-60 tone/hectar); (iv) se pretează pentru producția

de bioetanol de a doua generație; și (v) echilibru energetic. Sorgul zaharat este o cultură unică care produce tulpini lignocelulozice cu cantități mari de biomasă și glucide fermentescibile (*Zegada-Lizarazu și Monti, 2012; Appiah-Nkansah și colab., 2019*) fiind considerată o sursă promițătoare pentru producția de biocombustibili (*Aguado-Santacruz și colab., 2012; Mathur și colab., 2017*).

Folosind tulpinile de sorg zaharat colectate dintr-o plantație experimentală situată în Secuieni (România), *Furdui și colab. (2018-2021)* au realizat un studiu privind evaluarea experimentală a producției de glucide hemicelulozice (în principal monozaharide precum glucoză și xiloză) utilizând pretratamentul cu acid sulfuric ($H_2SO_4$) diluat în condiții izoterme, precum și producția de bioetanol din biomasa lignocelulozică de sorg zaharat și fazele solide rezultate în urma pretratamentelor selectate (cu 3 % $H_2SO_4$ timp de 30, 60 și 120 min la 134 °C), utilizând două procese diferite: (i) fermentarea; și (ii) zaharificarea și fermentarea simultană (SSF) (fig. 10.44).

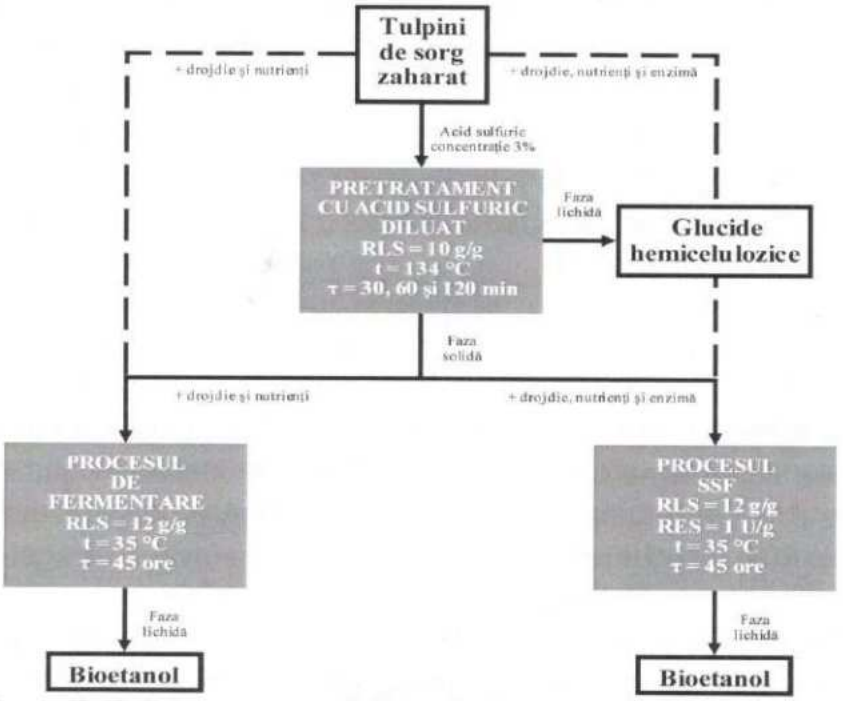



**Figura 10.49. Schema procesului tehnologic pentru producția de glucide hemicelulozice din tulpinile de sorg zaharat și producția de bioetanol din biomasa lignocelulozică de sorg zaharat și fazele solide**
*(Buruiană și colab., 2020)*

*10.7.1. Valorificarea tulpinile de sorg zaharat sub formă de glucide hemicelulozice*

Producția de glucide hemicelulozice din tulpinile de sorg zaharat a fost studiată de mai multe colective de cercetători, folosind metodologii diferite. Pretratamentul cu $H_2SO_4$ diluat este unul dintre cele mai utilizate procese pentru îmbunătățirea digestibilității biomasei, provocând modificări chimice și structurale prin hidroliză (*Mekala și colab., 2014; Peral, 2016*). Etapa de pretratament este capabilă să solubilizeze hemiceluloza, să modifice structura ligninei și să reducă cristalinitatea celulozei precum și gradul său de polimerizare, ducând la recuperarea glucidelor hemicelulozice în faza lichidă în timp ce celuloza și lignina sunt reținute în faza solidă (*López-Linares și colab., 2020*). Hemiceluloza și celuloza sunt carbohidrații polimerici din materialul lignocelulozic, fiind alcătuite din pentoze (xiloză și arabinoză) și respectiv hexoze (glucoză) (*Deshavath și colab., 2017a*). Monozaharidele sunt unități majore ale carbohidraților nestructurali, prezentând o importanță ridicată ca elemente structurale și surse de energie (*Weiß și Alt, 2017*). Folosind $H_2SO_4$ diluat sub formă de catalizator pentru pretratamentul acid la temperaturi scăzute (T < 160 °C) și timpi de reacție lungi, fracția hemicelulozică este hidrolizată în glucide solubile (în principal monomeri) ca principali produși de reacție (*Jung și Kim, 2015*).

*Choudhary și colab. (2015)* au evaluat efectul $H_2SO_4$ asupra pretratamentului tulpinilor de sorg (*Sorghum bicolor* YSS-10R) utilizând diferiți parametri (concentrația acidă, timp de reacție și temperatură) la o încărcare de 12 % solid și au raportat faptul că randamentul maxim de glucoză (7,66 g/L) a fost obținut în pretratamentul cu 0,5 % $H_2SO_4$ timp de 10 min la 100 °C, în timp ce randamentul maxim de xiloză (7,62 g/L) a fost atins cu 0,5 % $H_2SO_4$ timp de 20 min la 130 °C.

*Vancov și McIntosh (2012)* au folosit $H_2SO_4$ cu concentrații diferite pentru pretratamentul tulpinilor de sorg măcinate la o încărcare de 10% solid și au raportat randamente de xiloză de 150 mg/g (reprezentând aproximativ 55 % din solubilizarea hemicelulozei) în prezență de 2 % $H_2SO_4$ timp de 60 min la 121 °C.

arat sub formă de glucide

din tulpinile de sorg
de cercetători, folosind
$_4$ diluat este unul dintre
unătățirea digestibilității
structurale prin hidroliză
ba de pretratament este
difice structura ligninei și
um și gradul său de
or hemicelulozice în faza
ute în faza solidă (*López-*
eluloza sunt carbohidrații
d alcătuite din pentoze
(glucoză) (*Deshavath și*
majore ale carbohidraților
tă ca elemente structurale
olosind $H_2SO_4$ diluat sub
cid la temperaturi scăzute
acția hemicelulozică este
monomeri) ca principali

uat efectul $H_2SO_4$ asupra
*ghum bicolor* YSS-10R)
acidă, timp de reacție și
d și au raportat faptul că
g/L) a fost obținut în
min la 100 °C, în timp ce
fost atins cu 0,5 % $H_2SO_4$

osit $H_2SO_4$ cu concentrații
org măcinate la o încărcare
e de xiloză de 150 mg/g
ubilizarea hemicelulozei) în
121 °C.



*Deshavath și colab. (2017a)* au raportat faptul că pretratamentul biomasei de sorg hibrid IS11861 în prezență de 0,2 M $H_2SO_4$ timp de 120 min la 121 °C a hidrolizat semnificativ hemiceluloza (atingându-se o eficiență de conversie de 97,6 %) în principal în xiloză (225,2 mg/g).

*Deshavath și colab. (2017b)* au raportat o conversie a xilanului de 89 % (corespunzătoare unei concentrații de 150,2 mg xiloză) folosind pretratamentul tulpinilor de sorg cu 0,2 M $H_2SO_4$ timp de 120 min la 121 °C.

*Buruiană și colab., (2020)* au obținut concentrații importante de glucide hemicelulozice utilizând tulpinile de sorg zaharat colectate dintr-o plantație experimentală situată în Secuieni (România), uscate, măcinate și pretratate cu $H_2SO_4$ cu o concentrație de 3 % în diferite condiții operaționale: temperatura de 134 °C și timp de reacție de 30, 60 și 120 minute.

Compuşii cu cea mai mare pondere în faza lichidă au fost monozaharidele derivate din hemiceluloză, cu fracții importante ale acestora corespunzătoare glucozei și xilozei. Concentrația maximă de glucoză (17,22 g/L) și respectiv xiloză (12,44 g/L) poate fi obținută în următoarele condiții operaționale: 3% $H_2SO_4$ timp de 30 de minute la 134°C. Arabinoza a reprezentat de asemenea unul dintre glucidele monomerice prezente în faza lichidă, cu valori de până la 2,59 g/L atinse în experimentul realizat timp de 30 minute. Acidul acetic generat prin scindarea grupărilor acetil legate de oligomeri a atins o concentrație de 3,44 g/L în pretratamentul efectuat timp de 60 minute. Dintre oligomeri, concentrația gluco-oligozaharidelor a atins un maxim de 1,47 g/L în experimentul realizat timp de 60 minute. Alţi compuşi oligomerici, dar cu o importanţă redusă în faza lichidă au fost unităţile de arabino-oligozaharide (cu o concentraţie mai mică de 0,21 g/L) şi grupările acetil legate de oligomeri (cu o concentraţie mai mică de 0,39 g/L).

Pretratamentele cu $H_2SO_4$ diluat efectuate în condițiile operaționale selectate au fost considerate favorabile din punct de vedere al conceptului de „biorafinărie" (reprezentând un compromis între fracționarea semnificativă a materiei prime și solubilizarea extinsă a hemicelulozei), iar fazele solide rezultate au fost supuse testelor de fermentare și SSF.

*10.7.2. Valorificarea tulpinilor de sorg zaharat sub formă de bioetanol*

Având în vedere cerințele industriale actuale pentru o prelucrare mai eficientă a biomasei, glucidele solubile din tulpinile de sorg zaharat pot fi transformate în bioetanol prin intermediul tehnologiei avansate de fermentare, folosind direct tulpinile uscate și măcinate, evitând astfel etapa de extracție a sucului care are un consum mare de energie (*Li și colab., 2013; Regassa și Wortmann, 2014; Buruiană și colab., 2018*).

Procesele integrate de zaharificare și fermentare care pot fi aplicate pentru prelucrarea eficientă a biomasei lignocelulozice în bioetanol sunt următoarele (*Saini și colab., 2015*): (i) hidroliza enzimatică și fermentarea separată (SHF), un proces în două etape care implică zaharificarea substratului urmată de fermentarea lichidului zaharificat, prezentând condiții de funcționare optime pentru fiecare etapă și interacțiuni minime între hidroliză și fermentare, dar fiind limitat de inhibarea produsului final și de posibilitatea contaminării care poate scădea randamentul etanolului; (ii) zaharificarea și fermentarea simultană (SSF), combinând hidroliza enzimatică a celulozei cu fermentarea directă a glucozei produse în același vas de reacție, într-o singură etapă consolidată, evitând astfel inhibarea produsului asociată cu enzimele utilizate, având costuri mai mici și randamente mai mari de etanol în comparație cu procesul SHF; și (iii) zaharificarea și co-fermentarea simultană (SSCF), în care se efectuează co-fermentarea hexozelor și pentozelor cu microorganisme compatibile din punct de vedere al pH-ului și temperaturii.

Celulazele reprezintă un complex enzimatic eficient (incluzând endo-glucanaze, exo-glucanaze și β-glucozidaze) produse de ciuperci filamentoase precum speciile *Trichoderma*, care sunt capabile să hidrolizeze celuloza sub formă de glucide fermentescibile (*Idris și colab., 2017*). *Saccharomyces cerevisiae* este cea mai folosită drojdie în industria etanolului datorită capacității sale de a metaboliza glucidele solubile în bioetanol ca principal produs de fermentare, având o toleranță ridicată la etanol și alți compuși inhibitori (*Tesfaw și Assefa, 2014*).

*Du și colab. (2014)* au raportat faptul că producția de etanol la nivel industrial ar putea fi finalizată în numai 20 de ore, folosind până la 96 tone de tulpini de sorg zaharat într-un fermentator cu tambur rotativ de 550 $m^3$, atingând 88% din randamentul teoretic relativ de etanol.

*Fu și colab. (2018)* au folosit două tulpini diploide de drojdie *Saccharomyces cerevisiae* TSH3 și BY4743 pentru producția de etanol din tulpini de sorg zaharat prin intermediul fermentării în stare solidă la o temperatură de 30 °C. Rezultatele au arătat că etanolul produs de tulpina de drojdie TSH3 a atins un maxim de 5,71 g/100 g substrat în decurs de 18 ore, în timp ce utilizarea tulpinii de drojdie BY4743 a condus la obținerea unei concentrații maxime de etanol de 5,81 g/100 g substrat după 38 de ore de fermentare.

*Imam și Capareda (2012)* au investigat conversia tulpinilor de sorg zaharat în bioetanol prin intermediul pretratamentului cu ultrasunete și apă caldă, urmat de hidroliza enzimatică cu un amestec de enzime și apoi fermentarea cu *Saccharomyces cerevisiae*, raportând obținerea unei concentrații de etanol de 8-10 g/L pe baza conversiei glucozei, deoarece numai partea celulozică a biomasei lignocelulozice a fost transformată în bioetanol.

*Jafari și colab. (2017)* au investigat producția de bioetanol din tulpinile de sorg zaharat prin intermediul procesului SSF (fără pretratament sau extracția sucului), raportând obținerea unor concentrații de etanol de 0,74 și 0,51 g/L operând la 5 % și respectiv 10 % încărcare materie primă.

*Nozari și colab. (2018)* au raportat utilizarea directă a tulpinile de sorg zaharat în procesul SSF, operând la 37 °C timp de 72 de ore, folosind drojdia *Saccharomyces cerevisiae* CCUG 53310 și un mix de enzime, iar rezultatele au arătat o concentrație de etanol de 3,10 g/L.

Furdui și colectivul (*Buruiană și colab., 2020*) au realizat un studiu privind evaluarea experimentală a producției de bioetanol din biomasa lignocelulozică de sorg zaharat și fazele solide rezultate în urma pretratamentelor selectate (cu 3% $H_2SO_4$ timp de 30, 60 și 120 min la 134°C) utilizând două procese diferite: fermentarea și SSF, operând la temperatura de 35°C, timp de 45 de ore. Microorganismul

selectat pentru producția de bioetanol a fost Brewferm® Lager, o drojdie uscată folosită în industria berii, cu putere alcooligenă mare și toleranță ridicată la alcool etilic. Preparatul enzimatic comercial folosit în procesul SSF a fost celulaza din *Trichoderma viride*, EC 3.2.1.4.

Operând procesul de fermentare cu tulpinile de sorg zaharat ca substrat se poate înregistra o concentrație de bioetanol de 8,99 g/L și o conversie a glucanului în etanol de 45,75% într-un timp relativ scurt (după 20 de ore), în timp ce folosirea fazelor solide rezultate în urma pretratamentelor selectate conduce la obținerea unei concentrații de bioetanol de până la 1,23 g/L (corespunzătoare unei conversii a glucanului în etanol de până la 4,08%).

Utilizând tulpinile de sorg zaharat ca substrat pentru producția de bioetanol prin intermediul procesului SSF în regim continuu se poate atinge o concentrație maximă de etanol de 9,78 g/L, cu o conversie maximă a glucanului în etanol de 49,8%. după numai 20 de ore de incubare, în timp ce utilizând fazele solide rezultate în urma pretratamentelor selectate se poate atinge o concentrație de etanol de până la 1,39 g/L (corespunzătoare unei conversii a glucanului în etanol de până la 4,62%), după 25 de ore de incubare.

Rezultatele obținute în procesul SSF au arătat o îmbunătățire a producției de bioetanol din tulpinile de sorg zaharat, realizându-se o creștere de aproximativ 10% a concentrației de etanol în comparație cu testele de fermentare.

## 10.8. VALORIFICAREA SORGULUI ZAHARAT SUB FORMĂ DE BIOGAZ

Biogazul este un amestec de gaze combustibile, obținut printr-un proces biologic numit fermentare sau digestie anaerobă, în care materiile organice sunt descompuse în mediu umed anaerob, în regim de temperature mezofil, la un pH de aproximativ 6,6÷7,8 unități.

Biogazul este format din două treimi metan ($CH_4$), iar o treime conține în mare parte dioxid de carbon ($CO_2$), urme de hidrogen sulfurat, hidrogen, azot, vapori de apă și amoniac. După desulfurizare și eliminarea $CO_2$, biogazul epurat va conține aproximativ 97 % $CH_4$ și se poate folosi ca gaz natural, pentru gătit, iluminat, încălzirea





gospodăriilor, cog
- CHP), combustib
de biometan).

Reziduul ră
fi tratat pentru a fi
prin urmare, pentr

Culturile op
caracterizate printr
de suprafață, un c
și de ușurința cons

Cantitatea
compoziția substra
este prezentată o
anaerobă a diferite

**Producția de m**

| Materie primă | P |
|---|---|
| Porumb (întreg) | |
| Grâu (boabe) | |
| Ovăz (boabe) | |
| Secară (boabe) | |
| Iarbă | |
| Iarbă de trifoi | |
| Trifoi roșu | |
| Trifoi | |
| In | |
| Floarea-soarelui | |
| Rapiță | |
| Topinambur | |
| Mazăre | |
| Cartofi | |
| Sfeclă de zahăr | |
| Sfeclă furajeră | |

gospodăriilor, cogenerare (generare combinată de căldură și energie - CHP), combustibil pentru transport (numai după epurare, sub formă de biometan).

Reziduul rămas în urma fermentării anaerobe (digestatul) poate fi tratat pentru a fi utilizat ca îngrășământ pentru culturile agricole și, prin urmare, pentru promovarea producției durabile de biomasă.

Culturile optime pentru producția de biogaz trebuie să fie caracterizate printr-un randament ridicat de materie uscată pe unitatea de suprafață, un conținut ridicat de compuși ușor fermentabili, precum și de ușurința conservării și depozitării biomasei.

Cantitatea de biogaz este influențată decisiv de tipul și compoziția substratului supus fermentării anaerobe. În tabelul 10.2 este prezentată o sinteză a producției de metan obținut din digestia anaerobă a diferitelor plante și materiale vegetale.

**Tabel 10.2**

**Producția de metan a unor substraturi vegetale ($m^3$/tonă substanțe volatile)**
***(Koçar și Civaş, 2013)***

| Materie primă | Producție $CH_4$ | Materie primă | Producție $CH_4$ |
|---|---|---|---|
| Porumb (întreg) | 205-450 | Cânepă | 355-409 |
| Grâu (boabe) | 384-426 | Orz | 353-658 |
| Ovăz (boabe) | 250-295 | Triticale | 337-555 |
| Secară (boabe) | 250-295 | Sorg | 295-372 |
| Iarbă | 298-467 | Alfalfa | 340-500 |
| Iarbă de trifoi | 290-390 | Iarbă de Sudan | 213-303 |
| Trifoi roșu | 300-350 | Iarba canarului de stuf | 340-430 |
| Trifoi | 345-350 | Ryegrass | 390-410 |
| In | 212 | Urzică | 120-420 |
| Floarea-soarelui | 154-400 | Miscanthus | 179-218 |
| Rapiță | 240-340 | Rubarbă | 320-490 |
| Topinambur | 300-370 | Ridiche | 314 |
| Mazăre | 390 | Varză kale | 240-334 |
| Cartofi | 276-400 | Pleavă | 270-316 |
| Sfeclă de zahăr | 236-381 | Paie | 242-324 |
| Sfeclă furajeră | 420-500 | Frunze | 417-453 |

*Bharathiraja și alții (2016)* au prezentat comparativ potențialul de producere a biogazului din materii prime (substraturi) diferite și conținutul de metan al biogazului (tabelul 10.3).

**Tabel 10.3**

**Cantitatea de biogaz și de metan obținută din diferite substraturi (*Bharathiraja și alții, 2016*)**

| Materie primă | Producție de biogaz (l/kg) | Conținut de $CH_4$ în biogaz (%) |
|---|---|---|
| Dejecții solide de bovine | 40 | 60 |
| Deșeuri alimentare | 160 | 62 |
| Deșeuri de fructe | 91 | 49,2 |
| Șroturi necomestibile | 242 | 67,5 |
| Bagasă de sorg zaharat | 330 | 56,9 |
| Frunze verzi și crenguțe | 100 | 65 |
| Frunze uscate | 118 | 59,2 |

*Sorgul zaharat* (specia *Sorghum bicolor* (L.) Moench) este o plantă deosebit de interesantă, deoarece are cerințe scăzute de energie, substanțe chimice și apă, eficiență fotosintetică ridicată, este tolerant la secetă și produce randamente ridicate într-o gamă largă de condiții agronomice și de mediu. În plus, cultura de sorg zaharat contribuie la reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, crește nivelul de carbon organic al solului și este în concordanță cu conceptul de agricultură durabilă.

În contextul actual al schimbărilor climatice și al necesității îndeplinirii obiectivelor de dezvoltare durabilă, au luat amploare tehnologiile de valorificare a sorgului zaharat pentru obținerea bioenergiei (fig. 10.50). Utilizarea sorgului în producția de biocombustibili este precedată de recoltare, uscare, depozitare și pretratare. Etanolul și metanul sunt printre cele mai cunoscute produse microbiene obținute din sorg dulce.

Fiind identificat ca și cultură energetică promițătoare datorită randamentelor sale ridicate și biodegradabilității, sorgul a generat un mare interes ca materie primă pentru producerea de biogaz.





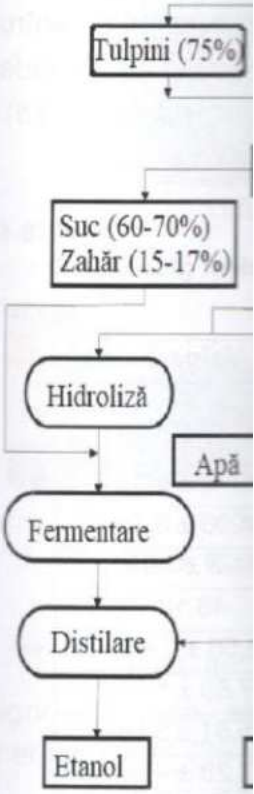



**Figura 10.50. Posib**

Raportul de e
fost estimat la 8,4÷
dar ambele cultur
proteine. Randam
zaharat variază în
Mg/ha (*Jankowski*
*Nkansah și alții, 20*

În mod tradiți
alimentară și în in
de sorg fiind utiliza

ntat comparativ potențialul
me (substraturi) diferite și
0.3).

**Tabel 10.3**
**din diferite substraturi**
*016)*

| biogaz | Conținut de $CH_4$ în biogaz (%) |
|---|---|
| | 60 |
| | 62 |
| | 49,2 |
| | 67,5 |
| | 56,9 |
| | 65 |
| | 59,2 |

*color* (L.) Moench) este o
e are cerințe scăzute de
fotosintetică ridicată, este
icate într-o gamă largă de
cultura de sorg zaharat
cu efect de seră, crește
concordanță cu conceptul

climatice și al necesității
rabilă, au luat amploare
zaharat pentru obținerea
rgului în producția de
re, uscare, depozitare și
ntre cele mai cunoscute

tică promițătoare datorită
ilității, sorgul a generat un
cerea de biogaz.



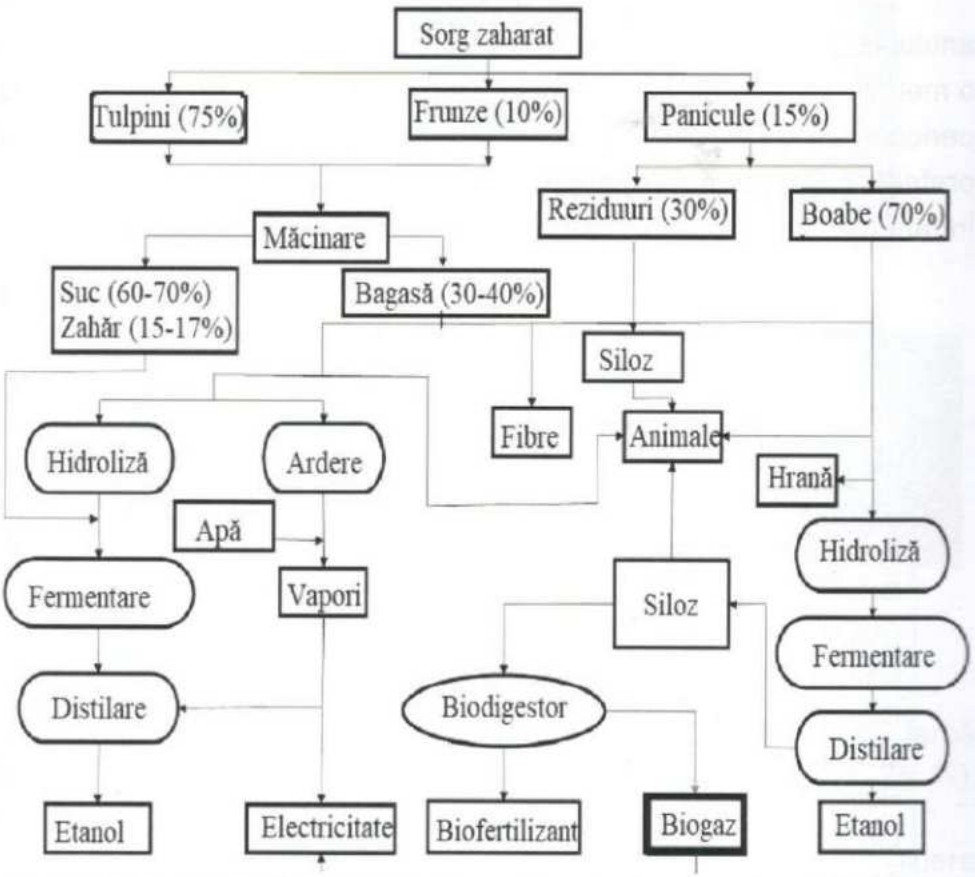



**Figura 10.50. Posibilități de utilizare a sorgului zaharat pentru obținerea de bioenergie**
***(Appiah-Nkansah și alții, 2019)***

Raportul de eficiență energetică a porumbului și sorgului dulce a fost estimat la 8,4÷18,6 și respectiv 8,8–12,5 (*Amaducci și alții, 2016*), dar ambele culturi sunt similare în ceea ce privește conținutul de proteine. Randamentul de substanță uscată al biomasei de sorg zaharat variază între 9−12 Mg/ha (*Houx și Fritschi, 2015*), 12−19 Mg/ha (*Jankowski și alții, 2020*) sau chiar între 23−29 Mg/ha (*Appiah-Nkansah și alții, 2019*).

În mod tradițional, boabele de sorg sunt valorificate în industria alimentară și în industria băuturilor, celelalte componente ale plantei de sorg fiind utilizate deseori ca furaj pentru animale.

După recoltare, tulpinile de sorg sunt utilizate pe tot parcursul anului în digestoarele anaerobe, iar pentru acest lucru este necesară o metodă rentabilă și nedistructivă de conservare și depozitare pentru perioade lungi de timp. În cazul tulpinilor, însilozarea este metoda preferată de conservare pe termen lung (*Dareioti și Kornaros, 2015*). În tabelul 10.4 este dată compoziția chimică a sorgului însilozat.

**Tabel 10.4**

**Compoziția chimică a sorgului însilozat (*în echivalent glucoză)**

***(Dareioti și Kornaros, 2015)***

| Parametru | Valoare |
|---|---|
| pH | 4,10 |
| Umiditate (% greutate umedă) | 76,32 ± 0,10 |
| Solide totale (ST) (% greutate umedă) | 23,73 ± 0,17 |
| Solide volatile (% ST) | 94,08 ± 3,15 |
| Cenușă (% ST) | 5,93 ± 3,15 |
| Carbon organic total* (% ST) | 46,18 |
| Carbohidrați solubili* (% ST) | 3,50 ± 0,85 |
| Celuloză (% ST) | 37,60 ± 5,37 |
| Hemiceluloză (% ST) | 25,51 ± 3,66 |
| Lignină (% ST) | 17,28 ± 4,93 |
| Azot total (% ST) | 0,96 ± 0,45 |
| Proteine (% ST) | 6,00 |
| Acid lactic (% ST) | 4,28 |

În timpul operației de însilozare, carbohidrații solubili sunt utilizați de bacteriile fermentative pentru producerea de grăsimi, acizi volatili, acid lactic și etanol, în funcție de calea de metabolizare urmată. Astfel, cantitatea de carbohidrați solubili din sorgul însilozat este scăzută, iar conținutul de acid lactic este mare. Acizii scad pH-ul materiei prime la niveluri la care activitatea microbiană este inhibată în mare parte, conservând biomasa.

Însilozarea nu este o etapă de pretratare, dar poate fi considerată astfel, deoarece schimbă proprietățile substratului și adaugă o operație unitară procesului de digestie anaerobă.







Grăm



Sac

**Figura 10.51**

Potrivit lui D
lignocelulozică, est
hemiceluloză (35–5

Tulpina de
fermentabile, care s
concentrație de 12
glucoza 9–33 % și
Zaharurile solubile f
de biogaz.

În mod norm
microorganismele
recalcitrantă, care a
biodegradabilitatea
fermentației anaero
metan.

Biodegradabi
crescută prin pretra
sau prin diferite com

ilizate pe tot parcursul
st lucru este necesară
re și depozitare pentru
silozarea este metoda
ioti și Kornaros, 2015).
sorgului însilozat.

**Tabel 10.4**
**chivalent glucoză)**

| Valoare |
|---|
| 4,10 |
| 76,32 ± 0,10 |
| 23,73 ± 0,17 |
| 94,08 ± 3,15 |
| 5,93 ± 3,15 |
| 46,18 |
| 3,50 ± 0,85 |
| 37,60 ± 5,37 |
| 25,51 ± 3,66 |
| 17,28 ± 4,93 |
| 0,96 ± 0,45 |
| 6,00 |
| 4,28 |

ohidrații solubili sunt
cerea de grăsimi, acizi
e metabolizare urmată.
sorgul însilozat este
are. Acizii scad pH-ul
crobiană este inhibată

tratare, dar poate fi
etățile substratului și
e anaerobă.





Grămadă de siloz



Siloz orizontal (buncăr)



Saci cu siloz





Baloți de siloz

**Figura 10.51. Metode de stocare a silozului de sorg zaharat *(Krishan, 2010)***

Potrivit lui *Dar și alții (2018)*, biomasa de sorg, ca iarbă lignocelulozică, este compusă în principal din celuloză (15–25 %), hemiceluloză (35–50 %) și lignină (20–30 %).

Tulpina de sorg conține cantități mari de zaharuri libere fermentabile, care sunt extrudate cu ușurință sub formă de suc cu o concentrație de 12–18 %, în care zaharoza reprezintă 53–85 %, glucoza 9–33 % și fructoza 6–21 % (*Appiah-Nkansah și alții, 2019*). Zaharurile solubile fermentabile sunt sursa primară pentru producerea de biogaz.

În mod normal, celuloza și hemiceluloza pot fi degradate de microorganismele anaerobe, însă asocierea lor cu lignina recalcitrantă, care acționează ca o barieră fizică, îngreunează frecvent biodegradabilitatea sorgului, ceea ce duce la o eficiență scăzută a fermentației anaerobe și obținerea unor randamente scăzute de metan.

Biodegradabilitatea materialelor lignocelulozice poate fi crescută prin pretratamente biologice, chimice, termice sau mecanice sau prin diferite combinații ale acestora. Pretratările fizice uzuale sunt

uscarea, măcinarea, cernerea, peletizarea, extrudarea, explozia (descuamarea) cu abur, extracția și decorticarea; măcinarea precede de obicei celelalte metode fizice. Metodele obișnuite de pretratare chimică utilizează acizi și alcalii diluați, solvenți organici, lichide ionice și agenți oxidativi. Pretratările fizico-chimice combină procese mecanice și chimice; acestea includ explozia cu abur, apă fierbinte lichidă, extragere cu $CO_2$ supercritic, expansiunea fibrelor cu amoniac și noi metode asistate de ultrasunete sau de miucrounde. Pretratarea biologică folosește fie enzime, fie microorganisme și este de obicei combinată cu una sau mai multe alte metode de pretratare (*Stamenkovic și alții, 2020*).

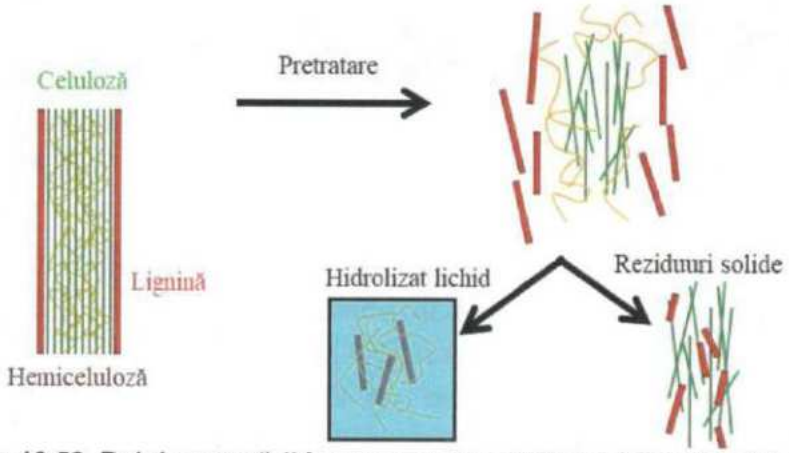



**Figura 10.52. Rolul pretratării în ruperea structurii recalcitrante a biomasei *(Karuppiah și Azariah, 2019)***

De obicei, biomasa de sorg zaharat și furajer este tratată chimic, cu alcali, înainte de producerea biogazului prin digestie anaerobă. Randamentul de metan din biomasa de sorg pretratată cu alcali va fi mai mare, comparativ cu digestia anaerobă fără pretratare, dar nu este influențat semnificativ de variațiile condițiilor de pretratare. În plus, pretratarea cu o cantitate mai mare de NaOH și la o temperatură mai mare crește rata de digestie anaerobă (*Stamenkovic și alții, 2020*).

*Sambusiti și alții (2013)* au demonstrat că la digestia anaerobă a substratului de sorg zaharat netratat, în prima perioadă de retenție hidraulică s-a format o concentrație ridicată de acizi grași volatili (2,2 g/l) în digestor, ceea ce indică o rată mai mare a hidrolizei decât cea

tizarea, extrudarea, explozia corticarea; măcinarea precede odele obișnuite de pretratare solvenți organici, lichide ionice o-chimice combină procese xplozia cu abur, apă fierbinte pansiunea fibrelor cu amoniac u de miucrounde. Pretratarea organisme și este de obicei alte metode de pretratare




turii recalcitrante a biomasei 2019)

furajer este tratată chimic, ui prin digestie anaerobă. rg pretratată cu alcali va fi fără pretratare, dar nu este or de pretratare. În plus, H și la o temperatură mai menkovic și alții, 2020). că la digestia anaerobă a ima perioadă de retenție de acizi grași volatili (2,2 are a hidrolizei decât cea



a metanogenezei. Cantitățile crescute de acizi propionici și izovalerici au inhibat metanogeneza și, în consecință, au redus producția de metan. Pentru a reduce cantitatea de acizi grași volatili, trebuie să se alimenteze digestorul cu apă și să se regleze pH-ul. Pentru sorgul pretratat, concentrația de acizi grași volatili a rămas semnificativ mai mică (<0,6 g/l acid acetic și propionic), astfel încât trebuie adăugată periodic apă. În plus, nu este nevoie de adaos alcalin, ceea ce înseamnă că procesul este mai stabil.

Tulpinile uscate de sorg dulce, pretratate termic, enzimatic și cu organosolvenți (cu și fără adăugare de $H_2SO_4$) pretratarea au fost utilizate ca substrat pentru producerea de biogaz. Deși temperatura ridicată a crescut digestibilitatea carbohidraților insolubili, randamentul metanului din substratul pretratat termic a fost mai mic decât din substratul netratat, ceea ce a fost atribuit scăderii concentrației de zahăr solubil datorită conversiei sale în inhibitori ai microorganismelor metanogene (furfural și 5-hidroximetilfurfural) la temperatură mai mare. Tratamentul enzimatic a fost efectuat ca proces într-o etapă (hidroliză și digestie simultană) sau în două etape (hidroliză și digestie separate). Deși ambele procese au avut un efect pozitiv asupra randamentului de metan, cel mai mare randament se obține prin procesul într-o singură etapă, datorită unei concentrații inițiale mai mari de zahăr în procesul în două etape, ceea ce duce la formarea unei cantități mai mari de acizi grași volatile, o valoare scăzută a pH-ului și inhibarea producției de metan (*Matsakas și alții, 2014*).

Prin urmare, în cazul biomasei lignocelulozice, pretratarea este o etapă inevitabilă și o mare influență atât asupra randamentului de biogaz, cât și a utilizării finale a biogazului.

Metodele de pretratare a sorgului zaharat urmăresc să descompună legătura dintre polizaharide și lignină, făcând astfel celuloza și hemiceluloza mai accesibile enzimelor hidrolitice în timpul digestiei anaerobe (*Mosier și alții, 2005*).

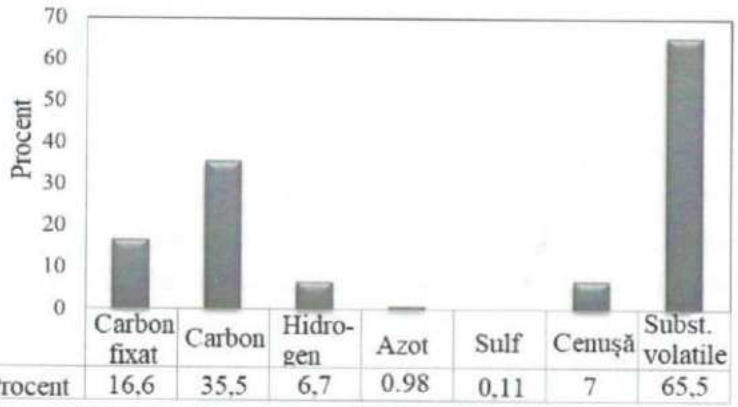
Metoda aleasă pentru pretratarea sorgului trebuie să fie rentabilă, cu un nivel scăzut ale pierderilor sau al degradării componentelor valoroase ale plantei și cu formarea scăzută a inhibitorilor care îngreunează etapele ulterioare de procesare sa sorgului zaharat.

Există cel puțin două subproduse majore ale sorgului zaharat care pot fi folosite ca materii prime pentru obținerea biogazului: vinaza și bagasa (fracția fibroasă) rămasă după extragerea sucului din tulpini.

În timpul extracției sucului din tulpinile de sorg în vederea fermentării pentru a obține etanol, se obține și un nămol de presare provenit din filtrarea și clarificarea sucului extras. Acest nămol de presare conține un procent mic de zahăr, care poate crește producția de biogaz.

*Vinaza de sorg zaharat* conține o cantitate semnificativă de substanțe care pot fi transformate în biogaz. Potrivit lui *Baez-Smith (2006)*, vinaza are conținuturi mari de consum biochimic de oxigen (46000 mg/l) și de solide totale (34100 mg/l), glucide (34100 mg/l) și azot total (800 mg/l).

Compoziția substratului cu care este alimentat digestorul (rezervorul de fermentare anaerobă) trebuie să fie atent controlată dacă se adaugă și *bagasă de sorg zaharat*. Compoziția bagasei de sorg zaharat este prezentată în figura 10.53.



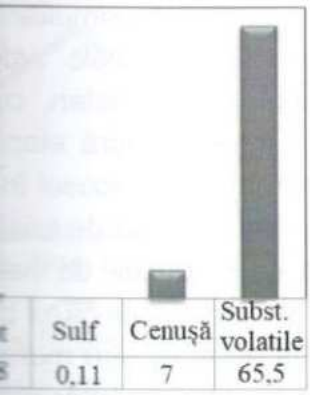

| | Carbon fixat | Carbon | Hidro-gen | Azot | Sulf | Cenușă | Subst. volatile |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Procent | 16,6 | 35,5 | 6,7 | 0.98 | 0,11 | 7 | 65,5 |

**Figura 10.53. Analiza compoziției bagasei de sorg zaharat *(Dar și alții, 2018)***

Se recomandă ca bagasa să fie conservată pentru a nu putrezi în timp, iar însilozarea este o tehnică adecvată de păstrare a caracteristicilor utile ale bagasei. În condițiile europene, silozul de bagasă se obține la recoltarea unor cantități mari de sorg zaharat, de la mijlocul lunii august până în octombrie. Chiar și bagasa de sorg rezultată în urma operațiilor de fermentare și distilare al căror scop este obținerea etanolului poate fi o materie primă valoroasă pentru

majore ale sorgului zaharat
obținerea biogazului: vinaza și
xtragerea sucului din tulpini.
e de sorg în vederea fermentării
ămol de presare provenit din
est nămol de presare conține
ște producția de biogaz.
o cantitate semnificativă de
ogaz. Potrivit lui *Baez-Smith*
consum biochimic de oxigen
mg/l), glucide (34100 mg/l) și

e este alimentat digestorul
ebuie să fie atent controlată
*arat*. Compoziția bagasei de
.53.



| | Sulf | Cenușă | Subst. volatile |
|---|---|---|---|
| | 0,11 | 7 | 65,5 |

**agasei de sorg zaharat**
*18)*

onservată pentru a nu putrezi
că adecvată de păstrare a
ndițiile europene, silozul de
tăți mari de sorg zaharat, de
rie. Chiar și bagasa de sorg
are și distilare al căror scop
terie primă valoroasă pentru



obținerea biogazului. Surplusul de bagasă care nu este necesar în cazanele de abur ale centralelor termice sau în centralele de cogenerare poate fi valorificat pentru producerea de biogaz.

Înainte de fermentare, bagasa de sorg zaharat este pretratată prin spălare, uscare, măcinare, cernere, uneori pasteurizare și hidroliză. Pretratarea bagasei cu NaOH la concentrații mai mari de 6% duce la un grad ridicat de delignificare, astfel încât eficiența hidrolizei prin celuloză comercială este îmbunătățită de 2-3 ori, comparativ cu bagasa netratată (*Panagiotopoulos și alții, 2010*).

În cazul sorgului zaharat, pentru a obține un randament ridicat de metan ($CH_4$) la hectar trebuie îndeplinite următoarele condiții: producție mare de sorg zaharat la hectar și randament ridicat de $CH_4$ /substanță uscată, ceea ce necesită o digestabilitate ridicată a biomasei de sorg, conținut mic de cenușă, conținut ridicat de extracte fără azot. Conținutul de amidon și zahăr este mai puțin important.

Potrivit lui *Monteiro și alții (2010)*, prin fermentarea anaerobă a silozului de sorg zaharat se obțin 672 litri biogaz/kg solide volatile sau între 519–585 litri biogaz/kg solide totale.

De cele mai multe ori, atât reziduurile culturilor energetice, cât și reziduurile altor culturi agricole nu pot fi degradate în mod eficient din cauza dezechilibrului nutrienților disponibili pentru microorganismele implicate în fermentarea anaerobă și a lipsei capacității de tamponare pentru desfășurarea reacțiilor chimice. Acest lucru poate fi adesea depășit prin co-digestia cu gunoi de grajd de la animale, în principal datorită conținutului ridicat de azot total, care scade raportul carbon-azot (C/N) al substraturilor formate din reziduurile unei singuri culturi de biomasă și este, de asemenea, util pentru a obține un pH adecvat în timpul fermentării anaerobe cu formare de amoniac.

Co-digestia reziduurilor de sorg cu gunoi de grajd, cu ape uzate cu încărcare organică mare sau cu nămol din stațiile municipale de epurare a apelor uzate îmbunătățește substanțial producția de $CH_4$.

*Dareioti și Kornaros (2015)* au prezentat structura unei stații de biogaz pentru codigestia sorgului însilozat, zerului de brânză și a gunoiului de grajd lichid de la bovine, având în componență două digestoare în care materiile prime sunt agitate continuu (fig. 10.54).

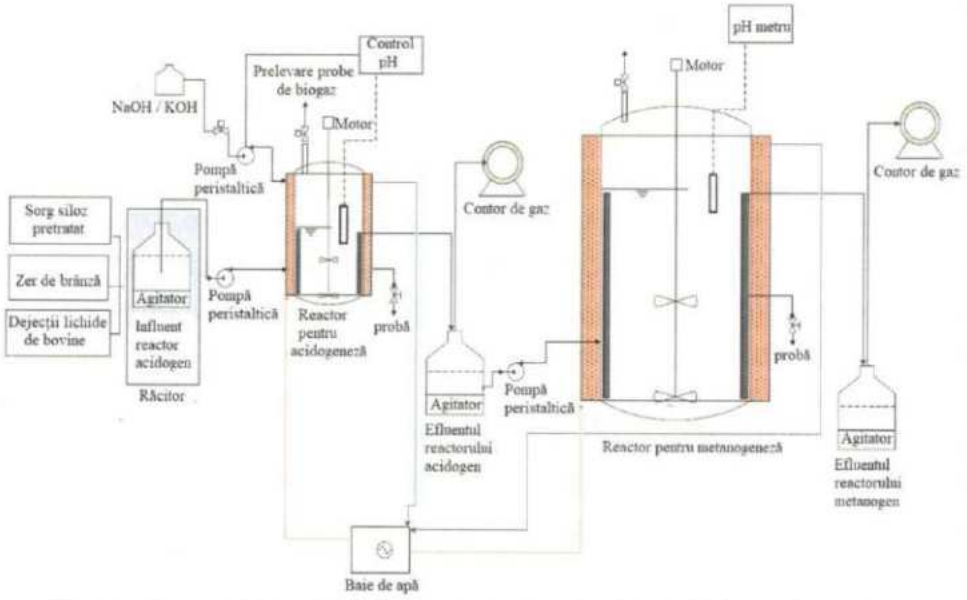



**Figura 10.54. Sistemul în două etape pentru producția combinată de metan și hydrogen**
***(Dareioti și Kornaros, 2015)***

- **Tipuri de instalații de biogaz**

O serie de parametri operaționali, inclusiv pH-ul, temperatura, configurația digestorului, viteza de încărcare organică și timpul de retenție hidraulică afectează productivitatea instalațiilor de biogaz.

Stațiile de biogaz au în componență platforme pentru depozitarea silozului și rezervoare pentru stocarea substratului lichid precum suspensiile sau gunoiul lichid de grajd (fig. 10.55).

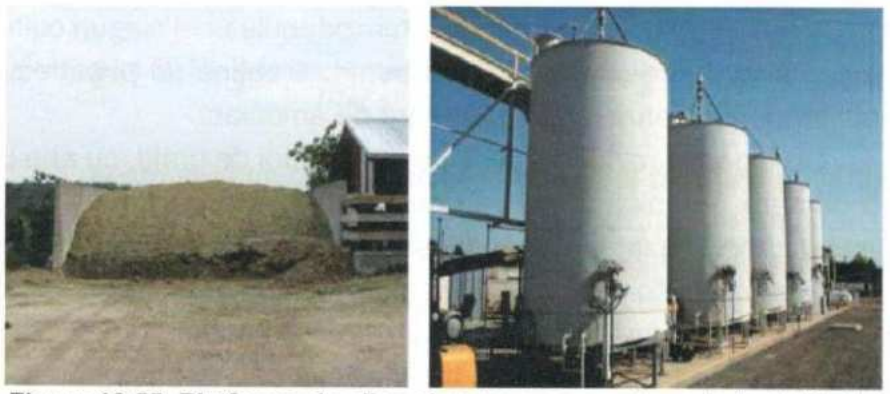
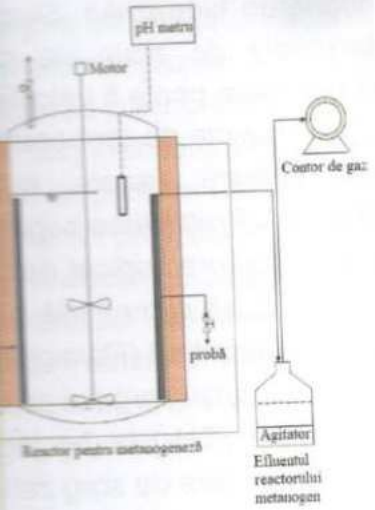


**Figura 10.55. Platforma de siloz și rezervoare pentru substratul lichid**
***(Dareioti, 2015)***




ru producția combinată de
en
, 2015)

inclusiv pH-ul, temperatura,
ircare organică și timpul de
tea instalațiilor de biogaz.
nponentă platforme pentru
u stocarea substratului lichid
grajd (fig. 10.55).



ervoare pentru substratul lichid
015)



În practică, materia primă este alimentată periodic în digestor, în mai multe șarje pe parcursul zilei. Acest lucru economisește energie deoarece agregatele de alimentare nu au funcțiune continuă. Există diverse sisteme de alimentare (fig. 10.56), iar alegerea lor depinde de calitatea materiei prime. Pompele centrifuge (rotative) sunt adesea submersibile, dar pot fi poziționate și pe un arbore uscat, lângă digestor. Pompele centrifuge utilizează unul sau mai multe rotoare care se atașează pe arbore, furnizând energia care deplasează lichidul prin pompă și îl presurizează pentru a-l deplasa prin sistemul de conducte. Pentru materii prime cu fibre lungi (paie, resturi de furaje, iarbă), sunt disponibile pompe de tăiere.



**Figura 10.56. Pompă centrifugă și pompă de tăiere din structura stației de biogas *(Dareioti, 2015)***

Un digestor anaerob modern trebuie să fie prevăzut cu un sistem extern de alimentare cu substrat uscat. Substratul trebuie să conțină minim 30% solide totale, pentru că randamentul biogazului este total dependent de procentul solide totale și procentul de solide organice totale. Materiile prime stivuibile (nepompabile), cum ar fi iarba, silozul de sorg sau de porumb, gunoiul de grajd cu conținut ridicat de paie, reziduurile vegetale este transportată de la instalația de depozitare (buncărul siloz) la sistemul de alimentare al digestorului cu ajutorul unui încărcător cu cupă.

Sistemul de alimentare cu materii solide (fig. 10.57) include un container în care este descărcată materia primă și un sistem de transport controlat automat (transportor cu raclete, transportor eliciodal, piston de împingere) care alimentează digestorul. Alimentarea materiei prime

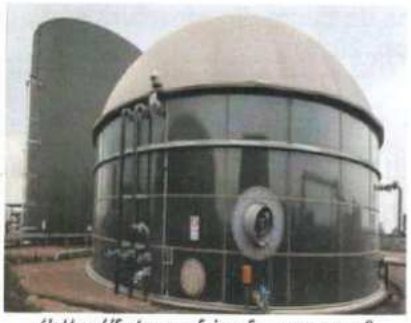
în digestor trebuie să fie etanșă la aer și nu trebuie să permită scurgerea de biogaz. Din acest motiv, sistemul de alimentare introduce materia primă sub stratul de suprafață al digestorului.





**Figura 10.57. Sisteme de alimentare a silozului de sorg în digestor *(Dumitru, 2015)***

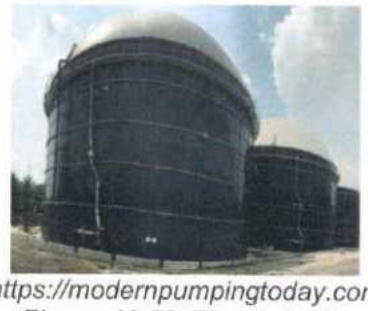
Există două tipuri majore de digestoare pentru producerea biogazului: digestoare cu cupolă fixă și digestoare cu cupolă plutitoare, realizate din diferite materiale și în diferite forme. Ambele tipuri de digestoare anaerobe sunt utilizate în general pentru culturile energetice, printre care și sorgul zaharat.



*(http://futureafricaforum.org/)*



*(https://www.agriexpo.online/)*



*(https://modernpumpingtoday.com/*



*(https://www.tradeindia.com/)*

**Figura 10.58. Tipuri de digestoare anaerobe din stațiile de biogaz**

i nu trebuie să permită sistemul de alimentare față al digestorului.



lui de sorg în digestor

oare pentru producerea oare cu cupolă plutitoare, forme. Ambele tipuri de eneral pentru culturile



ps://www.agriexpo.online/)



ps://www.tradeindia.com/)
e din stațiile de biogaz



În interior, digestoarele sunt prevăzute cu sisteme de amestecare și cu schimbătoare de căldură. Sistemul de amestecare montat în interiorul digestorului îi permite să funcționeze cu mai mult de 30 % solide totale.



**Figura 10.59. Agitatoare montate în digestor *(Dareioti, 2015)***



**Figura 10.60. Instalație de desulfurare (stânga) și de dezumificare (dreapta) a biogazului *(Dareioti,2015)***

Digestia anaerobă în regim continuu, folosind sorgul ca substrat, consumă mult timp și este un proces complex, astfel de multe ori se preferă digestoare cu funcționare în șarjă (*Antonopoulou and Lyberatos, 2013*).

În figura 10.56 este prezentată schema unei stații de biogaz în care se folosește sorgul zaharat ca materie primă. Prin fluxul de funcționare al acestei stații de biogaz se urmărește maximizarea eficienței, reducerea pierderilor de zaharuri, reducerea timpului de

retentive hidraulică a biomasei solide de sorg zaharat și creșterea eficienței de stocare (*Salimberi, 2013*).

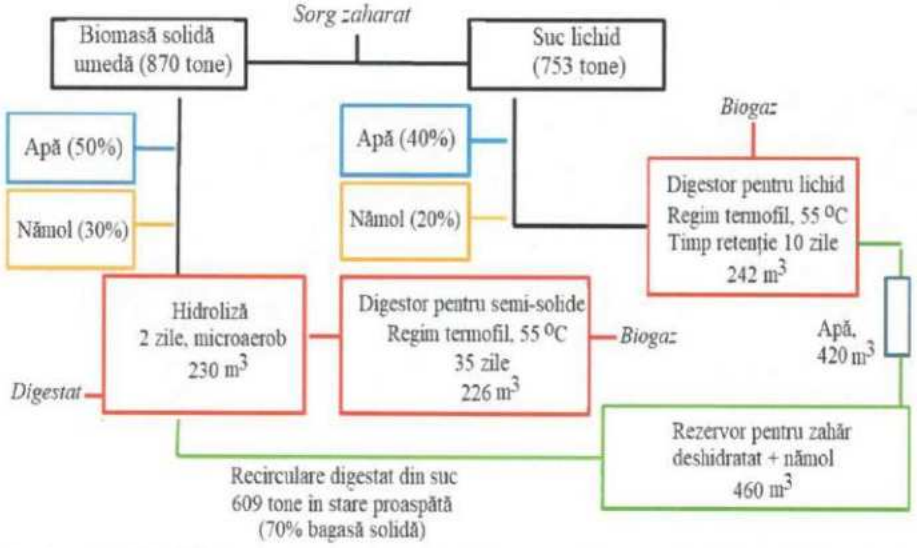


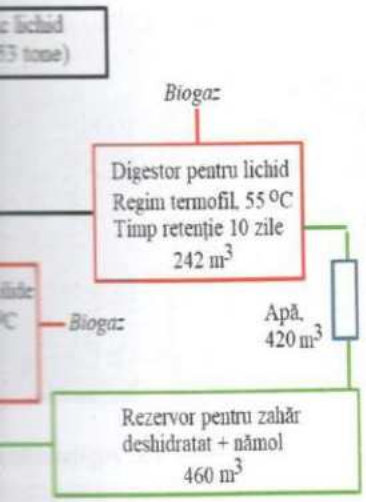

**Figura 10.61. Schema unei stații de obținere a biogazului din sorg zaharat *(Salimberi, 2013)***

Un generator eficient cu motor cu ardere internă setat în intervalul 40–43 % permite să convertească cât mai mult din metan în electricitate (*Prochnow și alții, 2009*).

Producția și utilizarea combinată a energiei și a căldurii (cogenerarea) sunt de preferat comparativ cu doar producția de energie. În schimb, instalațiile de biogaz sunt adesea construite în zone în care nu există consumatori remarcabili de căldură, iar această practică nu este sustenabilă din punct de vedere economic și al mediului. Astfel, încă din etapa de proiectare și apoi de autorizare a instalațiilor de biogaz ar trebui luată în considerare și utilizarea căldurii (*European Commission, 2015*).

Digestatul obținut după fermentarea sorgului zaharat poate fi folosit ca îngrășământ organic, sub formă de suspensie sau chiar uscat folosind căldura generate în procesul de cogenerare, pe terenurile agricole. În ceea ce privește producția de biogaz din sorg zaharat, ar trebui introdusă o obligație legală de acoperire etanșă a rezervorului de digestat (*European Commission, 2015*).

e sorg zaharat și creșterea




**a biogazului din sorg zaharat**

cu ardere internă setat în
scă cât mai mult din metan în

tă a energiei și a căldurii
rativ cu doar producția de
az sunt adesea construite în
rcabili de căldură, iar această
t de vedere economic și al
ectare și apoi de autorizare a
nsiderare și utilizarea căldurii

rea sorgului zaharat poate fi
rmă de suspensie sau chiar
rocesul de cogenerare, pe
producția de biogaz din sorg
legală de acoperire etanșă a
mission, 2015).



Din toate tehnologiile de obținere a energiei regenerabile din biomasă, biomasă, producția de biogaz este considerată ca fiind una dintre cele mai ecologice datorită numărului mare de materii prime agricole adecvate și potențialului pentru un ciclu închis al nutrienților.

Randamentul ridicat de biogaz obținut din tulpinile și bagasa de sorg confirmă faptul că această plantă energetică are potențial ca materie primă în digestia anaerobă, mai ales în situația în care sorgul se folosește sub formă de siloz, pretratat sau în codigestie cu alte materii organice.

## 10.9. VALORIFICAREA DEŞEURILOR TEHNOLOGICE DIN SORG SUB FORMĂ DE COMPOST

*10.9.1. Contextul producerii și utilizării compostului din sorgul zaharat*

Culturile de sorg zaharat sunt considerate de mare interes pentru industria alimentară și producerea de energie în special datorită potențialului ridicat al plantelor de a avea un randamente ridicate de producere a biomasei, în condiții dificile de plantare si creștere.

Tocmai producția ridicată de biomasă poate ridica însă o serie de probleme de mediu, având în vedere că extracția zaharurilor din tulpini conduce la generarea unor cantități foarte mari de deșeu tehnologic sub formă de bagasă, frunze și semințe.

Sorgul zaharat (*Sorghum bicolor L. Moench*) acumulează diferite tipuri de zaharuri în tulpină, care prin procese tehnologice de extrudare poate conduce la extragerea de sucuri în vederea utilizării în industria alimentară sau în producerea de biocombustibili.

Bagasa reprezintă până la 40% din greutatea proaspătă a plantei, iar eliminarea și reciclarea acesteia prin compostare poate avea efecte pozitive asupra managementului pe termen lung a culturilor. Bagasa este un reziduu celulozic rămas după extragerea sucului din tulpină.

Masa vegetală provenind din procesarea Sorgului zaharat poate avea utilizări multiple, fiind sursă de cogenerare a energiei, se pot produce furaje pentru animale, materie primă pentru fabricarea unor biocombustibili lingo-celulozici sau fertilizant.

Producerea de fertilizanți organici prin compostarea biomasei de sorg zaharat este una dintre cele mai bune modalități de a le transforma deșeurile tehnologice într-un produs final stabil, sigur și benefic pentru creșterea culturilor viitoare de plante.

Pe lângă aportul de nutrienți și amendament aplicat solului, compostarea ajută la inhibarea agenților patogeni ai plantelor, distruge semințele buruienilor si creează unele medii propice dezvoltării culturilor (*Perner și colab., 2006*).

Biomasa prezentă deasupra solului formează 90% din totalul masei vegetale de sorg zaharat produsă și include tulpina, frunzele și paniculele cu semințe.

Considerând compoziția medie a bagasei obținută ca deșeu industrial, se poate estima că vor fi generate 6-7 kg de bagasă pentru fiecare litru de etanol produs din această plantă (*Sawargaonkar și colab., 2013*). Sorgul zaharat este promovat în regiunile semi-aride în care conținutul de nutrienti din sol este în general scăzut, iar aplicarea bagasei neprocesate conduce la imobilizarea azotului din sol (N) și prin urmare, procesarea este obligatorie.

Fermele de producție trebuie să acorde o importanță deosebită compostării bagasei, stabilind compromisuri între întrebuințări, pentru a asigura balanță de carbon si fertilizanți din sol. În acest context, reciclarea deșeurilor tehnologice de sorg zaharat prin compostare și utilizarea acestuia în agricultură este o opțiune sigură pentru mediu, care ajută la sechestrarea carbonului în sol (*Prakasham și colab. 2012; Sawaragaonkar și colab., 2013*).

Principala problemă de natură tehnică în compostarea biomasei de sorg zaharat este reprezentată de prezența ligninei care înglobează în structura sa celuloza și hemiceluloza, reducând astfel rata de degradare a masei vegetale procesate (*Mishra și colab., 2017*).

Prin urmare, este nevoie de identificarea unor procese tehnologice eficiente și a unor microorganisme care au capacitatea de a produce enzime ligninolitice precum lacază, polifenol oxidază, lignin peroxidază, aril alcool oxidază și peroxidază de mangan și enzime celulolitice precum celulaza (*Meehnian și colab. 2016*).

*Grassi si colab., (2001)* au identificat o compoziție medie a bagasei din sorgul zaharat, care de obicei este compusă din celuloză

(până la 25 %), hemiceluloză (până la 50 %) și lignină (până la 25 %), având un potențial caloric de până la 4125 kcal Kg-1 (fără cenușă). Compoziția variază în funcție de genotip, astfel că multe genotipuri de elită ajung să conțină valori cuprinse între 35÷40 % celuloză, 30÷35 % hemiceluloză și 20÷25 % lignină.

Bagasa conține niveluri scăzute de NPK (azot, fosfor si potasiu) și micronutrienți, dar este bogată în carbon organic rezultând un raport C: N ridicat (*De Bertoldi și colab., 1985*). Acest aspect este foarte important în gestionarea proceselor de compostare pentru că rețetele de materiale supuse tratamentelor trebuie să conțină și cantități conforme de compuși bogați în azot.

Bagasa nu poate fi utiliză ca amendament pentru sol prin încorporarea directă, pentru că astfel se poate provoca imobilizarea azotului din sol și pot apărea fenomene de fitotoxicitatea (*Sawaragaonkar și colab., 2013*).

*Gopalakrishnan şi colab., (2019)* au studiat modul de descompunere a bagasei de sorg zaharat după procesare, pentru a optimiza precocele de descompunere rapidă, evaluând totodată și modul în care produsele obținute ajută la creșterea plantelor. Studiul a arătat că dintre cele 10 microorganisme selectate pentru a descompune bagasa, cele mai eficiente au fost Myceliophthora thermophila ATCC 48104, Aspergillus awamori și Bacillus subtilis ATCC 6633, care au reușit sa descompună masa vegetală în 60 de zile.

Compostarea reprezintă transformarea biochimică a deșeurilor organice de Sorg zaharat (frunze, semințe, bagasa, rădăcini), utilizând microorganisme indigene sau diferite forme de inocul, în îngrășăminte organice și soluri prin procesele biologice complexe (*Gautam și colab., 2010*).

*10.9.2. Metode și procese utilizate în vederea transformării deșeurilor vegetale rezultate din procesarea deșeurilor de sorg zaharat în compost*

Compostarea deșeurilor tehnologice de sorg zaharat reprezintă transformarea biochimică a deșeurilor organice rezultate (frunze, semințe, bagasa, rădăcini), utilizând microorganisme indigene sau

diferite forme de inocul, în îngrășăminte organice și fertilizanți prin procesele biologice complexe (*Gautam și colab., 2010*).

Microorganismele care procesează deșeurile vegetale sunt bacteriile, ciuperci și actinomicete, cum ar fi *Bacillus sp., Pseudomonas sp., Aspergillus sp., Streptomyces rectus, Thermomonospora fusca, Thermopolyspora bispora, Thermomonospora curvata* și *Thermoactinomyces sp.* (*Zeng și colab., 2011*).

Procesul de compostare a deșeurilor tehnologice din sorgul zaharat implică trei faze. Prima fază este realizată de microorganismele cu acțiune mezofilică, ce reduc zaharul și proteinele din substrat (*Novinsak și colab., 2008*). A doua fază este realizată de microorganismele termofile care cresc temperatura prismelor de compost de la 45 °C până la 70 °C (*Schloss și colab., 2003*), realizând si igienizarea compostului. A treia fază începe cu scăderea temperaturii grămezii de compost, fiind și etapa de maturare, care contribuie la îmbunătățirea calității compostului.

Calitatea compostului este dependentă în mare măsură de materiile prime degradate în procesele fizico-chimice (*Wang și colab., 2004*). Alte caracteristici esențiale din procesele de compostare sunt reprezentate de raportul C: N, pH-ul, conținutul de umiditate, prezența oxigenului și acțiunile unor microorganisme specifice (*Fourti și colab., 2011*).

*Gopalakrishnan si colab., (2019)* au creat un protocol pentru procesarea mai ușoară şi rapidă a bagasei din sorgul zaharat cu scopul de a optimiza produsul obținut pentru creșterea plantelor. Ei au testat diferite rețete de compost conținând bagasă evaluând compatibilitatea cu o serie de microorganisme cu scopul de a îmbunătăți valoarea produselor finite obținute prin compostare. Rezultatele au arătat că cele cinci tulpini selectate de PGP Streptomyces au ajutat la o îmbunătățire semnificativă a performanțelor agronomice, inclusiv înălțimea plantei, zona frunzelor, greutatea frunzelor, greutatea rădăcinii, greutatea lăstarilor, lungimea rădăcinii, volumul rădăcinii, greutatea paniculelor.

Unele studii (*Nath și Singh, 2009*) au arătat că aplicarea tehnicilor de vermicompostare aduc beneficii plantelor, pe de-o parte prin activitatea microorganismelor remanente care ajută plantele să se

mobilizeze și să dobândească macronutrienți și micronutrienți și pe de altă parte prin inhibarea elementelor fitopatogene.

Tehnicile de compostare a deșeurilor de sorg zaharat trebuie să fie evaluate în raport cu impactul pe care compostul îl poate avea asupra îmbunătățirii condițiilor de creștere a plantelor (*Gopalakrishnan si colab., 2019*).

Din rezultatele obținute de *Vicente si colab., (1996)* s-a dedus că raportul optim C / N pentru fermentarea aerobă a bagasei din sorgul zaharat este de aproximativ 30. Adăugarea unei surse de azot accelerează considerabil procesul de fermentare aerobă a amestecurilor, iar nitratul de potasiu acționează ca un activator general al proceselor metabolice ale microorganismelor care intervin în procesul studiat. Cele mai eficiente amestecuri pentru acest tip de fermentație aerobă sunt cele care folosesc drojdii și nămolurile de epurare. Produsele obținute din fermentarea aerobă a bagasei amestecată cu o serie de aditivi au arătat o valoare ridicată la utilizarea ca amendament organic utilizabil în agricultură și au condus la productivități mai mari cu până la 76 % (*Vicente şi colab., 1996*).

Elementele microbiologice locale joacă un rol important în biodegradarea compostului, cu toate acestea este foarte dificilă cuantificarea microorganismelor implicate în acest proces biologic. Dintre microorganismele implicate în procesele de compostare, bacteriile, actinomicetele și ciupercile constituie principalele grupuri active. Bacteriile sunt cel mai divers grup de organisme, folosind un sistem variat de enzime pentru degradarea chimică a materiilor organice (*Ryckeboer și colab., 2003*). Ele sunt de obicei mult mai dominante decât microorganismele mai mari, cum ar fi ciupercile (*Mehta și colab., 2014*).

Inocularea utilizând unele microorganisme specifice compostării poate fi o metodă utilă pentru îmbunătățirea proprietăților compostului și reducerea timpului de compostare (*de Figueirêdo și colab., 2013; Jurado și colab., 2015*), dar utilizarea inoculaților rămâne un aspect controversat din cauza rezultatelor contradictorii prezentate (*Adebayo și colab., 2011; de Figueirêdo și colab., 2013*).

Condițiile de mediu și nivelul nutrițional din materialul procesat nu sunt singurii parametri care pot afecta creșterea microbiană, având

în vedere că prezența altor microorganisme poate influența activitatea într-un mod pozitiv, sau negativ (*Franke-Whittle și colab., 2014*).

Compostarea masei vegetale aeriene a plantelor se poate realiza utilizând metode clasice de compostare care implică recoltarea, transportul, mărunțirea prin tocare, utilizând echipamente specializate, amenajarea în grămezi (*Gotaas so colab., 1956*), etape care vor fi discutate în aceast subcapitol.

Deși majoritatea proiectelor din aria compostării deșeurilor vegetale reușesc să producă materiale care pot fi aplicate ca amendamente pentru sol, eficiența și durabilitatea acestor industrii de cele mai multe ori ridică numeroase probleme (*Graves și colab., 2000*). Motivul eficienței scăzute ține în special de dependența puternică de unii factori externi precum posibilitatea de a crea o piață continuă de vânzare a produselor obținute, calitatea compostului care trebuie să fie una peste medie și prețul de producție, care trebuie sa fie unul scăzut.

Procesul de compostare reprezintă cea mai eficientă și sustenabilă metodă de reintegrare a deșeurilor vegetale în sol, contribuind la îmbunătățirea caracteristicilor fizice, chimice și biologice ale acestuia. Compostul este un produs obținut printr-un proces aerob, termofil, de descompunere și sinteză microbiană a substanțelor organice din produsele reziduale, care conține peste 25 % humus relativ stabil format predominant din biomasă microbiană, fiind suficient de stabil pentru a nu se reîncălzi sau a determina probleme de miros sau de înmulțire a insectelor și are raportul C/N = 10-15 (*Misra și colab., 2003*).

Compostarea este definită ca procesul de degradare biologică a materialelor organice solide eterogene în condiții umede controlate, de autoîncălzire și aerobe pentru a obține un material stabil care poate fi folosit ca îngrășământ organic (*Ștefănescu, 2006*).

### *10.9.3. Metode, procese și tehnologii utilizate în vederea transformării deșeurilor vegetale rezultate din procesarea sorgului zaharat în compost*

Utilizând tehnicile adecvate pentru compostarea deșeurilor vegetale, este posibilă o recuperare superioară a nutrienților necesari dezvoltării plantelor și îmbunătățirea producției de alimente, realizând în același timp și un tratament sanitar de eliminare a microorganismelor





periculoase pentr
agricultură, azotul
extrem de importa
conduce la proble
și sărăcie (*Ayilara*

Trebuie co
compostare nu p
posibile, pentru ca
mai bune procedu

Tehnologia
tehnologice de so
acoperite sau afla
şi 10.63). Atât tra
impune etape de
parametrii de co
Elementul cheie p
reprezintă gestion
produse finale de
Ambele obiective
instalații de proc
materialul circulă



**Figura 10.62. Staţie a deşeurilor organ spaţii acc**
*https://www.leadertele today/farm-news/dan composting proposed/article_373 bb0d-bdcae47*

periculoase pentru sănătatea umană. Nutrienții esențiali utilizați în agricultură, azotul, fosforul, potasiul și oligoelementele sunt elemente extrem de importante pentru producția agricolă, iar epuizarea acestora conduce la probleme globale precum foamete, probleme de sănătate și sărăcie (*Ayilara și colab., 2020*).

Trebuie considerat faptul ca nicio metodă sau tehnică de compostare nu poate fi aplicată pentru toate zonele și condițiile posibile, pentru ca factorii economici, climatici și sociali vor dicta cele mai bune proceduri pentru fiecare proiect în parte.

Tehnologia cea mai utilizată în vederea compostării deșeurilor tehnologice de sorg zaharat o reprezintă tratarea în prisme de aerare, acoperite sau aflate în aer liber în stații de tratare industrial (fig. 10.62 și 10.63). Atât tratarea în aer liber cât și tratarea în spații acoperite impune etape de procesare fizico-chimice, etape de control și reglare parametrii de compostare și etapele de eliminare și vânzare. Elementul cheie pentru proiectarea unei stații de compostare eficienă reprezintă gestionarea costurilor operaționale fixe și producerea de produse finale de calitate, pe care oamenii doresc să le cumpere. Ambele obiective pot fi îndeplinite prin amenajarea unui flux de instalații de procesare și gestionarea eficientă a modului în care materialul circulă prin stația de compostare.



**Figura 10.62. Staţie de compostare a deşeurilor organice vegetale în spaţii acoperite**

*https://www.leadertelegram.com/country-today/farm-news/dane-county-manure-composting-facility-proposed/article_373cd311-fbd8-5684-bb0d-bdcae4782a26.html*



**Figura 10.63.Staţie de compostare a deşeurilor organice vegetale în aer liber**

*https://www.biocycle.net/smooth-transition-to-food-waste-composting/*

Cea mai frecventă variantă de amenajare a unei stații de tratare a materiei vegetale organice (fig. 10.64), impune împărțirea spațiului util în 6 zone principale:

1. zona de predare și recepție - amplasare realizată pentru a facilita descărcarea și de a înlesni achitarea taxelor percepute (taxe de mediu sau taxe de gestionare a deșeurilor). Se va avea în vedere faptul că eficiența controlului fluxului poate reduce semnificativ numărul de mutări cu încărcătoare, contribuind la economisirea costurilor echipamentelor, a combustibilului și a forței de muncă;
2. zona de sortare materiale de intrare și zona de măcinare - măcinarea este una dintre operațiile costisitoare de aceea este esențial să se utilizeze potențialul maxim al tocătoarelor;
3. zona de compostare – se va realiza procesarea si drenarea lichidelor din prisme;
4. zona de screening (verificare) și finisare - ajută la reducerea contaminării materialului, ceea ce duce la un produs final de calitate superioară;
5. zona de vânzare cu amănuntul – permite intrarea clienților și achiziția produselor;
6. bazin de scurgere levigat – previne poluarea panzei freatice prin acumularea levigatului.




**Figura 10.64. Amenajarea unei stații de compostare a deșeurilor organice (delimitarea zonelor importante)**

*https://www.biocycle.net/efficient-layout-at-a-composting-facility/*





Fluxurile te
stațiile de compo
contaminare al
biodegradabile le
și de capacitatea




**Figura 10.65. Descr**

*https://www.calgary.*
*cart*

Fluxurile te
mai puțin complex
Procesele care t
prismelor de comp
umidificarea, cânt

Costul de p
dispoziție pentru g
compostului. O a
scurtarea timpului
compostului, de a
stabili utilizările pro
figura 10.66 se pre
principale de com
compostarea la co

Fluxurile tehnologice pentru procesarea materiei organice în stațiile de compostare (fig. 10.65) variază în funcție de nivelul de contaminare al materiei brute (materiale nebiodegradabile sau biodegradabile lent), de calitatea care se dorește pentru materialul finit și de capacitatea de producție anuală a stației.

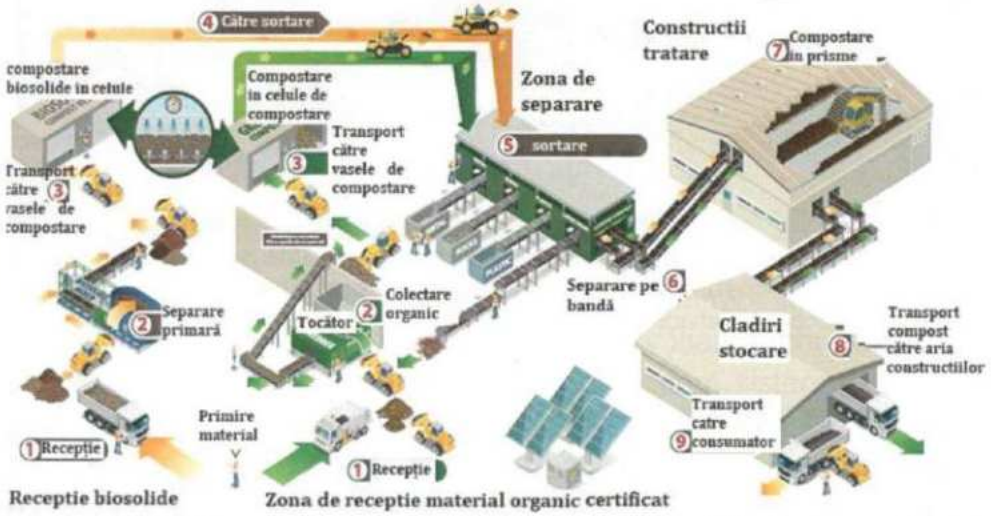



**Figura 10.65. Descrierea fluxurilor tehnologice într-o stație de compostare a deșeurilor organice**

*https://www.calgary.ca/uep/wrs/recycling-information/residential-services/green-cart/green-cart-organics-composting-facility.html*

Fluxurile tehnologice pentru procesarea sorgului zaharat pot fi mai puțin complexe, având în vedere nivelul redus de contaminare. Procesele care trebuie însă păstrate sunt mărunțirea, formarea prismelor de compostare, amestecarea, aerarea, dozarea chimicalelor, umidificarea, cântarirea și transportul.

Costul de procesare este influențat în special de timpul avut la dispoziție pentru gestiunea materiei brute și de nivelul de calitate al compostului. O activitate de procesare mai intensă va conduce la scurtarea timpului de obținere, dar va crește costul de producere al compostului, de aceea în etapa de proiectare a unei stații se se vor stabili utilizările produselor obținute și durata etapelor de procesare. În figura 10.66 se prezintă un exemplu privind schema realizării etapelor principale de compostare, ce poate fi adaptată cu succes pentru compostarea la costuri scăzute a deșeurilor de sorg zaharat.

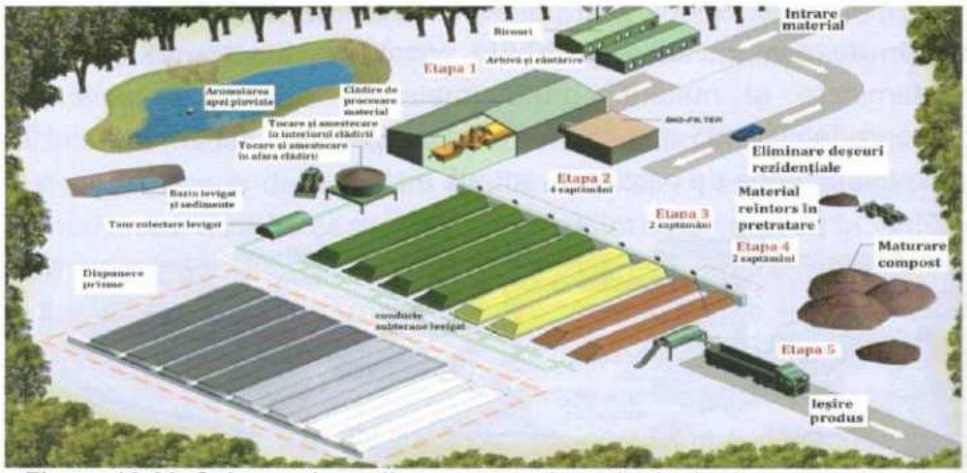



**Figura 10.66. Schema de realizare a etapelor principale de compostare la costuri reduse a deșeurilor de sorg zaharat**
*https://www.bigislandvideonews.com/2018/11/23/video-east-hawaii-organics-facility-update/*

### *10.9.4. Utilizarea compostului în agricultură*

Compostarea este un mijloc de transformare a diferitelor deșeuri biodegradabile în subproduse care pot fi utilizate în condiții de siguranță ca amendamente și bio-fertilizatori ai solului (*Cai și colab. 2007; Yu și colab. 2019; Bai și colab 2010*).

Aplicarea compostului crește productivitatea agricolă și conținutul de materie organică din sol (*Luo și colab., 2017*), datorită nutrienților din materialele compostate și prezenței organismelor care ajută semnificativ la creșterea plantelor (*Pane, 2014*). Pe lângă utilizarea ca îngrășământ, compostul este util în bioremedierea solurilor contaminate (*Ventorino și colab., 2019*), controlul bolilor plantelor, combaterea buruienilor (*Coelho și colab., 2019*), prevenirea poluării (*Uyizeye și colab., 2019*), controlul eroziunii, amenajarea teritoriului și refacerea zonelor umede.

De asemenea, compostarea crește biodiversitatea solului și reduce riscurile pentru mediu asociate îngrășămintelor sintetice (*Pose-Juan, 2017*). Procesul de compostare trebuie realizat în condiții de mediu controlate, utilizând tehnici și echipamente moderne, pentru a asigura o eficiență sporită și un nivel ridicat de calitate a produselor finite (*Cáceres și colab., 2018*).




**rincipale de compostare la sorg zaharat**
*/video-east-hawaii-organics-*

*cultură*

transformare a diferitelor pot fi utilizate în condiții de ori ai solului (*Cai și colab,*

vitatea agricolă și conținutul *2017*), datorită nutrienților organismelor care ajută *14*). Pe lângă utilizarea ca ierea solurilor contaminate lor plantelor, combaterea nirea poluării (*Uyizeye și* ea teritoriului și refacerea

biodiversitatea solului și îngrășămintelor sintetice trebuie realizat în condiții pamente moderne, pentru at de calitate a produselor



*Avantajele utilizării compostării în agricultură*

- Prin procesul de compostare se produc materii organice stabilizate ce pot fi utilizate în mod eficient pentru recuperarea solurilor degradate și restabilirea fertilității acestora, sechestrarea carbonului în sol și reducerea utilizării substanțelor chimice cu potențial risc (îngrășăminte, pesticide), rezultând pe de-o parte scăderea costurilor de producție și reducerea impactului negativ asupra mediului, *(Ştefănescu S. L. și colab.)*.
- Compostul poate fi utilizat cu succes și în alte activități productive precum pepinierele în domeniul pomicol/agricol, amenajările peisagistice sau de gradină;
- Eliminarea deșeurilor organice în gropile de gunoi are ca rezultat generarea de metan, care poate reprezenta o amenințare sau poate contribui la efectul de seră. Prin urmare, dezvoltarea tehnologiilor de compostare este importantă pentru crearea unui sistem durabil de gestionare a deșeurilor;
- Compostul este o sursă valoroasă de materie organică, dar conține, de asemenea, mulți nutrienți utili culturilor, inclusiv micronutrienți. Utilizarea corectă a compostului este esențială atât din punct de vedere al producției, cât și din punct de vedere al protecției mediului;
- Viteza de procesare prea mică a degradării necontrolate a masei vegetale conduce la unele deficiențe de nutrienți și la randamente scăzute. Ratele de procesare prea mari pot favoriza eliminarea nitraților și levigarea fosforului;
- Aplicarea compostului poate avea efecte importante asupra mai multor aspecte asociate structurii solului. Adăugarea de materie organică în soluri sub formă de compost poate spori stabilitatea agregată și conductivitatea hidraulică a solurilor.

*10.9.5. Descompunerea materiei vegetale în procesul de compostare*

Cele două mari procese prin care materia vegetală poate fi descompusă sunt *descompunerea urmată de stabilizarea aerobă* și *fermentarea anaerobă*.

În aceste procese, bacteriile, ciupercile, mucegaiurile și alte organisme saprofite se hrănesc cu materiale organice, cum ar fi

materia vegetală, gunoiul de grajd animal, și alte deșeuri organice și transformă deșeurile într-o formă mai stabilă (*Gotaas, 1956*).

*10.9.5.1. Descompunerea aerobă*

Atunci când materialul organic este descompus în prezența oxigenului procesul se numește „aerob". În procesarea aerobă, organismele vii care utilizează oxigen, se hrănesc cu materia organică și dezvoltă protoplasma celulară din azot, fosfor, o parte din carbon și alți nutrienți necesari. O mare parte din carbon servește ca sursă de energie pentru organisme și este ars și respirat de acestea ca dioxid de carbon ($CO_2$). Deoarece carbonul servește atât ca sursă de energie, cât și ca element al protoplasmei celulare, este nevoie de mult mai mult carbon decât azot (*Edward și colab., 2010*).

În general, aproximativ două treimi din carbon este respirat ca dioxid de carbon, în timp ce cealaltă treime este combinată cu azot în celulele vii. Dacă însă există un exces de carbon în detrimentul azotului în materialele organice aflate în descompunere, atunci activitatea biologică se va diminua semnificativ, fiind necesare mai multe cicluri de microorganisme pentru a procesa carbonul aflat în exces, deci procesul va fi mult mai îndelungat.

Procesul de creștere și dezvoltare al microorganismelor este unul rapid, iar în momentul în care acestea mor, azotul și carbonul stocat devin disponibile pentru alte organisme. Utilizarea azotului din celulele moarte de către alte organisme pentru a forma un nou material celular necesită însă arderea unei alte cantități din carbonul din materialul prelucrat și transformat în dioxid de carbon. În acest fel cantitatea totală de carbon este redusă, în timp ce cantitatea totala de azot este în mare parte reciclată (*Gotaas, 1956*).

În cele din urmă, când raportul dintre carbonul disponibil și azot este suficient de scăzut, atunci azotul intră într-un proces în care este eliberat ca amoniac. În condiții favorabile, o bună parte din cantitatea de amoniac poate fi oxidată ca nitrat și stocată în amestecul de compost.

Celelalte elemente extrem de importante în dezvoltarea biologică a plantelor precum fosforul, potasiul și diferite ale micro-elemente sunt prezente în mod normal în cantități mai mult decât

suficiente în materialele compostabile și nu prezintă nicio problemă de asigurare a cantităților minime.

În vederea realizării procesului de compostare la parametrii normali, trebuie să se asigure o cantitate adecvată de oxigen, potrivite stadiului de dezvoltare al microorganismelor și proceselor care au loc în acel moment.

Compostarea eliberează o cantitate mare de energie sub formă de căldură în procesul de oxidare a carbonului la dioxid de carbon. De exemplu, pentru descompunerea unei molecule-gram de glucoză în condiții aerobe, se eliberează între 484÷674 kilocalorii (kcal) sub formă de căldură (*Gotaas, 1956*).

În cazul în care materialul organic supus compostării aerobe se află într-o grămadă sau încăperea în care se realizează compostarea este izolată termic, atunci temperatura din timpul fermentării va crește la valori de peste 70°C. Trebuie specificat faptul că în cazul în care temperatura depășește 65÷70°C, procesul va degrada mai ușor unele materiale greu compostabile, însă activitatea bacteriană va scădea și stabilizarea compostului este încetinită (*Gotaas, 1956*).

Tipul microorganismelor care procesează materia primă compostată nu este același pe toată perioada procesului de compostare. Astfel, până la temperatura de 45°C se dezvoltă bacteriile mezofile, iar când intervalul de temperatură crește în jurul valorilor de 45÷65°C, organismele termofile se vor dezvolta și vor înlocui bacteriile mezofile în procesul de fermentare. La temperaturi de peste 65°C sunt doar câteva grupuri de bacterii care se pot dezvolta și contribui la descompunerea materialului supus compostării.

Cu toate acestea, oxidarea la temperaturi termofile are loc mai rapid decât la temperaturi mezofile și, prin urmare, este necesar un timp mai scurt pentru stabilizare (*ESCAP, 2012*).

În procesul de compostare este obligatorie atingerea unor temperaturi ridicate de procesare pentru ca să se poată distruge cu succes bacteriile patogene și protozoarele, ouăle de viermi și semințele de buruieni care pot cauza probleme atât culturilor cat și sănătății umane, dacă sunt aplicate pe sol fără igienizare.

Principalul avantaj al oxidării aerobe a materiei organice este că aceasta nu produce mirosuri neplăcute, care pot polua mediul înconjurător. În cazul în care sunt totuși prezente mirosuri, atunci procesul nu este în întregime aerob, sau există în amestec materiale care provin din alte surse decât oxidarea, iar acestea prezintă un miros (*Ayilara și colab., 2020*).

Descompunerea aerobă poate fi realizată în incinte de tip silozuri, în sisteme tip gropi de compostare, prisme sau grămezi, sau alte metode descrise în acest subcapitol, cu condiția să se asigure o cantitate necesară de oxigen specifică fiecărui procedeu. Unele tehnici implică întoarcerea materialului cu diferite echipamente, pentru adăugarea de oxigen în mod natural și a evita pe cat posibil descompunerea anaerobă.

*10.9.5.2. Fermentarea anaerobă*

Descompunerea prin putrefacție a materialului organic are loc anaerob, fără prezența oxigenului. Organismele vii anaerobe care metabolizează substanțele nutritive descompun compușii organici printr-un proces de reducere. În mod similar proceselor aerobe, organismele folosesc azot, fosfor și alți nutrienți în dezvoltarea protoplasmei celulare, dar reduc azotul organic la acizi organici și amoniac. În acest caz însă, carbonul din compușii organici care nu este utilizat în procesele celulare, este eliberat în special sub formă redusă de metan. O fracție mică din carbonul prezent este emis sub forma de dioxid de carbon.

Reducerea intensivă a materiei organice prin digestie este de obicei însoțită de mirosuri neplăcute constând în special în generarea de hidrogen sulfurat și de alți compuși organici reduși care conțin sulf, cum ar fi mercaptanii. Deoarece degradarea anaerobă a materiei organice este un proces de reducere, produsul final, humusul, este supus unor oxidări aerobe atunci când este introdus pe sol. Această oxidare este minoră, are loc rapid și nu are nicio consecință negativă la utilizarea materialului pe sol (*Cai și colab., 2007*).

În descompunerea anaerobă a moleculei de glucoză, se eliberează aproximativ 26 kcal din energia potențială per gram-

moleculă de glucoză, comparativ cu 484-674 kcal pentru fermentația aerobă. Energia carbonului se află în special în metanul eliberat. Desigur că la procesarea termică a metanului prin care va rezulta dioxidul de carbon se vor genera cantități mari de căldură, de aceea energia metanului poate fi utilizată în anumite condiții în motoarele cu ardere internă (*Gotaas și colab., 1956*).

Faptul că nu se eliberează căldură în proces, în vederea igienizării produsului finit, reprezintă cea mai mare problemă a digestiei anaerobe pentru că pot rămâne active o mare varietate de agenți patogeni și paraziți periculoși pentru sănătatea umană.

Deși temperaturile nu joacă un rol important în distrugerea organismelor (așa cum se întâmpla de regulă în cazul compostării anaerobe), organismele patogene sunt distruse din masa organică procesată, datorită faptului că se creează un mediu nefavorabil dezvoltării lor biologice. Igienizarea de acest tip este însă mult mai lentă, materialul trebuind ținut timp de 6 luni pentru a crește șansele de distrugere a ouălor cele mai rezistente dintre paraziții aflați în deșeurile vegetale (*Kutzner, 1997*).

Compostarea anaerobă poate fi realizată în prisme mari sau în celule care conțin 40÷75 % umiditate, în care sunt introduse cantități mici de oxigen, sau în celule cu 80÷99 % umiditate, astfel încât materialul organic să fie o suspensie lichid. Când materialele sunt procesate anaerob trebuie controlată strict poluarea olfactivă. O metodă de gestionare eficientă este aceea de a păstra materialul aflat în lucru în imersie de lichid, în acest fel gazele volatile se vor dizolva și vor fi eliberate într-un ritm mai puțin alert în atmosferă (*Kutzner, 1997*).

### *10.9.6. Principalele etape ale compostării deșeurilor tehnologice de sorg zaharat*

Compostarea este un proces prin care diferite microorganisme aerobe descompun materia organică brută pentru a obține energia și materialul de care au nevoie pentru creștere și reproducere. Subprodusele stabile ale acestei descompuneri, biomasa microorganismelor moarte, cât și a celor vii și părțile nedegradabile ale materiei prime alcătuiesc produsul finit denumit compost. (*Gotaas, 1956*).

Organismele responsabile de compostare necesită anumite condiții nutriționale și de mediu pentru a supraviețui și a se înmulți. Acestea au nevoie de cantități adecvate de macro și micro-nutrienți, oxigen și apă. Aceste organisme experimentează rate de creștere optime numai în anumite intervale de temperatură și pH.

Procesul de compostare este realizat de o populație diversă de microorganisme predominant aerobe care descompun materia organică pentru a crește și a se reproduce. Activitatea acestor microorganisme este încurajată prin gestionarea eficientă a raportului carbon-azot (C: N), aportul de oxigen, conținutul de umiditate, temperatura și pH-ul grămezii de compost. O compostarea gestionată corespunzător crește rata descompunerii naturale și generează suficientă căldură pentru a distruge semințele de buruieni, agenții patogeni și larvele insectelor (*Yu și colab., 2019*).

Procesul de compostare poate fi împărțit în două perioade principale: compostare activă și maturarea. Compostarea activă este perioada de activitate microbiană viguroasă, în timpul căreia se descompune materialul ușor degradabil, precum și o parte din materialul mai rezistent la degradare, cum ar fi celuloza. Maturarea urmează după compostarea activă și se caracterizează printr-un nivel mai scăzut de activitate microbiană. Când maturarea s-a finalizat, compostul este stabilizat (*Gotaas, 1956*).

În planificarea unui procedeu de compostare a resturilor vegetale din agricultură, există o serie de factori esențiali care trebuie considerați, unii dintre ei fiind interdependenți. În general, evaluările metodelor de compostare pe baza elementelor fundamentale permite realizarea unuia dintre următoarelor obiective:

- selectarea unei proceduri stabile, optimizată pentru circumstanțele particulare;
- selectarea unor tehnici de lucru din diferite proceduri standardizate aplicabile;
- dezvoltarea unor metode noi, mai economice pentru situații particulare

Cei mai importanți factori analizați în operațiunile de compostare sunt (*Gotaas, 1956*):





- Separarea deșeu
recuperarea deșeu
compostabile;
- Tocarea sau măr
materialului;
- Analiza relațiilor c
- Amestecarea și p
deșeurilor;
- Analiza conținut d
- Plasarea material
compostare;
- Condițiile de temp
- Condițiile de aera
- Analiza organism
proces;
- Utilizarea Inoculu

*10.9.6.1. Separa*

Dacă deșeu
principale, atunci
reciclabile. Separa
specifice de separ
metal, hârtie, artic



**Figura 10.67. Echipam
separare a contamina
din compost," Komp
Hurrikan S"**
*https://komptechameric
/product/hurrikan-
windsifter/*

| | |
|---|---|
| - Separarea deșeurilor și recuperarea deșeurilor ne-compostabile;<br>- Tocarea sau mărunțirea materialului;<br>- Analiza relațiilor carbon-azot;<br>- Amestecarea și proporționarea deșeurilor;<br>- Analiza conținut de umiditate;<br>- Plasarea materialelor pentru compostare;<br>- Condițiile de temperatură;<br>- Condițiile de aerare;<br>- Analiza organismelor implicate în proces;<br>- Utilizarea Inoculului; | - Tipurile de reacție;<br>- Condițiile climatice;<br>- Distrugerea organismelor patogene;<br>- Controlul zborului;<br>- Recuperarea azotului și a altor substanțe nutritive;<br>- Timpul necesar pentru compostare;<br>- Testarea și evaluarea stării de compostare;<br>- Calitatea composturilor;<br>- Aspectele economice ale compostării |

*10.9.6.1. Separarea deșeurilor și recuperarea deșeurilor ne-compostabile*

Dacă deșeurile nu sunt separate la sura de generare pe fracțiile principale, atunci este necesară o fază de separare a materialelor reciclabile. Separarea acestor materiale se realizează cu echipamente specifice de separare, în funcție de tipul de material (plastic, sticlă, metal, hârtie, articole de îmbrăcăminte, etc.).



**Figura 10.67. Echipament de separare a contaminanților din compost," Komptech Hurrikan S"** *https://komptechamericas.com /product/hurrikan-s-windsifter/*



**Figura 10.68. Echipament de separare a contaminanților din compost ,"EDGE MC1400"** *https://edgeinnovate.com /mc 1400-separating-compost-overs/*



**Figura 10.69. Echipament de separare a contaminanților ușori din compost** *https://komptechamericas.com/product-type/separation-machines/*

*10.9.6.2. Mărunțirea și tocarea materialului organic vegetal în vederea compostării*

Tulpinile de sorg zaharat supuse compostării vor fi mărunțite, înainte de introducerea în proces. Mărunțirea tulpinilor sau măcinarea materiilor prime pentru compostare poate produce mai multe rezultate pozitive. Materialul devine mai susceptibil la acțiunea bacteriană prin expunerea unei suprafețe mai mari și micșorând rezistența naturală a vegetației la acțiunea microbiană.



**Figura 10.70. Echipament utilizat pentru mărunțire și tocare a masei vegetale în vederea compostării** *https://www.arjes.de /en/titan-900-e-pu//*



**Figura 10.71. Echipament de mărunțire și tocare a masei vegetale "Straw crusher"** *https://edgeinnovate.com /mc1400-separating -compost-overs/*



**Figura 10.72. Echipament de mărunțire și tocare a masei vegetale "The Terminator"** *https://komptechamericas. com/product - type/shredding-machines/*

*10.9.6.3. Raportul carbon-azot în vederea producerii rețetelor optime de compost, utilizând reziduuri de sorg zaharat*

Procesul de descompunere al materiei organice și modul de descompunere este dictat în special de prezența materialului organic cu compuși predominanți de azot sau de carbon. Raportul carbon-azot reprezintă proporția relativă a celor două elemente.

Când carbonul utilizat ca sursă de energie pentru microorganisme se găsește în cantități mai mici decât necesarul pentru transformarea azotului disponibil în proteine, organismele folosesc tot carbonul disponibil, apoi vor elimina excesul de azot ca amoniac. Această eliberare de amoniac poate produce o pierdere de azot din compost, deci valoarea ar trebui menținută la minimum, sau acesta se poate recupera.

Un raport carbon-azot de 20 în compostul aplicat, este acceptat pe scară largă ca limită superioară la care nu există pericolul de a

extrage azotul din sol. În cazul în care carbonul se găsește sub formă de lignine sau alte materiale rezistente, raportul real ar putea fi mai mare de 20, (*Gotaas, 1956*).

*10.9.6.4. Amestecarea și proporționarea materialelor utilizate în compostarea deșeurilor vegetale*

Raportul C / N și conținutul de umiditate sunt cei doi factori importanți în vederea amestecării. Nu este necesară amestecarea atunci când raportul C / N este între 25 și 50, deși preferabil ar fi intervalul 30 - 40.

Materialele prea uscate și materialele prea umede ar trebui amestecate în proporții adecvate. Acolo unde se practică mărunțirea inițială, amestecarea se realizează de obicei la tocător, în caz contrar, materialele sunt amestecate prin așezarea în straturi la momentul formarii prismelor de compostare.



**Figura 10.73. Echipamente de amestecare și aerare compost**

*https://www.fertilizermachine-tc.com/products/fertilizer-compost-turner/fertilizer-compost-turner-machine* | *https://komptechamericas.com/product/topturn-x4500-windrow-turner/* | *https://compost-turner.net/compost-turner/full-hydraulic-crawler-compost-turner.html*

*10.9.6.5. Reglarea nivelul de umiditate în procesul de compostare și dozare substanțe chimice solubile în apă*

Descompunerea aerobă poate avea loc atunci când conținutul de umiditate variază între 30 % și 100 %, atâta timp încât materialului compostat i se poate asigura o aerare adecvată. Cu toate acestea, în mod practic, trebuie evitat un conținut ridicat de umiditate, pentru că apa tinde să deplaseze aerul din interstițiile dintre particule și dă naștere unor condiții anaerobe. Pe de altă parte, un conținut de umiditate prea mic privește organismele de apa necesară metabolismului și inhibă activitatea acestora.



**Figura 10.74. Echipamente de amestecare și udare a compostului**
*https://www.seymourrural.com.au/compost-turner-4000.html*

*10.9.6.6. Modalitățile de amplasarea a materialelor în vederea realizării proceselor de compostare*

Pentru compostarea materiei organice pot fi utilizate diferite tipuri de amenajări/amplasări cum ar fi containere perforate, celule de compostare, containere îngropate, incintele cu aerare mecanică de tip siloz vertical sau orizontal sau compostoarele de tip cuvă joasă, prisme de compostare, celule de compostare izolate termic, etc.

Deșeurile provenite din agricultură sunt de cele mai multe ori compostate în grămezi prismatice deschise, așezate pe o suprafață de beton, având posibilitatea de preluare a levigatului prin conducte, cu aerare mecanică sau forțată (*Gotaas, 1956*).

*10.9.6.7. Stabilirea temperaturilor de procesare în timpul compostării*

În mod experimental s-a evidențiat ca prin fermentarea aerobă se pot elibera cantități mari de căldură în procesul de compostare. Pentru ca materialul de compostare are proprietăți de izolare relativ bune, o masă de compostare suficient de mare va reține căldura reacției biologice exoterme și vor fi dezvoltate temperaturi ridicate. Temperaturile ridicate sunt esențiale pentru distrugerea organismelor patogene și a semințelor de buruieni nedorite. Descompunerea are loc, de asemenea, mult mai rapid în faza de descompunere termofilă. Intervalul de temperatură urmărit este de 50÷70 °C, iar optimul se regăsește în jurul valorii de 60 °C.





*10.9.6.8. P*

Aerarea e
pentru a obțin
constante carac
utilă în reducere
compostare. Înt
de aerare atunc
(*Van der Wurff ș*



**Figura 10.75. Echip
de amestecare
compostului în cu
betonate (prism
îngropate)**
*https://fertilizerp*



**Figura 10.78. Echip**
*https://www.*



**Figura 10.79. Echip
tractat de amestec
compostului**
*https://orga*



re a compostului
er-4000.html

terialelor în vederea

ot fi utilizate diferite
perforate, celule de
rare mecanică de tip
ip cuvă joasă, prisme
ic, etc.
e cele mai multe ori
zate pe o suprafață
atului prin conducte,

rocesare în timpul

fermentarea aerobă
esul de compostare.
ăți de izolare relativ
re va reține căldura
temperaturi ridicate.
ugerea organismelor
Descompunerea are
compunere termofilă.
0 °C, iar optimul se



*10.9.6.8. Procesele de aerare și dozare chimicale solide*

Aerarea este necesară pentru compostarea termofilă aerobă pentru a obține o descompunere rapidă și pentru a menține constante caracteristicile procesului de compostare. Aerarea este utilă în reducerea conținutului de umiditate inițială din materialele de compostare. Întoarcerea materialului este cea mai comună metodă de aerare atunci când compostarea se face în grămezi prismatice (*Van der Wurff și colab., 2016*).



**Figura 10.75. Echipament de amestecare a compostului în cuve betonate (prisme îngropate)**



**Figura 10.76. Echipament transportor cu lanț pentru aerare**



**Figura 10.77. Încărcător frontal utilizat la faza de aerare și gestiunea prismelor în stație**

*https://fertilizerplantequiment.com/how-to-make-horse-manure-compost/*



**Figura 10.78. Echipament de amestecare a compostului cu operare laterală, utilizat în special la procesarea în câmp**

*https://www.kooimaag.com/products/kooima-skid-trner-composter*



**Figura 10.79. Echipament tractat de amestecare a compostului**



**Figura 10.80. Echipament autopropulsat de amestecare și aerare a compostului**

*https://organicfertilizerplants.com/industrial-composting-machine/*

Întoarcerea manuală a compostului în grămezi este cea mai frecvent utilizată pentru operațiunile realizate la nivelul fermelor mici. Amestecarea mecanică este cea mai economică în instalațiile de compostare de dimensiuni mari (*Gotaas, 1956*).

*10.9.6.9. Acțiunea organismelor în procesele de compostare*

Deșeuri compostabile conțin în mod natural un număr mare de bacterii, ciuperci, mucegaiuri și alte organisme vii. Microorganismele au o varietate de funcții specifice, iar un organism unic, oricât de activ nu s-ar putea compara cu o populație mixtă în producerea descompunerii rapide și eficiente.

Ciupercile termofile cresc în intervalul de temperatură între aproximativ 45 °C și 60 °C. În ciuda faptului că sunt limitate în primul rând la straturile exterioare și devin active numai în ultima parte a perioadei de compostare, ciupercile și actinomicetele joacă un rol important în descompunerea celulozei, ligninelor și a altor materiale mai rezistente, care sunt procesate după au fost consumate materialele mai ușor de descompus.

Descompunerea celulozei și ligninei de către actinomicete și ciuperci poate apărea aproape de sfârșitul perioadei de compostare, când temperaturile au început să scadă și mediul de dezvoltare este satisfăcător pentru creșterea și dezvoltarea lor.

*10.9.6.10. Condițiile climatice în timpul compostării*

Condițiile climatice, în special temperatura, vântul și precipitațiile, influențează operațiunea de compostare.

Compostarea se poate realiza într-un mod eficient chiar si într-un mediu climatic relativ rece sau în zone cu precipitații considerabile, însă este necesară o minimă acoperire cu foile de compostare. Fără acoperire zăpada abundentă va întârzia foarte mult procesele de compostare și va fi necesară îndepărtarea zăpezii din zona de compostare. Materialul nu va deveni anaerob sau nu va crea un miros în timpul sezoanelor reci, prin urmare, dacă este disponibilă o zonă mai mare pentru realizarea proceselor, materialul poate fi lăsat să stea pentru perioade lungi de timp fără amestecare până când vremea este din nou favorabilă (*Gotaas, 1956*).

*10.9.7. Principalele metode utilizate pentru compostarea deșeurilor vegetale*

Există mai multe metode utilizate în compostare, care folosesc tehnologii și echipamente diferite. O descriere elaborată a principalelor metode de compostare utilizate pe scara larga îi aparține lui *H. Martin (2005).*

- *Compostare cu rotirea mecanizată a grămezilor:* Amestecarea mecanizată utilizând echipamente specializate de întoarcere a brazdelor pentru aerare și omogenizare, utilizează principiile agitației mecanice a materiei brute din prismele de compostare. Întoarcerea brazdelor va asigura un amestec uniform al materiei prime pe tot parcursul procesului de compostare. Întoarcerea prismelor de compostare poate fi făcută de unul dintre cele trei sisteme de operare:
  - tractor-încărcător;
  - tractor + distribuitor și încărcător tractat;
  - tractor + amestecător;
  - tractor șenilat.
- *Compostare cu aerare active:* este caracterizată printr-un sistem de ventilație care introduce aer forțat în straturile de compost, prin diferite metode. Cea mai utilizată tehnologie de aerare forțată presupune instalarea unui sistem de conducte sub prismă prin care se introduce aerul, utilizând ventilatoare de puteri diferite, în condițiile asigurării unei permeabilității relativ ridicate a materialului brut (*Van der Wurff și colab., 2016*).
- *Compostare prin grămadă statică:* este cea mai simplă și mai puțin costisitoare metodă de compostare, fiind însă ineficientă datorită lipsei de oxigen și a faptului ca nu se ating temperaturile adecvate pentru a elimina agenții patogeni și semințele de buruieni. Prismele de compostare nu sunt întoarse și nu au sisteme de aerare mecanică, nu ating temperaturi adecvate pentru a ucide agenții patogeni și semințele de buruieni. Grămezile nu trebuie să fie prea mari, pentru ca nu vor putea permite aerului să circule prin grămadă.
- *Compostarea în tăvi si platforme de compostare:* prezintă cele mai multe cerințe de proiectare și operare, iar tehnologiile posibile pot varia de la canale construite din beton cu malaxoare mecanice la sisteme

rotative de tip tambur de oțel. Majoritatea sunt proiectate pentru funcționarea în flux continuu și sunt concepute pentru operațiuni de compostare comercială de mare capacitate.

- *Vermicompostarea*: speciile comune de viermi utilizate pentru vermicompostare sunt *Eisenia foetida* și *Lumbricus rubellus*, acești viermi fiind adăugați pentru a ajuta la descompunerea mai rapidă a materiei organice şi a obţine un compost de calitate superioară. Acest tip de compost nu atinge temperaturi ridicate, dar poate exista o bună distrugere a agenților patogeni și a semințelor de buruieni (*Van der Wurff și colab., 2016*).

*10.9.8. Fazele compostării*

Există trei faze principale ale procesului de compostare, la care unii autori mai pot adăuga 1-2 faze secundare. Fazele compostării sunt descrise de *H. Martin* astfel:

- *Fază incipientă:* în care se produce o dezvoltare masivă a bacteriilor și fungiilor din compost, iar temperaturile urcă pana la maxim 40 °C;
- *Etapa activă sau termofilă:* este faza când are loc cea mai rapidă degradare a materialelor, după ce materialele sunt amestecate, temperaturile cresc (peste 45 °C) și descompunerea este realizată de microorganisme aerobe, termofile, inclusiv bacterii, actinomicete, ciuperci și protozoare;
- *Etapa de refacere sau mezofilă:* după ce cele mai multe materiale s-au degradat, temperaturile sunt mai stabile (de obicei mai mici de 40 °C) chiar și după ce grămada este aerată. În această etapă există o schimbare în populațiile de microorganisme, iar compostul ar trebui să rămână aerob si fără etape de aerare.
- *Maturarea*: compostul are nevoie de timp pentru maturare, atunci când are loc conversia compușilor organici în substanțe humice rezistente, iar activitatea microbiană este minimă. Maturarea influențează semnificativ prețul de aceea calitatea este asociată intodeauna prețului de producție *(Van der Wurff, 2016)*.





*10.9.9. Echip*
*organice biodegrad*

Deșeurile org
buruieni, fructe și le
deșeurilor casnice
general etape de
frecvent în proces
aerare, dozatoarele
prismelor de compo

Au fost dezvo
a deșeurilor veget
volumului (micșora
pentru eliminarea e

Aceste echi
mari, putând fi utili
adaptate pentru uti



**Figura 10.81. Ec**
**compostare deșeuri**
**„Foodi**
*https://www.weee*
*/echipamente-per*

Pentru realiz
mediul rural cât și
dimensiuni mici (fi
aerare sau amest
având la bază ace
propriu zisă. Une

*10.9.9. Echipamente utilizate în domeniul compostării materialelor organice biodegradabile*

Deșeurile organice provenite din agricultură (deșeuri tehnologice, buruieni, fructe și legume alterate, etc.) sau din colectarea selectivă a deșeurilor casnice (produse alimentare expirate) nu necesită în general etape de separare mecanizată. Echipamentele folosite frecvent în procesele de compostare sunt utilajele de amestecare și aerare, dozatoarele de apa și nutrienti/enzime, utilajele de gestiune a prismelor de compostare și unele tehnologii automatizate de procesare.

Au fost dezvoltate o serie de echipamente automate de procesare a deșeurilor vegetale biodegradabile în vederea reducerii rapide a volumului (micșorare cu 85 % în 24 ore), aerarea continuă și igienizare pentru eliminarea elementelor patogene.

Aceste echipamente (fig. 10.82÷10.83) au capacități medii și mari, putând fi utilizate în domeniul restaurantelor, Horeca sau pot fi adaptate pentru utilizarea în domeniul agricol.




**Figura 10.81. Echipament de compostare deșeuri biodegradabile „Foodie"**
*https://www.weee.ro/index.php /echipamente-pentru-compost/*



**Figura 10.82. Echipament de compostare automată a deșeurilor biodegradabile**
*https://www.alibaba.com/product-detail/Premium-Food-Waste-Kitchen-Waste-Composting_62218471306.html?spm=a2700.details.deletail6.3.2c3e660eCa3l60*

Pentru realizarea compostării la nivelul gospodăriilor atât din mediul rural cât și urban se pot utiliza echipamente de compostat de dimensiuni mici (fig. 10.83÷10.84), prevăzute cu subansambluri de aerare sau amestecare. Acestea variază ca formă și dimensiune, având la bază același proces prin care se realizează compostarea propriu zisă. Unele compostoare sunt sub forma unui coș de

dimensiuni reduse, sau pot avea construcții mai complexe (fig. 10.85÷10.87), reducând timpul de compostare cu până la 70 %.



**Figura 10.83. Coș de compostare**
*(Vich și colab., 2017)*



*(Lekammudiyanse și colab., 2009)*



**Figura 10.84. Prototip de compostare a deșeurilor casnice**
*(Papadopoulos și colab., 2009)*



**Figura 10.85. Convertor de deșeuri organice automat , F-500 Ecoman**
*https://www.indiamart.com/proddetail/ecoman-fully-automatic-f-500-organic-waste-converter-16678714655.html*



**Figura 10.86. Mașină de compostat, semi-automată**
*https://www.indiamart.com/proddetail/composting-machines-21689715988.html*



**Figura 10.87. Mașină de compostare semi-automată a deșeurilor alimentare**
*https://www.indiamart.com/proddetail/food-waste-composting-machine-20024837088.html*

## 10.10. VALORIFICAREA SORGULUI ZAHARAT PRIN PIROLIZĂ ȘI GAZEIFICARE

Ca urmare a creșterii populației globale, se estimează că în anul 2050 se va înregistra o creștere a consumului de energie primară la 262,8 PWh, comparativ cu 104,67 PWh în anul 2013 (*IEA, 2015*).

Biomasa joacă un rol vital în asigurarea resurselor necesare pentru generarea de energie concomitent cu protecția mediului. Ponderea

ii mai complexe (fig.
cu până la 70 %.



**Figura 10.84. Prototip de compostare a deșeurilor casnice**
***(Papadopoulos și colab., 2009)***



**Figura 10.87. Mașină de compostare semi-automată a deșeurilor alimentare**
*https://www.indiamart.com/proddetail/food-waste-composting-machine-20024837088.html*

**LUI ZAHARAT PRIN**

, se estimează că în anul
lui de energie primară la
nul 2013 (*IEA, 2015*).
esurselor necesare pentru
ecția mediului. Ponderea



potențială a bioenergiei până în 2050 va fi de aproximativ 100 EJ/an, care va continua să crească la 190 EJ/an până în 2085 (*Speight J.G., 2010*).

Procesele utilizate în mod obișnuit în prelucrarea termochimică a biomasei lignocelulozice pentru generarea biocombustibililor sunt piroliza, gazeificarea și lichefierea.

*Piroliza* este un proces de conversie a biomasei, inclusiv a sorgului zaharat, în energie. Prin piroliză se obțin produse valoroase, cum ar fi produse solide (bioachar și cărbune), produse lichide (gudron, ulei și ulei pirolitic) și produse gazoase (biogaz și gaz pirolitic).

Biocharul poate fi produs prin mai multe tehnologii: piroliza lentă și rapidă, gazeificarea sau carbonizarea convențională și rapidă. Masa de biochar produs prin piroliză reprezintă 20–30 % din masa materiei prime uscate. Gazele eliberate în timpul pirolizei includ în principal CO, $CO_2$, $CH_4$, $C_2H_4$, $C_2H_6$ și $H_2$. Randamentul maxim de bio-ulei obținut prin piroliză este de 75–80 %, în funcție de tipul de biomasă (*Naik și alții, 2017*).

Bagasa de sorg zaharat este un material lignocelulozic (conține 45 % celuloză, 27 % hemiceluloză și 21 % lignină) și, ca atare, poate fi utilizată pentru aceleași aplicații generale ca și alte tipuri de biomase lignocelulozice, inclusiv pentru obținerea biocombustibililor de a doua generație.

Bagasa de sorg zaharat este un material bogat în carbon, încă neexploatat la adevărata sa valoare, dar care poate fi transformat termochimic, prin piroliză, în biochar, un produs valoros care poate fi aplicat pe terenurile agricole ca amendament pentru îmbunătățirea sănătății solului, a conținutului de carbon din sol, a capacității de reținere a apei, a drenajului și aerării solului, pentru a crește randamentul și conținutul de zaharuri al culturilor (*Lima și alții, 2017*), sau drept catalizator pentru purificarea singazului (*Naik și alții, 2017*).

În figura 10.88 se prezintă bagasa de sorg (a), uscată la etuvă, cu dimensiunea particulelor de 1÷2 mm şi produsele obținute din piroliza bagasei de sorg și anume biouleiul (b) și biocharul (c).