

#### SAŽETAK

Silirana cijela biljka kukuruza (*Zea mays* L.) se uobičajeno koristi za hranidbu preživača, prvenstveno radi visoke pogodnosti biljke kukuruza za siliranje, visokog sadržaja energije i visokog prinosa suhe tvari (ST) po jedinici površine. Cilj ovog rada je prikazati tehnološke zahvate u proizvodnji kukuruzne silaže od odabira hibrida kukuruza za sjetvu, gustoću sklopa usjeva kukuruza za siliranje, zrelost usjeva kukuruza za siliranje, visinu košnje, prinos, duljinu sjeckanja, primjenu aditiva za siliranje, zatvaranje silosa te fermentaciju u silosu.

Proizvodnja kukuruzne silaže se može potpuno mehanizirati, a usjev se kosi jedan puta godišnje, pa su niži troškovi radne snage i mehanizacije u usporedbi s npr. proizvodnjom travne silaže/sjenaže gdje se kosi i silira nekoliko otkosa krme tijekom vegetacijske sezone. Biljka kukuruza se silira nekoliko tjedana prije žetve kukuruza za zrno, pa se prema potrebi, određene površine pod kukuruzom za siliranje mogu žeti kasnije za proizvodnju zrna.

Razvoj hibrida kukuruza je ključan u globalnim trendovima proizvodnje kukuruzne silaže, a izbor hibrida za sjetvu je najvažniji čimbenik profitabilne proizvodnje kukuruzne silaže. Prinos i hranidbena vrijednost kukuruzne silaže su ovisni o mikroklimatskim uvjetima uzgoja, svim agrotehničkim zahvatima uzgoja usjeva kukuruza te pravovremenoj i usklađenoj provedbi tehnoloških postupaka siliranja biljke kukuruza od košnje, punjenja i zatvaranja silosa do završetka fermentacije u silosu.

Ključne riječi: kukuruzna silaža, tehnologija siliranja

#### UVOD

Silaža od cijele biljke kukuruza (*Zea mays* L.) je visokoenergetska voluminozna krma za hranidbu svih vrsta preživača, uključujući goveda za proizvodnju mlijeka i mesa, ovce i koze (Harrison i sur., 1996.; Kolver i sur., 2003.). Visokog je prinosa suhe tvari (ST) po jedinici površine, pogodna za siliranje zbog niskog pufernog kapaciteta i jeftinija za proizvodnju po t proizvedene ST u usporedbi s nekim drugim krmnim kulturama (Kolver i sur., 2003.). U proizvodnji kukuruzne silaže je neophodno dobro gospodarenje usjevom i tehnološkim postupcima siliranja koji moraju biti pravovremeni i usklađeni.

Proizvodnja kukuruzne silaže započinje obradom tla i odabirom hibrida za sjetvu. Hranidbena vrijednost hibrida često ima manji utjecaj na proizvodnju mlijeka od prinosa hibrida po jedinici površine (Kolver i sur., 2003.). Primijenjenom agrotehnikom proizvodnje usjeva kukuruza za siliranje te tehnološkim postupcima siliranja izravno se utječe na prinos suhe tvari (ST) po jedinici površine i hranidbenu vrijednost proizvedene kukuruzne silaže (Johnson i sur., 1999.). Pravovremenom i usklađenom provedbom svih agrotehničkih zahvata i tehnoloških postupaka u proizvodnji kukuruzne silaže proizvodi se visoko energetska krmivo visoke hranidbene vrijednosti (Vranić i sur., 2004., 2005.; Lukšić i sur., 2018.).

Prof. dr. sc. Marina Vranić, izv. Prof. dr. sc. Krešimir Bošnjak, e-mail: kbosnjak@agr.hr, Agronomski fakultet, Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za specijalnu proizvodnju bilja, Svetošimunska cesta 25, Zagreb, Hrvatska  
Sara Kolar, Lucija Božić, Milan Bogičević, student/ica na Agronomskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, Hrvatska

Cilj ovog stručnog rada je prikazati osnovne aspekte proizvodnje kukuruzne silaže od odabira hibrida za sjetvu, gustoće sklopa usjeva kukuruza za siliranje, do zrelosti usjeva kukuruza za siliranje, visine košnje, prinosa, duljine sjeckanja, primjene aditiva za siliranje, zatvaranja silosa i fermentacije u silosu.

#### *Hibridi kukuruza za proizvodnju silaže*

Razvijeni su brojni hibridi kukuruza za proizvodnju kukuruzne silaže, poput hibrida manjeg udjela lignina, visokog udjela ulja u zrnu, visoko kvalitetnih proteina (visoki udio amino-kiseline lizin), visokog udjela voska ili visokog udjela lista. Utvrđene su značajne razlike u hranidbenoj vrijednosti različitih hibrida kukuruza za siliranje. Međutim, osnovni parametar kod odabira hibrida kukuruza za siliranje je prinos suhe tvari (ST) krme po jedinici površine koji je proporcionalan proizvodnji mlijeka muznih krava (Kolver i sur., 2003.).

Hranidba kukuruznom silažom proizvedenom od hibrida visoko kvalitetnih proteina (veći udio lizina) može povećati konzumaciju ST obroka preživača te rezultirati većom proizvodnošću životinja (Phipps i sur., 2001.). Veća konzumacija ST obroka treba rezultirati većom proizvodnjom mlijeka ili mesa. U suprotnom, nema prednosti korištenja hibrida visokog udjela lizina za proizvodnju silaže i govori se o slabijoj efikasnosti hranidbe silažom visokog udjela lizina u zrnu (Thomas i sur., 1975.).

Udio ulja u zrnu kukuruza može varirati od 12-213 g kg<sup>-1</sup> ST (Alexander, 1988.). Hibridi kukuruza koji sadrže više od 60 g ulja u zrnu kg<sup>-1</sup> ST su hibridi visokog udjela ulja i veće koncentracije energije (Lambert, 1994.). Hranidba silažom cijele biljke kukuruza visokog udjela ulja ne mora biti superiorna u odnosu na kukuruznu silažu nižeg udjela ulja s obzirom na konzumaciju ST i proizvodnost životinja (Spahr i sur., 1975.; Atwel i sur., 1988.), a prinos zrna i ST po jedinici površine je obično niži kod hibrida kukuruza visokog udjela ulja (Atwel i sur., 1988.).

Hibridi visokog udjela voska imaju veći udio amilopektina u endospermu zrna (Alexander, 1988.). Silirana cijela biljka kukuruza hibrida visokog udjela voska ne daje značajno veću kvalitetu kukuruzne silaže obzirom na konzumaciju i proizvodnost životinja (Alexander, 1988.; Coe i sur., 1988.).

Dodatna lisna masa biljke kukuruza značajno povećava intenzitet fotosinteze tijekom nalijeivanja

zrna, pa se uzgojem hibrida visokog udjela lista osiguravaju veći prinosi i zrna i cijele biljke kukuruza (Shaver, 1983.). Prednosti hranidbe siliranom cijelom biljkom kukuruza od hibrida visokog udjela lista su dvojbene (Ballard i sur., 2001.), ali u hranidbi muznih krava mogu rezultirati većom proizvodnjom mlijeka (Thomas i sur., 2001.; Clark i sur., 2002.).

#### *Odabir hibrida*

Kod odabira hibrida za proizvodnju kukuruzne silaže u obzir je potrebno uzeti prinos po jedinici površine, duljinu vegetacije i zrelost, hranidbenu vrijednost, potencijalne bolesti, otpornost na štetnike i mikroklimatske uvjete područja uzgoja. Prinos zrna se također uzima u obzir ako se planira dio usjeva požeti za zrno jer prinos zrna i cijele biljke kukuruza su u negativnoj korelaciji. Ako se želi proizvesti i kukuruz za zrno i kukuruz za siliranje, tada se mogu koristiti dvonamjenski hibridi.

Biljci kukuruza za siliranje koja ima nizak udio zrna (visok udio neutralnih detergent vlakana (NDV) i nizak udio škroba) prilikom siliranja može se dodati zrno kukuruza čime se smanjuje sadržaj NDV i povećava sadržaj škroba do razine kukuruzne silaže hibrida kukuruza visokog udjela zrna.

Međutim, hranidba kukuruznom silažom visokog udjela NDV i niskog udjela zrna ne mora, radi veće probavljivosti NDV kukuruzne silaže visokog udjela NDV, značiti i manju konzumaciju i manju proizvodnju mlijeka (Al-Jobeile, 2000.). Kod hranidbe kukuruznom silažom visokog udjela zrna obroku treba dodavati manje koncentrata (Al-Jobeile, 2000.). Kod odabira hibrida važno je razmotriti hranidbene potrebe životinja koje će silažu konzumirati.

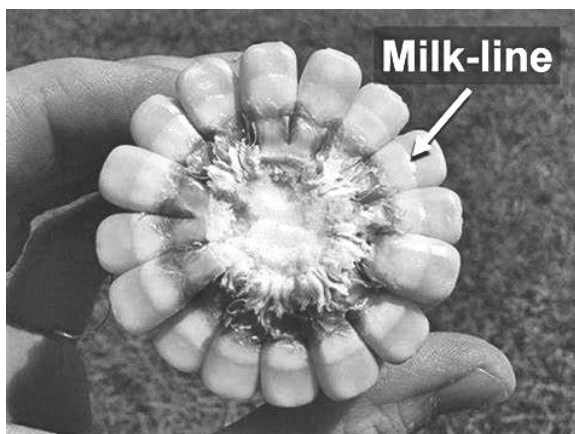
#### *Zrelost usjeva kukuruza za siliranje*

Stadij zrelosti u trenutku košnje najviše utječe na probavljivost, energetska vrijednost i podobnost cijele biljke kukuruza za siliranje (Johnson i sur., 1999.).

Kod usjeva kukuruza namijenjenog za siliranje, i prinos i kvaliteta usjeva dosežu svoje maksimalne vrijednosti u približno isto vrijeme. Maksimalni prinosi po jedinici površine se ostvaruju kada je koncentracija ST biljke kukuruza između 310-420 g kg<sup>-1</sup> svježeg usjeva, ovisno o vegetacijskoj sezoni (Ledrew i sur., 1984.). Poželjna koncentracija ST svježih biljki kukuruza za siliranje je oko 35 % (faza voštane ili kasno voštane zriobe). Tada

se postiže optimalan omjer između sadržaja škroba kao nosioca energetske vrijednosti i vodotopljivih šećera potrebnih za proizvodnju dovoljne količine mliječne kiseline koja snižavanjem kiselosti ispod pH 4.0 konzervira cijelu biljku kukuruza (Horrocks i Vallentine, 1999.).

Predloženo je da se za određivanje optimalnog vremena košnje cijele biljke kukuruza za siliranje fokusira na mliječnu liniju u zrnu, kao indikatora određivanja optimalnog vremena košnje usjeva kukuruza, koja bi trebala biti na 1/3 do 1/2 zrna (Bal i sur., 1996.). Slika 1 prikazuje mliječnu liniju vidljivu na zrnu kukuruza optimalnog sadržaja ST za siliranje.



Slika 1. Mliječna linija na zrnu kukuruza optimalnog sadržaja suhe tvari za siliranje  
(Izvor: milk line corn grain - Bing images)

Picture 1 Milk line on maize grain with optimal dry matter content for ensiling  
(Source: milk line corn grain - Bing images)

#### Siliranje usjeva kukuruza nižeg sadržaja suhe tvari

Ako se usjev kukuruza za siliranje kosi ranije od preporučenog, manji je prinos ST, niži je udio škroba i energije, a viši je udio sirovih proteina (SP), šećera i NDV. Osim toga, mogu se očekivati veći gubici hranjivih tvari ocjeđivanjem silažnog soka iz silosa te intenzivnija fermentaciju u silosu koja može smanjiti konzumaciju ST silaže (Erdman, 1988.).

Prinos ST usjeva kukuruza i probavljivost su najveći kod sadržaja ST oko 350 g kg<sup>-1</sup> svježeg usjeva, a visoki gubici prinosa ST se mogu očekivati ako mrazom oštećeni usjev ostane u polju (White i sur., 1976.).

Odumrla biljna tkiva biljke kukuruza zbog utjecaja mraza, potiču rast i razvoj plijesni i stvaranje toksina (Gotlieb, 1997.), pa nezreli usjev kukuruza oštećen mrazom treba što prije silirati, odmah nakon postizanja minimalnog sadržaja ST koji omogućuje dobru fermentaciju i minimalne gubitke hranjiva ocjeđivanjem silažnog soka.

U Tablici 1. je prikazan utjecaj zrelosti usjeva kukuruza za siliranje na kemijski sastav kukuruzne silaže (Neylon i Kung, 2003.).

Vidljivo je povećanje sadržaja ST i škroba, a opadanje sadržaja SP kukuruzne silaže sa zrelošću usjeva kukuruza za siliranje od mliječne do kasno voštane zriobe kod oba hibrida kukuruza (Tablica 1.). Kod oba hibrida je vidljiv trend opadanja sadržaja KDV i KDL sa zrelošću usjeva kukuruza. Sadržaj NDV kod hibrida Mycogen TMF100 je bio niži, a kod hibrida Mycogen TMF108 viši u kukuruznoj silaži proizvedenoj u kasno voštanoj u odnosu na 1/3-2/3 mliječne linije zrna usjeva kukuruza (Tablica 1.).

Tablica 1. Utjecaj hibrida i zrelosti cijele biljke kukuruza za siliranje na kemijski sastav kukuruzne silaže (g kg<sup>-1</sup> ST ako nije drugačije navedeno) (Neylon i Kung, 2003.)

Table 1 The effect of hybrid and maize maturity at harvest on maize silage chemical composition (g kg<sup>-1</sup> DM if not otherwise stated) (Neylon and Kung, 2003.)

Zrelost Maturity	Hibrid/ Hybrid	ST DM	Pepeo Ash	SP CP	Škrob Starch	NDV NDF	KDV ADF	KDL ADL
1/3 - 2/3 ML	Mycogen TMF100	330	ND	86	309	434	254	33
KV/ LD		403	ND	83	341	424	252	28
1/3 - 2/3 ML	Mycogen TMF108	347	ND	85	328	410	236	24
KV/LD		426	ND	81	360	415	231	27

ML, mliječna linija zrna; KV, kasno voštana zrelost zrna kukuruza; ST, suha tvar (g kg<sup>-1</sup> svježeg usjeva); SP, sirovi proteini; NDV, neutralna detergent vlakna; KDV, kisela detergent vlakna; KDL, kiseli detergent lignin

ML, milk line of corn grain; LD, late dent; DM, dry matter (g kg<sup>-1</sup> fresh sample); CP, crude protein; NDF, neutral detergent fibre; ADF, acid detergent fibre; ADL, acid detergent lignin.

*Visina košnje usjeva kukuruza za siliranje*

Usjev kukuruza za siliranje se kosi na visini oko 10 cm. Košnja usjeva kukuruza za siliranje na veću visinu rezultira većom probavljivošću kukuruzne silaže. Kod klasičnih hibrida su donji dijelovi stabljike slabije probavljivi jer sadrže više lignina, a košnjom do 50 cm se povećava probavljivost kukuruzne silaže. Viša košnja radi povećanja hranidbene vrijednosti obično nije profitabilna jer se povećanjem kvalitete ne mogu nadomjestiti gubitci prinosa (Lauer, 1998.). Povećanje visine košnje za 30 cm smanjuje prinos ST za oko 15 %, povećava proizvodnju mlijeka po grlu za 3-4 %, ali smanjuje proizvodnju mlijeka po ha za 3-4 % (Lauer, 1998.).

Košnja na visinu 15-20 cm je opravdana ako se u usjevu očekuje veća koncentracija nitrata koji se nalaze u prizemnim dijelovima stabljike.

U Tablici 2. je prikazan utjecaj visine košnje cijele biljke kukuruza za siliranje na kemijski sastav kukuruzne silaže (Hulse i sur., 2017.).

Vidljivo je (Tablica 2.) da s povećanjem visine košnje usjeva kukuruza za siliranje raste sadržaj ST, škroba i SP kukuruzne silaže, a opada sadržaj pepela i vlakana (NDV, KDV i KDL).

*Gustoća sklopa i prinos usjeva kukuruza za siliranje*

Preporučena gustoća sklopa usjeva kukuruza za siliranje je oko 100 000 biljaka ha<sup>-1</sup>. Povećanje gustoće sklopa sa 85.000 na 362.000 biljaka ha<sup>-1</sup> povećava prinos ST usjeva za 2-3 t ha<sup>-1</sup> (Thomas i sur., 2001.). Povećanje gustoće sklopa usjeva ku-

kuruza za siliranje sa 44.500 na 104.500 biljaka ha<sup>-1</sup> povećava prinos ST za 1,7 do 4,1 t ha<sup>-1</sup> ovisno o uvjetima uzgoja (Lauer, 1998.).

Veća gustoća sklopa kukuruza za siliranje povećava kompeticiju između biljaka za vodu, svjetlo i hranjive tvari što može smanjiti prinos pojedinih biljaka, ali povećava prinos usjeva (Thomas i sur., 2001.).

Prosječan prinos ST usjeva kukuruza za siliranje je varijabilan i ovisan o hibridu i agrotehnici uzgoja (gustoća sklopa, gnojidba, itd.) te mikroklimatskim uvjetima uzgoja. Može iznositi od 12,49 do 29,59 t ST ha<sup>-1</sup> (Thomas i sur., 2001.), 14-25 t ST ha<sup>-1</sup> (Hoover i sur., 1998.), 20-25 t ST ha<sup>-1</sup> (Phipps i sur., 2001.).

*Silos i za siliranje usjeva kukuruza*

Kukuruzna silaža se najčešće silira u horizontalne ili trench silose koji osiguravaju optimalne uvjete siliranja velike količine krme uz niža ulaganja u odnosu na vertikalne silose. Ovaj tip silosa je omeđen s dvije ili s tri strane zidovima koji su uobičajeno visoki 2-4 metra. Unutarnja ploha bočnih zidova je u pravilu ukošena, dok je vanjska strana okomita. Da bi se dobio taj konusni oblik, zid u gornjem dijelu može biti širine 15-20 cm, a u donjem dijelu do betonske ploče 30-45 cm. Konusni oblik omogućuje bolje zbijanje biljne mase uz stranice silosa i postizanje dobrog kontakta između silažne mase i zidova silosa čime se sprječava mogući prodor kisika u siliranu biljnu masu uz zidove silosa.

**Tablica 2. Utjecaj visine košnje cijele biljke kukuruza za siliranje na kemijski sastav kukuruzne silaže (g kg<sup>-1</sup> ST ako nije drugačije navedeno) (Hulse i sur., 2017.)**

**Table 2 The effect of whole maize plant cutting height on maize silage chemical composition (g kg<sup>-1</sup> DM if not otherwise stated) (Hulse and al., 2017)**

VK / CH	Hibrid / Hybrid	ST / DM	Pepeo / Ash	SP / CP	Škrob / Starch	NDV / NDF	KDV / ADF	KDL / ADL
20	Pioneer P30F53HR	302	30	64	376	411	193	54
40		312	29	65	372	408	197	46
60		330	27	71	393	336	184	24
80		342	27	73	388	299	161	20
100		352	27	73	407	275	154	16

VK, visina košnje; ST, suha tvar (g kg<sup>-1</sup> svježeg usjeva); SP, sirovi proteini; NDV, neutralna detergent vlakna; KDV, kisela detergent vlakna; KDL, kiseli detergent lignin

CH, cutting height ML, DM, dry matter (g kg<sup>-1</sup> fresh sample); CP, crude protein; NDF, neutral detergent fibre; ADF, acid detergent fibre; ADL, acid detergent lignin.

U slučaju podizanja ravnih zidova, što je često u praksi, silažna se masa teže sabija uz zid silosa, pa je i veća mogućnost njenog kvarenja tijekom skladištenja.

Horizontalni silosi su jeftiniji za izgradnju od vertikalnih silosa. Međutim, gubitci hranjivih tvari su uobičajeno veći nego kod vertikalnih silosa. Potrebno je više rada tijekom uzimanja silaže iz silosa, ali je moguće brzo spremati velike količine krme. Stoga je ova vrsta silosa najčešće u upotrebi na velikim farmama.

Kod siliranja usjeva kukuruza višeg udjela vlage, horizontalni silosi imaju prednosti u odnosu na silo-tornjeve radi manjih gubitaka hranjiva otjecanjem silažnog soka. Veličina silosa treba osigurati minimalne gubitke hranjiva prozračivanjem kod uzimanja silaže iz silosa.

#### *Duljina sjeckanja biljke kukuruza za siliranje*

Duljina sjeckanja usjeva kukuruza za siliranje je u negativnoj korelaciji sa zbijenošću ST biljnog materijala u silosu (Hoover i sur., 1998.), a u pozitivnoj s prolaskom cijelog zrna kroz probavni trakt životinja. Sitnije sjeckanje usjeva kukuruza za siliranje negativno utječe na probavljivost vlakana, nema utjecaja na konzumaciju ST ili proizvodnju mlijeka, ali smanjuje sadržaj mliječne masti u mlijeku (Allien, 1997.). Kraće sjeckanje cijele biljke kukuruza manje utječe na dužinu preživljanja ako životinje imaju ponuđene dovoljne količine druge voluminozne krme.

Optimalna duljina sjeckanja kukuruzne silaže ovisi o potrebama na voluminoznoj krmi životinja koje će biti hranjene. Sitnije sjeckana kukuruzna silaža (0,64 cm) može povećati konzumaciju ST i probavljivost za životinje nižih hranidbenih potreba kao npr. mesnih pasmina goveda.

Dulje sjeckanje (0,95-1,27 cm) je poželjno za muzne krave ako im u obrok nije uključena druga vrsta voluminozne krme (Hoover i sur., 1998.). Duljina sjeckanja biljke kukuruza zrelijeg usjeva je ograničena na 0,95 cm ili kraće da se spriječi prolaz cijelog neprobavljenog zrna kroz probavni trakt (Allien, 1997.). Dulje sjeckanje rezultira većim komadićima oklasaka u silaži koje životinje izbjegavaju konzumirati, kao i manjom zbijenošću silaže u silosu. Biljka kukuruza visokog sadržaja ST (>380 g ST kg<sup>-1</sup> svježeg usjeva) može se čvršće sabiti u silosu ako

se prije siliranja sjecka kraće. Time se omogućuje čvršće sabijanje biljne mase u silosu i sprječava rast i razvoj nepoželjnih aerobnih mikroorganizama koji silažu potencijalno kontaminiraju mikotoksinima.

#### *Mehaničko tretiranje biljke kukuruza za siliranje*

Kukuruzna silaža se može mehanički tretirati prije siliranja na način da se gnječi zrnje te lome stabljike i oklasci. Mehanički tretmani biljke kukuruza za siliranje imaju varijabilan utjecaj na hranidbenu vrijednost kukuruzne silaže u hranidbi muznih krava jer mogu smanjiti konzumaciju ST kukuruzne silaže (Larson, 1979.), povećati proizvodnju mlijeka muznih krava (oko 0,8 kg d<sup>-1</sup>), ali smanjiti sadržaj mliječne masti u mlijeku (Harrison i sur., 1998.). Utjecaj mehaničkih tretmana cijele biljke kukuruza za siliranje na proizvodne karakteristike životinja ovisi i o vrsti hibrida kukuruza za siliranje. Mehaničko tretiranje cijele biljke kukuruza za siliranje od hibrida kukuruza visokog udjela masti ne mora povećati proizvodnju mlijeka dok kod konvencionalnih hibrida kukuruza za siliranje može dovesti do tendencije povećanja proizvodnje mlijeka (Weiss i Wyatt, 2000.).

Osim toga, mehaničko tretiranje cijele biljke kukuruza prije siliranja može povećati probavljivost škroba, ali smanjiti probavljivost NDV, pa isto u završnici ne utječe na probavljivost ST obroka (Dogget i sur., 1998.).

Mehaničko tretiranje cijele biljke kukuruza prije siliranja povećava konzumaciju oklasaka kukuruzne silaže koje životinje inače izbjegavaju konzumirati. Oklasci sadrže oko 900 g NDV kg<sup>-1</sup> ST što čini oko 25 % ukupnog NDV kukuruzne silaže. Ako životinje ne konzumiraju oklaske, konzumirat će druge hranjive tvari koje brže fermentiraju, što može dovesti do viška kiselina u buragu (Dogget i sur., 1998.).

#### *Aditivi u siliranju usjeva kukuruza*

Gubitci hranjivih tvari respiracijom, siliranjem i prilikom uzimanja silaže iz silosa mogu iznositi oko 10 % kod primijenjene dobre tehnologije siliranja, ali se mogu kretati do 30 % kod primijenjene loše tehnologije siliranja. Niža hranidbena vrijednost i niska aerobna stabilnost mogu dovesti do niže konzumacije ST i slabije proizvodnosti životinja. Aditivi se koriste radi održavanja kvalitete krme ili radi poboljšanja kvalitete fermentacije, odnosno aerobne stabilnosti silaže.

Biljka kukuruza je vrlo pogodna za siliranje, pa je potencijalna ekonomska korist korištenja aditiva prilikom siliranja uglavnom niska (Weiss, 1996.). Aditivi koji se obično koriste kod siliranja usjeva kukuruza su bakterijski inokulanti, NPN i enzimi.

Proteoliza kukuruzne silaže se može smanjiti dodatkom  $\text{NH}_3$  prije siliranja, čime se povećava količina N, odnosno SP u silaži (Huber i sur., 1979.). Kukuruzna silaža tretirana s  $\text{NH}_3$  ne mora imati veću konzumaciju ST i proizvodnju mlijeka muznih krava (Huber i Sanatana, 1972.), ali i može (Huber i sur., 1973.) u odnosu na netretiranu kukuruznu silažu uz dodatak soje u obroku.

Odluka o primjeni NPN-a kod siliranja usjeva kukuruza ovisi o ciljevima primjene. Sadržaj SP se može povećati 40-50 g  $\text{kg}^{-1}$  ST ako se kukuruzna silaža tretira s 10 g amonijaka ili uree  $\text{kg}^{-1}$  ST. To može imati prednosti u hranidbi junica u tovu ili porastu, a može biti isplativo i u hranidbi muznih krava ako se dušik može efikasno iskoristiti. Kod hranidbe visoko kvalitetnom sjenažom lucerne koja je u obroku zastupljena u količini od 500 g  $\text{kg}^{-1}$  ST obroka ili više upitno je da li će se dodani N iz kukuruzne silaže efikasno iskoristiti jer sjenaža lucerne ima visoki sadržaj NPN.

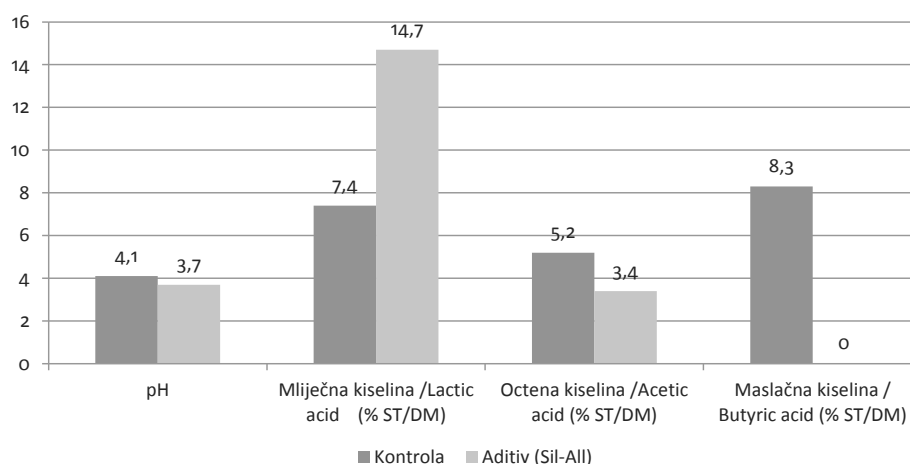
Koristi od dodatka aditiva prilikom siliranja radi povećanja aerobne stabilnosti kukuruzne silaže su veće za visoko proizvodne životinje poput muznih krava na početku laktacije. Dodatak enzima cijeloj biljci kukuruza prilikom siliranja ne mora utjecati na kemijski sastav kukuruzne silaže niti na konzumaci-

ju ST u hranidbi muznih krava, a proizvodnja mlijeka može i blago opasti (Chen i sur., 1994.). Dodatak kombinacije enzima i inokulanta dovodi do bržeg opadanja pH vrijednosti silaže kukuruza, ali nakon 56 dana siliranja ne moraju postojati razlike u kiselosti između tretirane i netretirane silaže (Stokes i Chen, 1994.).

Amonijak je toksičan za gljivice i plijesni, pa je to vjerojatno mehanizam pomoću kojega dodatak amonijaka kukuruznoj silaži povećava aerobnu stabilnost (Muck, 1993.). Propionska kiselina također zaustavlja rast gljivica i plijesni. Dodatak kemijskih konzervansa koji sadrže propionsku kiselinu u količini od 1-3 g  $\text{kg}^{-1}$  svježe biljne mase za siliranje smanjuje zagrijavanje kukuruzne silaže (Kung i sur., 1998., 2000.).

U grafikonu 1 je prikazan utjecaj dodatka aditiva na osnovne produkte fermentacije kukuruzne silaže (Yitbarek i Tamir, 2014.).

Dodatak aditiva kod siliranja cijele biljke kukuruza (grafikon 1) je rezultirao nižom pH vrijednošću, većim sadržajem mliječne kiseline te nižim sadržajem octene kiseline i potpunim izostankom maslačne kiseline u kukuruznoj silaži. Poželjan pad pH vrijednosti tijekom siliranja omogućuje mliječna kiselina koja stabilizira silažu te inhibira rast i razvoj nepoželjnih mikroorganizama. U ovom istraživanju (Yitbarek i Tamir, 2014.) je mliječna kiselina bila najzastupljenija organska kiselina u kukuruznoj silaži siliranoj uz dodatak aditiva.



Grafikon 1. Utjecaj dodatka aditiva na produkte fermentacije kukuruzne silaže (Yitbarek i Tamir, 2014.)

Graph 1 The effect of additive application on fermentation products in maize silage (Yitbarek and Tamir, 2014)

### *Sabijanje biljne mase u silosu*

Visoki gubici hranjivih tvari i niska hranidbena vrijednost kukuruzne silaže mogu nastati zbog lošeg sabijanja biljne mase u silosu što je važan segment u proizvodnji kukuruzne silaže. Provodi se traktorima ili drugim strojevima kojima se sporo ( $2-3 \text{ km h}^{-1}$ ) prevozi preko biljne mase. Kvaliteta fermentacije biljke kukuruza u silosu (intenzitet i duljina fermentacije) je u pozitivnoj korelaciji s jačinom sabijanja biljne mase u silosu (Toruk i sur., 2010.; Roy i sur., 2001.). Zbijenost biljne mase u silosu se može povećati korištenjem težih traktora i strojeva za sabijanje krme (Darby i Jofriet, 1993.), sabijanjem tanjih slojeva biljne mase u silosu, duljim sabijanjem krme u silosu ili sabijanjem krme nižeg sadržaja ST (Roy i sur., 2001.). Biljka kukuruza većeg sadržaja ST (više od  $400 \text{ g ST kg}^{-1}$  svježeg usjeva) se teže sabija u silosu (Ruppel i sur., 1995.; Muck i Holmes, 2000.). Preporučena sabijenost biljne mase u silosu je  $750-800 \text{ kg}$  svježeg silirane krme po  $\text{m}^3$ . Ako biljka kukuruza sadrži  $30 \text{ g ST kg}^{-1}$  svježeg usjeva, sabijenost biljne mase u silosu bi trebala iznositi oko  $250 \text{ kg ST po m}^3$  silirane krme, a ako sadrži  $400 \text{ g ST kg}^{-1}$  svježeg usjeva, sabijenost biljne mase u silosu bi trebala biti oko  $320 \text{ kg ST po m}^3$  silirane krme (Savoie i sur., 2004.).

Slabije sabijena kukuruzna silaža je niže hranidbene vrijednosti, a za proizvodnju jače sabijene ( $950 \text{ kg po m}^3$  silosa) troši se previše energije (veliki broj prohoda strojevima po tankim slojevima krme) (Savoie i sur., 2004.).

### *Zatvaranje silosa*

Utjecaj pravilnog i pravovremenog zatvaranja silosa na kvalitetu silirane biljne mase je izražen kod siliranja biljne mase u horizontalne silose gdje pokrov treba zaštititi veliku površinu, a time i veliku količinu krme od kvarenja. Rezultati produljene aerobne faze ili naknadnog prozračivanja silosa su veći gubitci hranjivih tvari silirane krme, niža konzumacija silaže i niska proizvodnost životinja te mogući zdravstveni problemi životinja (Vranić i sur., 2018.). Pokrovi za horizontalne silose moraju zadovoljiti određene standarde kvalitete i moraju dobro prijanjati uz biljnu masu. U tu svrhu se najčešće koriste i neprekidno razvijaju nove generacije plastičnih folija. Ograničenja korištenja plastičnih folija za zatvaranje silosa su puno ljudskog rada, moguća oštećenja folija te velike količine plastike koje treba

ekološki prihvatljivo zbrinuti. Alternativna rješenja plastičnim folijama za zatvaranje horizontalnih silosa još nisu dala zadovoljavajuće rezultate za širu primjenu u praksi jer njihovo korištenje rezultira nižom hranidbenom vrijednošću fermentirane krme i/ili im je previsoka cijena koštanja u usporedbi s korištenjem plastične folije (Vranić i sur., 2018.).

### *Duljina fermentacije silirane cijele biljke kukuruza prije hranidbe*

Nakon zatvaranja silosa, započinje aerobna faza siliranja koja traje dok se ne potroši sav kisik u krmi. Aerobna faza uobičajeno traje nekoliko sati ako je krme dobro sabijena i silos pravilno zatvoren. Kiselost kukuruzne silaže brzo opada i stabilizira se 3-7 dana nakon zatvaranja silosa. Preporuča se fermentiranje biljke kukuruza u silosu 30 dana prije hranidbe kukuruzne silaže. Fermentacija sa značajnom proizvodnjom mliječne kiseline počne otprilike sedmog dana, a proizvodnja etanola i  $\text{NH}_3\text{-N}$  između 7 i 30 dana od zatvaranja silosa (Bolsen i sur., 1992.).

Kod prelaska na hranidbu novom kukuruznom silažom vidljivi je prolaz veće količine neprobavljenog zrnja kukuruza kroz probavni trakt, što se smanjuje s duljinom korištenja kukuruzne silaže u hranidbi (Allien, 1998.). To se objašnjava većom topivošću proteina endosprema zrna nakon razvoja odgovarajuće mikroflore u probavnom traktu preživača čime je i veća razgradnja škroba nego neposredno nakon uvođenja kukuruzne silaže u hranidbu (Stock i sur., 1991.).

Ako silirana cijela biljka kukuruza skladišti nekoliko mjeseci prije hranidbe, time se smanjuje prolaz neprobavljenog zrnja kroz probavni trakt, ali je potrebno osigurati dodatni skladišni prostor za skladištenje silaže. Prednost izgradnje dodatnih silosa je osiguranje dovoljnih količina krme i nepotreban nagli prijelaz na hranidbu novom kukuruznom silažom drugačijeg sastava čime se preveniraju probavni poremećaji životinja (Stock i sur., 1991.).

## ZAKLJUČAK

Prinos i hranidbena vrijednost kukuruzne silaže su ovisni o svim agrotehničkim zahvatima uzgoja usjeva kukuruza te pravovremenom i usklađenoj provedbi tehnoloških postupaka siliranja biljke kukuruza od košnje, punjenja i zatvaranja silosa do završetka fermentacije u silosu.

## LITERATURA

1. Alexander, D.E. (1988.): Breeding special nutritional and industrial types. p. 869-880. In G.F. Sprague and J.W. Dudley (ed.) Corn and corn improvement. 3rd ed. Agron. Monogr. 18. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
2. Al-Jobeile, H., Bal, M.A., Shaver, R.D., Lauer J.G., (2000.): Influence of corn silage fiber content and level of dietary concentrate supplementation on intake, digestion, and milk-production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 78 (Suppl. 1):118.
3. Alien, M.S. (1997.): Relationship between ruminal fermentation and the requirement for physically effective fiber. *Journal of Dairy Science*, 80:1447-1462.
4. Alien, M. (1998.): Strategies to maximize feed intake and milk yield in early lactation. p. 45-55. In Proc. Western Canadian Dairy Seminar. Red Deer, AB. 10-13 Mar. 1998. Dep. Agric., Food, and Nutr. Sci., University of Alberta, Edmonton, AB, Canada.
5. Atwell, D.G., Jaster, E.H., Moore, K., Fernando, R.I. (1988.): Evaluation of high-oil corn and corn silage for lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 71: 2689-2698.
6. Bal, M.A., Coors, J.G., Shaver, R.D. (1996.): Kernel milkline stage effects on the nutritive value of corn silage for lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 79: (suppl. 1) 150 (abstr.).
7. Ballard, E.S., Thomas, E.D., Tsang, D.S., Mandebvu, P., Sniffen, C., Endre, M.I., Carter, M.P. (2001.): Effect of corn silage hybrid on dry matter yield, nutrient composition, in vitro digestion, intake by dairy heifers and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84:442-452.
8. Bolsen, K.K., Lin, E., Brent, B.E. (1992.): Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silage. *Journal of Dairy Science*, 75:3066-3083.
9. Chen, J., Stokes, M.R., Wallace, E.R. (1994.): Effects of enzyme-inoculant systems on preservation and nutritive value of haycrop and corn silage. *Journal of Dairy Science*, 77:501-512.
10. Clark, P.W., Kelm, S., Endres, M.I. (2002.): Effect of feeding a corn hybrid selected for leafiness as silage or grain to lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 85:607-612.
11. Coe, E.H., Neuffer, M.G., Hoisington, D.A. (1988.): The genetics of corn. p. 81-258./11 G. F. Sprague and J. W. Dudley (ed.) Corn and corn improvement. Agron. Monogr. 18. ASA. CSSA. and SSSA. Madison. WI.
12. Darby, D.E., Jofriet, J.C. (1993.): Density of silage in horizontal silos. *Canadian Agricultural Engineering*, 35, 4: 275-280.
13. Doggett, E.G., Hunt, E.W., Andrea, J.G., Pritchard, G.T, Kezar, W., Harrison, J.H. (1998.): Effect of hybrid and processing on digestive characteristics of corn silage. *Journal of Animal Science*, 76 (Suppl. I): 196.
14. Erdman, R. (1988.): Forage pH effects on intake in early lactation dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 71: 1198-1203.
15. Gotlieb, A. (1997.): Causes of mycotoxins in silage. p. 213-221. In Proc. Silage: Field to feedbunk: North American Conference. Hershey, PA. 11-13 Feb. 1997. NRAES, Ithaca, NY.
16. Harrison, J.H., Johnson, L., Riley, R., Xu, S., Loney, K., Hunt, C.W., Sapienza, D. (1996.): Effect of harvest maturity of whole plant corn silage on milk production and component yield, and passage of corn grain and starch into feces. *Journal of Dairy Science*, 79 (Suppl. 1): 149.
17. Harrison, J.H., Johnson, L., Hunt, C., Doggett, C.G., Rotz, C.A., Shinnors, K., Sapienza, D. (1998.): Mechanical processing of corn silage: Looking back two years. *Western Horticultural Assoc. Ann. Conv. Seattle, WA*.
18. Hoover, L.L., Buckmaster, D.R., Heinrichs, A.J., Roth, G.W. (1998.): Particle size and compaction characteristics of mechanically processed corn silage at varying lengths of cut. Paper no. AETC98-1 03 from 1998 Agric. Equip. Tech. Conf. Louisville, KY. 9-11 Feb. 1998. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, MI.
19. Horrocks, R.D., Vallentine, J.F. (1999.): *Harvested Forages*. Academic Press, San Diego, 426 pp.
20. Huber, J.T., Santana, O.P. (1972.): Ammonia-treated corn silage for dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 55:489-493.
21. Huber, J.T., Lichtenwalner, R.E., Thomas, J.W. (1973.): Factors affecting response of lactating cows to ammonia-treated corn silages. *Journal of Dairy Science*, 56:1283-1290.
22. Huber, J.T., Foldager, J., Smith, N.E. (1979.): Nitrogen distribution in corn silage treated with varying levels of ammonia. *Journal of Animal Science*, 48: 1509-1515.
23. Hulse, J., Neumann, M., Ueno, R.K., Heker, J.C., Figueira, D.N., Sandini, I.E., Muller, M.M., Horst, E.H., Vigne, G.L.D. (2017.): Nutrient balance in the soil and nutritive characteristics of maize silage cut at different heights. *Semina-Ciencias Agrarias*, 38:3779-3795.



24. Johnson, L., Harrison, J.H., Hunt, C., Sinners, K., Doggett, C.G., Sapienza, D. (1999.): Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing a contemporary review. *Journal of Dairy Science*, 82:2813-2825.
25. Kolver, E.S., Densley, R., Miller, D., Williams, I., Sapienza, D. (2003.): Ranking maize hybrids for silage quality and milk production in pasture based dairying. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production* 63: 101-106.
26. Kung, L., Robinson, J.R., Ranjit, N., Chen, J.H., Golt, E.M., Pesek, J.D. (2000.): Microbial populations, fermentation end-products, and aerobic stability of corn silage treated with ammonia or a propionic acid-based preservative. *Journal of Dairy Science*, 83:1479-1486.
27. Kung, L., Sheperd, A.E., Smagala, A.M., Endres, K.M., Bessell, C.A., Ranjit, N.K., Glancey, J.L. (1998.): The effect of preservatives based on propionic acid on the fermentation and aerobic stability of corn silage and a total mixed ration. *Journal of Dairy Science*, 81: 1322-1330.
28. Lambert, R.J. (1994.): High-oil corn hybrids. p. 123-145. *In* A.H. Hallauer (ed.) *Specialty corns*. CRC Press, Boca Raton, FL.
29. Larson, J.H. (1979.): Handling and feeding rolled corn silage and its effects upon milk production, efficiency of production, and palatability in the dairy ration. *Res. Rep.* 6003-470-79. Marshfield Experiment Station, University of Wisconsin, Madison.
30. Lauer, J.G. (1998.): Corn silage yield and quality trade-offs when changing Culling height. *Field Crops*, 28:47-18.
31. Ledrew, H.D., Daynard, T.B., Muldoon, J.F. (1984.): Relationships among hybrid maturity, environment, dry matter yield, and moisture concentration of whole plant corn. *Canadian Journal of Plant Sciences*, 64:565-573.
32. Lukšić, B., Bošnjak, K., Čačić, I., Kljak, K., Božić, L., Vranić, M. (2018.): Hranidbena vrijednost kukuruzne silaže na obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima kontinentalne Hrvatske 2013. i 2014. godine. *Stočarstvo: časopis za unapređenje stočarstva*, 72, 1-2: 3-11.
33. Muck, R.E. (1993.): The role of silage additives in making high quality silage. p. 106-116. *In* *Silage production from seed to animal*. National Silage Prod. Conf. Syracuse, NY. 23-25 Feb. 1993. NRAES-67. Northeast Regional Ag Eng. Serv., Ithaca, NY.
34. Muck, R.E., Holmes, B.J. (2000.): Factors affecting bunker silo densities. *Applied Engineering in Agriculture* 16, 6: 613-619.
35. Neylon, J.M., Kung, L. (2003.): Effects of cutting height and maturity on the nutritive value of corn silage for lactating cows. *J. Dairy Sci.* 86: 2163-2169.
36. Phipps, R.H., Sutton, J.D., Humphries, D.J., Jones, A.K. (2001.): A comparison of the effects of cracked wheat and sodium hydroxide-treated wheat on food intake, milk production and rumen digestion in dairy cows given maize silage diets. *Animal Science*, 72, 585-594.
37. Roy, M.B., Treblay, Y., Pomerleau, P., Savoie, P. (2001.): Compaction and density of forage in bunker silos. *ASAE Annual Int. Meeting*, paper no: 011089, California, USA.
38. Ruppel, K.A., Pitt, R.E., Chase L.E., Dalton, D.M. (1995.): Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 78, 1: 141-153.
39. Savoie, P., Muck, R.E., Holmes, B.J. (2004.): Laboratory assessment of bunker silo density, part II: Whole-plant corn. *Applied Engineering in Agriculture*, 20, 2: 165-171.
40. Shaver D. (1983.): Genetics and breeding of maize with extra leaves above the ear. p. 161-180. *In* D. Wilkinson and R. Brown (ed.) *Proc. Ann. Corn and Sorghum Res. Conf.*, 38th. Chicago, IL. 8 Dec. 1983. American Seed Trade Association, Washington. DC.
41. Spahr, S.L., Byers, J.H., Clark, J.H. (1975.): No advantage for high-oil corn silage when feeding dairy cows. *Ill. Research*, 17, 1: 16.
42. Stock, R.A., Sindt, M.H., Cleale, R., Britton, R.A. (1991.): High-moisture corn utilization in finishing cattle. *Journal of Animal Science*, 69, 1645-1656.
43. Stokes, M.R., Chen, J. (1994.): Effects of an enzyme-inoculant mixture on the course of fermentation of corn silage. *Journal of Dairy Science*, 77, 3401-3409.
44. Thomas, V.W., Beeson, W.M., Perry, T.W. (1975.): Effect of normal vs. opaque-2 vs. roasted normal cow and normal vs. opaque-2 corn silage for finishing beef cattle. *Journal of Animal Science*, 41:641.
45. Thomas, E.D., Mandevu, P., Ballard, C.S., Sniffen C.J., Carter, M.P., Beck, J. (2001.): Comparison of corn silage hybrids for yield, nutrient composition, in vitro digestibility, and milk yield by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 84, 2217-2226.
46. Toruk, F., Gonulol, E., Kayisoglu, B., Koc, F. (2010.): Effects of compaction and maturity stages on sunflower silage quality. *African Journal of Agricultural Research* 5, 1: 55-59.

47. Vranić, M., Knežević, M., Perčulija, G., Grbeša, D., Leto, J., Bošnjak, K., Rupić, I. (2004.): Kvaliteta voluminozne krme na obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima u Republici Hrvatskoj. Kvaliteta kukuruzne silaže na obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima. *Mljekarstvo*, 54, 3:175-186.
48. Vranić, M., Knežević, M., Leto, J., Perčulija, G., Bošnjak, K., Kutnjak, H., Maslov, L. (2005.): Kvaliteta voluminozne krme na obiteljskim poljoprivrednim gospodarstvima u Republici Hrvatskoj: Monitoring kvalitete kukuruzne silaže tijekom dvije sezone zimske hranidbe muznih krava. *Mljekarstvo*, 55, 4:269-282.
49. Vranić, M., Bošnjak, K., Čačić, I. (2018.): Zatvaranje horizontalnog silosa - postoji li alternativa plastičnoj foliji? *Krmiva*, 60, 2: 97-106.
50. Weiss, W. (1996.): When to consider silage additives. p. 125-137. *In Proc. Tri-State Dairy Nutrition Conf. Fort Wayne, IN. 14-15 May 1996. Dep. Animal. Sci., The Ohio State University, Columbus.*
51. Weiss, W.P., Wyatt, D.J. (2000.): Effect of oil content and kernel processing of corn silage on digestibility and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 83:351-358.
52. White, R.P., Winter, K.A., Kunelius, H.T. (1976.): Yield and quality of silage corn as affected by frost and harvest date. *Canadian Journal of Plant Science*, 56, 481-486.
53. Yitbarek, M.B., Tamir, B. (2014.): Silage Additives: Review. *Open Journal of Applied Sciences*, 4: 258-274.

## SUMMARY

The ensiled whole maize plant is commonly used for feeding ruminants primarily for the high suitability of maize plant for ensiling, high energy content, and high dry matter yield (ST) per unit area.

The aim of this paper is to present the basic aspects of maize silage production related to the selection of maize hybrids for sowing, density of corn crop for ensiling, maturity of maize for ensiling, mowing height, yield, cutting length, application of silage additives, and closure of fermentation in a silo.

Maize silage production can be fully mechanized and the crop is mowed once a year, so labor and mechanization costs are lower compared to, for example, grass silage/haylage production where several forage cuts are obtained over the vegetation season. The corn for ensiling is harvested a few weeks before the full maturity, and if necessary, certain areas under silage corn can be used for grain production.

The development of maize hybrids is crucial in global trends in maize silage production, and the choice of hybrids is the most important factor in profitable maize silage production. Yield and nutritional value of corn silage depend on microclimatic growing conditions, all the agro-technology applied for crop growing and timely ensiling from harvesting, filling and closing the silo to the end of fermentation in the silo.

Key words: corn silage, ensiling technology