

スイートコーン残さ及びソルガムの バイオエタノールへの利用適性

総合農業試験場

長坂 克彦・市川 和規・加藤 知美・小林 真理

Tests for Use Suitability of Sweet Corn Residual Shoot and Sorghum to Bio Ethanol

Agricultural Research Center

Katsuhiko NAGASAKA, Kazunori ICHIKAWA,

Tomomi KATOU and Mari KOBAYASI

要 約

本県におけるスイートコーン残さ及びソルガムのバイオエタノールへの利用適性を明らかにするため、スイートコーン残さの生体重や茎中糖度の推移を調査し、本県に適したソルガムの品種、播種時期、搾汁方法について検討し、以下の結果を得た。

1. 各品種とも茎中糖度は11%前後で、一重トンネルの品種別では、「甘々娘」が最も糖度・生体重が高く、また現地圃場が場内圃場より高い傾向にあった。茎中糖度は雌穂収穫後に上昇が認められ、一日の中では14時が最も高かった。
2. 本県に最も適したソルガムの品種は、糖収量が高く、耐倒伏性の高い高糖度ソルゴー、ビクシュガーソルゴー、スーパーシュガーソルゴーであり、播種適期は、害虫発生や倒伏が少なく、8月の収穫ばかりでなく再生（刈り取り後に新芽が伸びる現象）後の収穫も可能で、糖の多収が最も期待できる4月播種であった。

1. 緒 言

地球規模の環境問題に対し世界的な関心が集まっており、京都議定書が平成17年2月16日に発効し、我が国でも温室効果ガスの8%削減（現在14%オーバー）が義務づけられた。本県でも、平成16年4月に「山梨県環境基本条例」が施行され、平成17年2月に「環境日本一やまなしの確立」に向け「山梨県環境基本計画」を策定した。この中で、県内で発生する温室効果ガス742.4万トン（平成12年）を618.9万トン（平成22年）に削減することを目標としている。

本県のスイートコーンは作付け面積940haと主要野菜であり、その残さ量は18,800~28,200tと推定され、現状ではその大半が圃場に鋤込まれている。残さが水田に鋤込まれた場合には、温室効果ガスの一つであるメタンの多量発生や、後作の水稲には窒素過多、異常還元による障害が発生している¹⁾。スイートコーンは未成熟で収穫されるため、残さは還元糖などの易分解性糖類に富み、エタノール発酵の原料として有用であると考えられる。

また本県は、年間の日射量が多く、夏季の平均気温も高い気象条件を有しており、高糖度バイオマス植物生産には適している。バイオマス植物の中でもソルガムは生育旺盛で、茎部に高度に糖を集積することからエ

タノール発酵の原料として注目されている^{2) 3) 4)}。またイネ科で根系が広く、肥料成分の吸収能に優れていることから、塩類集積改善、有機物供給など土壌改良作物としてや輪作体系に入れることで連作障害の軽減が期待できる。さらに耕作放棄地は県全体で2,959haとなっており、全耕地面積の12.2%を占め、全国ワースト2であり、年々増加しており、早急な対策が必要である。そこでスイートコーン残さ及びソルガムの本県でのバイオマスエネルギーとしての利用適性を明らかにするとともに、ソルガムの土壌改良効果について調査する。

ここではスイートコーン残さのバイオマス量（潜在的エタノール生産量）を把握するとともに、バイオマスエネルギー原料としての採取適期を調査した。またソルガムの本県に適した品種、播種時期、搾汁方法について調査した。

2. 実験方法

2-1 スイートコーン残さ（茎）のバイオエタノールへの利用適性

2-1-1 生体重と糖度調査

調査は甲斐市下今井・総合農業試験場内圃場、北杜市明野総合農業試験場高冷地分場内圃場及び甲府市（旧

中道町, 以下同じ) 現地圃場で行った. 作型は甲斐市がハウス栽培 (播種 2/15 調査 6/1) 及び一重トンネル栽培 (播種 3/2 調査 6/15), 北杜市が露地 (播種 5/3 調査 9/2), 甲府市が一重トンネル栽培 (播種 3/2 調査 6/15) であった. 調査は雌穂収穫時に行った. 施肥量は場内圃場では化成 8 号を用い N, P_2O_5, K_2O が各 25kg/10a, 22kg/10a, 22kg/10a, 苦土石灰を 100kg/10a, 微量要素資材 (FTE) を 4 kg/10a 施用した. 栽植様式は畝間 150cm, 株間 27cm, ベット幅 90cm の 2 条植えて栽植密度は 4,940 株/10a であった. 現地圃場では CDU 化成, ダブリン, 石灰窒素を用い N, P_2O_5, K_2O が各 34kg/10a, 52kg/10a, 24kg/10a, 苦土石灰を 100kg/10a, 微量要素資材 (FTE) を 4 kg/10a 施用した. 栽植様式は畝間 170cm, 株間 27cm, ベット幅 90cm の 2 条植えて栽植密度は 4,357 株/10a であった.

生体重及び茎中糖度の調査は, 各圃場より 5 株を無作為に採取し, 主枝及び分けつの茎, 葉の生体重を測定後, 各節間の中位 2~3cm を切り取り, ニンク絞器で搾汁し, その搾汁糖度をデジタル糖度計 (ATAGO 社製 PR-101 α) で測定した.

2-1-2 茎中糖度の日内推移

試験は甲斐市下今井総合農業試験場内圃場で, 供試品種には「甘々娘」を用い, ハウス栽培 (播種 2/15) で行った. 調査は 2~3 時間ごとに圃場より無作為に 3 株を採取し, 前項と同様の方法で糖度を測定した. 調査期間は 5/19 4:00~5/20 4:00 の 25 時間であった.

2-1-3 雌穂収穫後の茎中糖度の推移

供試品種はハウス栽培では「ゴールドラッシュ」, トンネル栽培では「味来 390」を用いた. 調査は雌穂収穫後, 1~3 日ごとに圃場より 3 株を採取し, 前項と同様の方法で糖度を測定した. 調査期間はハウス栽培が 5/19~30, 一重トンネル栽培が 6/13~6/25 であった. トンネル栽培では比較のため, 雌穂未収穫株の調査も行った.

2-2 山梨の特性を活かした高糖度バイオマス植物 (ソルガム) の栽培技術の確立

2-2-1 品種及び播種時期の検討

試験は甲斐市下今井総合農業試験場内圃場で行った. 供試品種は飼料用ソルガムで茎内の糖度が高く, 生体重の多い品種, 「高消化ソルゴー (早生)」, 「高糖分ソルゴー (中生)」, 「スーパーシュガーソルゴー (中晩生)」, 「トウミツ 1 型ソルゴー (晩生)」, 「ビックシュガーソルゴー (晩生)」, 「トウミツ A 型ソルゴー (極晩生)」を選択した.

播種時期の検討は全ての品種に, 4 月播種区 (播種 4/14 調査 8/17, 再生株調査 11/21), 5 月播種区 (播種 5/12 調査 10/4) 6 月播種区 (播種 6/17 調査 10/27)

の 3 区を設けた. 栽植様式は株間が 10cm, 条間が 55cm で栽植密度は 18,181 株/10a であった.

施肥は N, P_2O_5, K_2O 各成分 10kg/10a を化成 8 号を用い, 苦土石灰 150kg/10a を, 堆肥 2t/10a を施用した. 生体重及び糖度の調査は, 試験区の第 2, 3 畦の中位 2m を条刈し, 畦毎に部位別 (葉, 茎, 穂) の生体重を測定した. 搾汁糖度は, 平均的な 3 株の偶数節間の前項と同様の方法で糖度を測定した.

2-2-2 糖回収方法の検討

サトウキビ等の製糖に利用されているロールプレス型搾汁機による搾汁方法について, 品種や茎径による違いや搾汁回数が糖回収率に及ぼす影響について検討した.

品種別の糖回収率は, 前項の 5 月, 6 月播種区について調査した. 調査方法は供試サンプル 10~20 本の葉や穂を取り除き, ロールプレス型搾汁機 (卓上小型搾汁機 TM-120 株式会社マツオ社製) を用い 1 本ずつ搾汁した. 搾汁量とその糖含量を調査し, 搾汁率及び糖回収率を算出した.

茎径別の糖回収率は, 今後, 栽培管理技術を検討するための基礎資料を得るために行った. 6 月播種区の「スーパーシュガーソルゴー」, 「ビックシュガーソルゴー」を供試し, それぞれ茎径で 4 段階に分け, ロールプレス型搾汁機を用い 1 本ずつ搾汁し, 搾汁量とその糖含量を調査し, 搾汁率及び糖回収率を算出した.

搾汁回数別の糖収量は, 「スーパーシュガーソルゴー」, 「ビックシュガーソルゴー (6 月播種)」を前項と同様に調整し, ロールプレス型搾汁機を用い 1 本ずつ搾汁した. その後搾汁残さをさらに 2, 3 回繰り返し搾汁し, 搾汁回数別に搾汁量とその糖含量を調査し, 搾汁率及び糖回収率を算出した.

3. 結果

3-1 スイートコーン残さ (茎) のバイオエタノールへの利用適性

3-1-1 生体重と糖度調査

一重トンネル (本場) の品種別では, 「甘々娘」が他の品種と比較し生体重が多く, また茎中糖度も高かった. 「味来 130」は場内と比較して, 甲府市の現地圃場では生体重で 4 割茎部で 5 割以上高かった. 茎中糖度は各品種とも上位節が高い傾向にあった (表 1).

3-1-2 茎中糖度の日内推移

中位節第 5 節の茎中 Brix 糖度を見ると, 日の出前の 4:00 に 13.1%, であったが, 日の出とともに上昇し, 最大濃度となった 14:00 では 16.3% と 3.2% 上昇した. その後時間の経過とともに漸減した. その傾向は第 2 節, 第 8 節でも求められたが, 上位節で顕著であった

表1 スイートコーン生体重と茎中糖度

作型	品種	場所	調査日	糖度								主枝		側枝	
				2	3	4	5	6	7	8	葉	茎	葉	茎	
ハウス	ゴールドラッシュ	本場	5/19	7.1	-	-	10.2	-	-	10.4	89	366	0	0	
	シュガコムMAX	本場	5/20	5.4	6.1	7.7	9.6	10.5	11.3	11.1	182	386	56	96	
一重トンネル	きみか	本場	6/12	9.1	9.7	10.6	11.7	12.3	12.2	12.1	78	395	54	68	
	きみひめ (早出)	本場	6/13	7.2	7.9	8.6	9.2	9.6	9.8	10.4	63	342	70	155	
	ゴールドラッシュ	本場	6/12	8.6	9.7	10.6	11.6	11.9	11.8	12.5	77	368	47	89	
	シュガコムMAX	本場	6/12	9.0	9.0	9.3	10.5	11.7	11.0	11.1	78	340	83	153	
	甘々娘	本場	6/13	10.3	10.9	11.4	12.2	12.9	12.8	13.2	74	418	68	130	
	味来130	本場	6/12	10.4	11.0	11.3	12.0	12.7	12.7	12.6	71	395	63	98	
	味来390	本場	6/13	9.1	9.7	9.9	10.8	11.1	11.1	10.8	71	352	76	124	
	味来130 (中道)	中道	6/11	7.9	9.6	11.2	11.5	12.0	11.8	11.7	142	508	115	181	
露地	キャンベラ	分場	9/1	5.3	6.1	7.4	8.4	9.3	10.1	10.6	85	411	69	117	

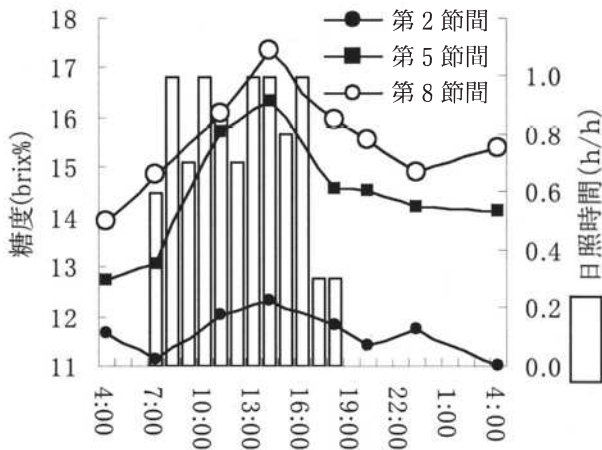


図1 ハウス栽培における節間別茎中糖度の日内推移
品種：甘々娘 調査日：5/19~20

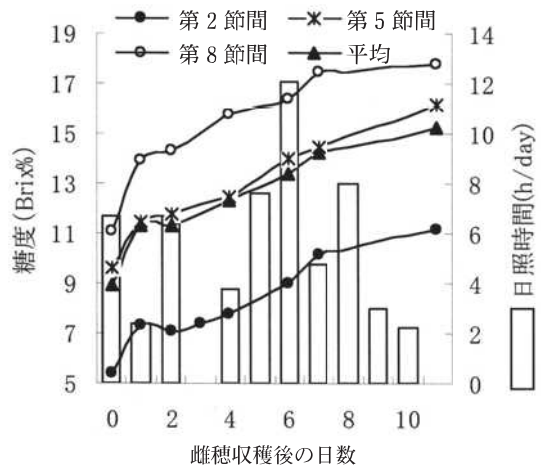


図2 ハウス栽培における雌穂収穫後の節間別茎中糖度の推移
品種：甘々娘 調査日：5/19~20

(図1).

3-1-3 雌穂収穫後の茎中糖度の推移

雌穂収穫後の茎中糖度は、ハウス栽培では、収穫直後8.2%であったのが、その後徐々に上昇し、収穫11日後には15.2%に達した(図2)。一重トンネル栽培では、収穫後低下が見られたが、その後上昇し収穫12日後には14.6%まで上昇した。一方、未収穫株は収穫株より低く推移した(図3)。甲府市現地圃場でも同様に、収穫直後は10.4%であったが、7日後には12.3%まで上昇したのに対し、未収穫株では10.4%と収穫時と差が認められなかった(図表略)。

3-2 山梨の特性を活かした高糖度バイオマス植物(ソルガム)の栽培技術の確立

3-2-1 品種及び播種時期の検討

「高糖分ソルゴ」は、糖収量が多く倒伏にも強いが、

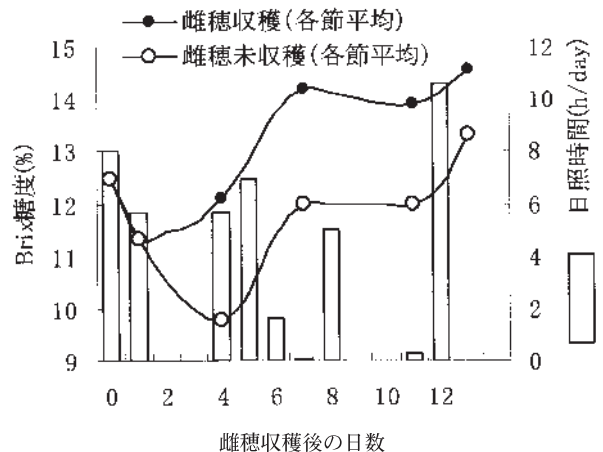


図3 一重トンネル栽培における雌穂収穫株及び未収穫株の茎中糖度の推移
品種：味来390

アブラムシの被害を受けやすかった。「高消化ソルゴー」は桿汁糖度は高いが、早生品種のために、糖収量が少なく、倒伏にも弱かった。「ビックシュガーソルゴー」は4月播き以外では収量は多く、また糖収量は最も多かった。「トウミツA型ソルゴー」は4月播き以外では、収量・乾物収量が多いが、桿汁糖度がやや低いために糖収量は少なかった。「トウミツ1型ソルゴー」は各作型ともに、糖収量が少なく、アブラムシ被害も受けやすかった。「スーパーシュガーソルゴー」は各作型とも糖収量は多く、アブラムシ被害は中程度であった。

各供試品種について播種時期の検討を行ったところ以下の結果を得た。4月播種区では早生・中生品種は、晩生、極晩生品種より乾物収量、糖収量が多い傾向にあった。全ての品種で、8月の刈り取り後に再生(刈り取り後に新芽が伸びる現象)が認められた。また害虫の発生は軽微であった。5月播種では、糖収量は全体的に多かったが、アブラムシ被害度の高い品種や早生品種で糖収量は低い傾向にあった。また他播種時期と比較してどの品種も、アブラムシ、アワノメイガ等の被害が多かつ

た(表3)。

6月播種では、糖収量は5月播種よりやや低いが、害虫の発生は軽微であった(表4)。

3-2-2 糖回収方法の検討

品種別の糖回収率は、汁性品種である「高糖分ソルゴー」,「トウミツ1型ソルゴー」,「スーパーシュガーソルゴー」が糖回収率20~30%と高かったが、乾性品種である「ビックシュガーソルゴー」,「トウミツA型ソルゴー」では低い傾向にあった。搾汁糖収量は「スーパーシュガーソルゴー」,「高糖分ソルゴー」が多いことから、糖回収のためにロールプレス型搾汁機を用いる場合はこれらの品種が適していると考えられた(表5)。

茎径が大きいほど糖度は高くなる傾向にあったが、搾汁率では茎径が中程度のもので高く、その結果として中程度のもので糖収量が多かった(表6)。

搾汁回数別の糖収量は、汁系品種の「スーパーシュガー」で、2回搾汁することにより、50%程度の糖回収率であった。乾性品種の「ビックシュガー」では、

表2 4月播種区の生育及び収量

品 種	生体重 t/10a		乾物収量 t/10a		倒伏		糖収量 kg/10a		桿汁糖度 %		草丈 cm	
高糖分	7.6	3.9	2.2	0.9	0.5	0.0	769	361	15.7	13.3	286	221
高消化	6.9	5.1	2.1	1.3	1.5	0.8	698	520	15.0	15.5	293	212
ビックシュガー	5.4	4.4	1.7	1.1	0.5	0.5	408	321	11.5	10.4	317	299
トウミツA型	6.0	6.7	1.8	1.6	0.5	0.0	466	458	11.9	9.9	293	320
トウミツ1型	5.7	5.2	1.6	1.3	1.5	2.3	345	424	9.6	11.5	235	267
スーパーシュガー	8.1	6.1	2.4	1.5	3.0	0.3	844	580	15.2	13.8	286	217

倒伏程度：0(無)~5(甚)

桿汁糖度=0.75×(Brix値)+Brix値/(100-Brix値)

糖収量=(桿の生収量-桿の乾物収量)×Brix値/(100-Brix値)

項目内の右の数値は再生株の値を示す。

表3 5月播種区の生育及び収量

品 種	生体重 t/10a	乾物収量 t/10a	倒伏	糖収量 kg/10a	桿汁糖度 %	草丈 cm	アブラムシ被害度
高糖分	7.2	2.1	1.3	547	10.6	308	96.3
高消化	4.9	1.6	3.5	465	14.3	289	45.0
ビックシュガー	8.2	2.9	1.3	830	14.5	393	46.3
トウミツA型	8.8	3.2	1.5	722	12.5	426	26.3
トウミツ1型	5.9	1.6	2.5	310	7.8	338	91.3
スーパーシュガー	7.3	2.1	3.5	813	15.0	332	56.3

アブラムシ被害度=(Σ(被害指数0(無)~2(甚))×株数)/3×調査株×100 1区20株調査

倒伏程度：0(無)~5(甚)

桿汁糖度=0.75×(Brix値)+1.35

糖収量=(桿の生収量-桿の乾物収量)×Brix値/(100-Brix値)

表4 6月播種区の生育及び収量

品 種	生体重 t/10a	乾物収量 t/10a	倒伏	糖収量 kg/10a	搾汁糖度 %	草丈 cm
高糖分	6.6	1.9	0.3	636	14.2	286
高消化	4.9	1.5	3.5	395	12.9	230
ビックシュガー	8.7	2.7	0.5	742	12.8	395
トウミツA型	7.2	2.0	0.3	477	9.7	387
トウミツ1型	7.0	2.1	0.5	464	10.3	349
スーパーシュガー	7.2	2.0	1.8	625	12.6	315

倒伏程度：0(無)～5(甚)

搾汁糖度=0.75×(Brix値)+1.35

糖収量=(稈の生収量-稈の乾物収量)×Brix値/(100-Brix値)

表5 ロールプレス搾汁機による品種別の糖回収率

品 種	5月播種					6月播種				
	搾汁糖度 %	搾汁率 %	糖回 収量 kg/10a	全 糖収量 kg/10a	糖回 収率 %	搾汁糖度 Brix%	搾汁率 %	糖 回収量 kg/10a	全 糖収量 kg/10a	糖回 収率 %
高糖分	9.9	15.1	109	547	20.1	14.2	15.6	178	636	28.0
高消化	12.5	11.4	84	465	18.2	12.1	7.5	51	395	12.8
ビックシュガー	15.1	5.5	51	830	6.1	11.2	13.3	140	742	18.9
トウミツA型	15.0	6.6	64	722	8.8	9.5	12.9	93	477	19.6
トウミツ1型	8.9	10.4	67	310	21.5	11.3	14.6	129	464	27.8
スーパーシュガー	14.6	21.2	232	813	28.5	11.6	17.8	171	625	27.3

糖度=0.75×(Brix値)+1.35

搾汁糖収量=稈の生収量×搾汁率×Brix値/(100-Brix値)

全糖収量=(稈の生収量-稈の乾物収量)×Brix値/(100-Brix値)

糖回収率=搾汁糖収量/全糖収量×100

表6 ロールプレス搾汁機による茎径別の糖回収率

品 種	茎径 cm	比率 %	搾汁糖度 %	搾汁率 %	糖収量 g/kg
ビック シュガー	12～15	16.8	10.5	13.7	16.7
	15～18	25.6	10.9	15.9	20.2
	18～20	27.7	11.6	14.7	19.9
	20～22	29.9	11.7	12.9	17.8
スーパー シュガー	13～15	16.2	13.8	25.0	41.5
	15～17	23.1	14.9	26.7	48.1
	17～19	33.1	14.5	25.4	44.5
	19～22	27.6	14.6	24.8	44.0

糖度=0.75×(Brix値)+1.35

茎径は直径

比率=各茎径の重量/全重×100

表7 搾汁回数別の糖収量

品種	搾汁回数	搾汁糖度 %	搾汁率 %	糖収量 g/kg	糖回収率 %
ビックシュガー	1回目	12.2	10.9	15.7	15.3
	2回目	12.8	3.0	4.5	4.4
	3回目	13.6	1.2	2.0	1.9
スーパーシュガー	1回目	14.7	20.8	37.0	35.6
	2回目	14.1	8.9	15.2	14.7
	3回目	15.8	3.8	7.4	7.1

$$\text{糖度} = 0.75 \times (\text{Brix値}) + 1.35$$

3回搾汁を行っても20%程度の糖回収率しか得られなかった(表7)。

4. 考 察

4-1 スイートコーン残さのバイオエタノールへの利用適性

スイートコーンのバイオマス量(潜在的エタノール生産量)を把握するために、試験場内圃場において品種別・作期別に、また甲府市の現地において生体重、茎中糖度の調査を行った。品種別では「甘々娘」が、生体重(バイオマス量)及び茎中糖度が高かった。また甲府市の現地圃場の残さ量は、場内圃場の同一品種(味来130)と比較し、生体重で1.5倍、茎重で1.4倍と多かった。これは場内では収量を落とさず最小の施肥量(N, P₂O₅, K₂Oが各25kg/10a, 22kg/10a, 22kg/10a)で栽培を行っているが、甲府市の現地では施肥量がN, P₂O₅, K₂Oで各34kg/10a, 52kg/10a, 24kg/10aと多いことや堆肥などの有機物施用により地力が高かったことが原因と考えられた。他の現地圃場でも甲府市と同様なことが考えられた。したがって県内のスイートコーン残さのバイオマス量(潜在的エタノール生産量)を把握するためには、現地調査を拡大する必要があると考えられた。

次にスイートコーンのバイオマスエネルギー原料としての採取適期を明らかにするために、雌穂収穫後の茎中糖度の推移及びその日内変化について検討した。雌穂収穫後に茎中糖度の上昇が認められ、ハウス栽培では雌穂収穫時に8.2%が11日後15.2%に、トンネル栽培では同様に12.6%が12日後に14.6%に上昇した。また甲府市の現地圃場でも茎中糖度の上昇が認められた。一方、雌穂未収穫株では、糖度の大きな変化は認められなかった。これは光合成生産物(糖)のシンク部である雌穂が収穫されたため、光合成生産物が茎中に蓄積したと考えられ、バイオマスエネルギー原料としてのスイートコーン残さの採取は、雌穂収穫後ある程度の期間をおいた方が良く考えられた。その期間については次年度に、搾汁率、糖収量を正確に調査し検討を行う。また茎中糖度

の日内変化は、日の出とともに上昇し14:00に最大となり、その後時間の経過とともに減少することが分かった。このことからバイオマスエネルギー原料としてのスイートコーン残さの採取時刻は糖濃度の高い14:00前後が適期と考えられた。しかし採取後糖度が減少するのであれば、糖度の高い14:00に採取する意義がなくなる。次年度は採取後の茎中糖度の変化を把握し、採取時間について検討を行う予定である。

4-2 ソルガムのバイオエタノールへの利用適性

ソルガムの本県の気象条件に適した品種は、糖収量、倒伏などを考慮すると乾系品種では「ビックシュガーソルゴー」、汁系品種では「スーパーシソルゴー」、「高糖分ソルゴー」が適していると考えられた。また播種時期について4, 5, 6月播種について検討した。その結果5月播種区ではアブラムシやアワノメイガ等の発生が多く、5, 6月播種区では生育後期に台風などによる倒伏被害をうけた。それに対して、4月播種区は害虫の発生や倒伏が少なく、さらに8月収穫後に再生が認められ、再生株は収穫できた。このことより本県で最も適した播種時期は4月であると考えられた。

次に、搾汁方法について最も一般的なロールプレス型搾汁機について検討した。その結果、汁系品種では、ロールプレス搾汁により、茎中に含まれる糖を50%程度回収できたが、乾系品種では、糖回収率が低いことより、アルコール発酵させるにはブラジル等の先進国で行われている粉碎後に酵母液を加える方法が適していると考えられた。

参考文献

- 1) 長坂克彦・花形敏男・松野篤・木下耕一: 日本土壤肥料学会誌, Vol.74, No.6, P.817-821 (2003)
- 2) 安井健: バイオマス変換計画報告書, No.14, P.27-35 (1988)
- 3) 井上康昭・濃沼圭一・望月昇: バイオマス変換計画報告書, No.1, P.1-14 (1988)

- 4) 星川清親：農業及び園芸, Vol.56, No.4, P.7-13
(1981)