

分蜜糖地域における Brix 計を用いた蔗汁糖度の推定による サトウキビの品質評価

比屋根真一¹⁾・瑞慶覧みき¹⁾・當間 美佳²⁾・伊佐 真純¹⁾・仲里 富雄¹⁾・
友寄 隆仙¹⁾・喜納 兼二¹⁾
(¹⁾沖縄県農業試験場・²⁾宮古農業改良普及センター)

Evaluation of Sugarcane Quality using Juice polarization which is
estimated by Brix meter in Centrifugal sugar area

Shin-ichi HIYANE¹⁾, Miki ZUKERAN¹⁾, Mika TOUMA²⁾, Shinjun ISA¹⁾,
Tomio NAKAZATO¹⁾, Takahisa TOMOYOSE¹⁾ and Kenji KINA¹⁾

(¹⁾Okinawa Pref. Agri. Exp. Stn., ²⁾Miyako Agricultural Improvement and Advisory)

分蜜糖地域における近赤外分光分析計を用いた品質取引の測定システム（NIR 法）は、平成 6 年度の導入から使用しており、機器の老朽化と故障等のために維持管理費に多くの経費がかかっている。そのため、測定システムの合理化と経費の節減に向けて対策が求められている。Brix 計は近赤外分光分析計と比較して安価で、試料の前処理もほとんど必要ない。沖縄県の含蜜糖地域では、Brix 計で測定した値を蔗汁糖度推定式にあてはめて蔗汁糖度を推定し（Brix 法）、さらに、搾汁率と蔗汁糖度から推定されるバガス糖度を用いて甘蔗糖度を算出している（沖縄県糖業振興協会 2000）。この方法を分蜜糖地域において用いることが可能であれば測定経費の節減になる。

本報告では、Brix 法による蔗汁糖度、甘蔗糖度の推定精度を NIR 法と比較することを目的に試験を行ったところ、有益な知見が得られたので報告する。

材料と方法

1) 1%データによる検討

Brix 法による蔗汁糖度、甘蔗糖度の推定精度を県別、工場別に検討するために、平成 6～14 年度の沖縄県と鹿児島県において、各工場に搬入された原料の価格決定に用いられた総品質取引量の約 1% のデータを用いた。蔗汁糖度の推定式は、沖縄県の含蜜糖地域において現在用いられている蔗汁 Brix からの推定式を用いた。これは平成 9～11 年度の伊江島、伊是名島、久米島、宮古本島、伊良部島そして石垣地域のデータを利用して作成した式である（沖縄県糖業振興協会 2000）。

Y (蔗汁糖度) = $1.0564 X$ (Brix) - 2.8736 (決定係数 0.96267 , 標準誤差 0.3563)

調査項目は、蔗汁糖度、Brix そして甘蔗糖度で、Brix 法による蔗汁糖度と甘蔗糖度の推定値と実測値から標準誤差を求めた。

2) 製糖工場における蔗汁糖度の推定精度

新鮮原料が搬入されにくく、Brix 法を導入した場合、蔗汁糖度の測定誤差が大きく生じると予想される(株)翔南製糖においてその推定精度を再検討するために、2004 年 1 月 19 日～3 月 26 日まで価格決定に用いられた蔗汁 30 点/日採取し、農業試験場に持ち込んで調査した。データの合計数は 1470 点であった。調査項目は、蔗汁糖度、Brix そして甘蔗糖度とした。蔗汁糖度は旋光糖度計 (ATAGO 社 AA-10S)、Brix はレフラクト計 (ATAGO 社 RX-3000) で測定した。

3) 刈り置き蔗汁品質におよぼす影響

測定誤差が大きくなる原因の一つと推定される刈り置き原料が、蔗汁糖度や甘蔗糖度の推定値に及ぼす影響を検討した。農業試験場本場において 10 品種を用いて行った。2004 年 3 月 2 日に収穫した原料茎を 15 本ずつ束ね、直接日射に当てて刈り置き原料とした。各品種ともに 3 反復とした。刈り置き原料の蔗茎を上、中、下と三等分し、各々 5 本ずつ合わせて約 5 kg の試料を作成した。作成した試料を、(株)翔南製糖に設置されたカッタグラインダ (JEFFCO 社) に投入し細裂試料を得た。細裂試料 650g を油圧プレスに挿入して搾汁して搾汁液とバガスを得た。バガスは重量を測定して搾汁率を求めた後、繊維分を測定した。分析項目は、蔗汁糖度、Brix、繊維分そして甘蔗糖度とした (比屋根ら 2004)。

結 果

1) 1%データによる検討

Brix 法適用の可能性を検討したところ、沖縄県では蔗汁糖度の標準誤差は平成 6～8 年度が 0.381%，平成 9～11 年度は 0.464%，平成 12～14 年度は 0.524% と大きかった。甘蔗糖度は各々 0.429%，0.411%，0.542% であった (第

キーワード：サトウキビ、品質評価、Brix

第1表 年度別の蔗汁糖度と甘蔗糖度の標準誤差。

県	年度	n	蔗汁糖度の	甘蔗糖度の
			標準誤差(%)	標準誤差(%)
沖縄	6～8	2389	0.381	0.429
	9～11	2867	0.464	0.411
	12～14	2879	0.524	0.542
鹿児島	6～8	1056	0.531	0.498
	9～11	1771	0.536	0.636
	12～14	1820	0.525	0.532
両県	6～14	12782	0.489	0.524

標準誤差= $\sqrt{\{\Sigma(\text{測定値}-\text{推定値})^2/(n-2)\}}$ n: データ数。

第2表 沖縄県における工場別の蔗汁糖度と甘蔗糖度の標準誤差。

工場名	対象地域	n	蔗汁糖度の	甘蔗糖度の
			標準誤差(%)	標準誤差(%)
琉陽	本島中北部	581	0.588	0.700
翔南	本島南部	582	0.809	0.689
伊江	伊江島	139	0.339	0.334
伊是名	伊是名島	132	0.711	0.563
久米島	久米島	265	0.333	0.336
大東	南大東島	387	0.304	0.335
北大東	北大東島	179	0.533	0.530
沖糖	平良・下地	454	0.268	0.372
宮糖城辺	城辺・上野	417	0.323	0.339
宮糖伊良部	伊良部島	333	0.347	0.341
石垣	石垣島	356	0.310	0.422

データはH9～H12年を使用。

標準誤差= $\sqrt{\{\Sigma(\text{測定値}-\text{推定値})^2/(n-2)\}}$ n: データ数。

1表)。鹿児島県では、蔗汁糖度の標準誤差は平成6～8年度は0.531%、平成9～11年度は0.536%、平成12～14年度は0.525%と年度のの違いに関わらず安定していた。なお、甘蔗糖度は各々0.498%、0.636%、0.532%であった(第1表)。両県を合わせた時の蔗汁糖度の標準誤差は0.489%、甘蔗糖度は0.524%であった(第1表)。

沖縄県における工場別の蔗汁糖度と甘蔗糖度の標準誤差を第2表に示した。ハーベスタによる収穫等により新鮮原料が比較的搬入されやすい伊江島、南北大東島、久米島、宮古地域そして石垣地域における蔗汁糖度の標準誤差が0.304～0.533%、甘蔗糖度のそれは0.334～0.530%であった。しかし、沖縄本島中北部地域の琉陽製糖、南部地域の翔南製糖と伊是名島における蔗汁糖度の標準誤差は各々0.588%、0.809%そして0.711%、甘蔗糖度のそれについては0.700%、0.689%そして0.563%と他の地域と比較して大きかった。

2) 製糖工場における蔗汁糖度の推定精度

(株)翔南製糖の旬別蔗汁糖度と甘蔗糖度の標準誤差を検討すると、2月まではBrix法による蔗汁糖度、甘蔗糖度の標準誤差がNIR法よりも小さかった。しかし、3月になると逆にNIR法の標準誤差がBrix法よりも大きかった。

第3表 収穫時期の違いによる蔗汁糖度と甘蔗糖度の標準誤差。

収穫時期	n	蔗汁糖度の標準誤差(%)		甘蔗糖度の標準誤差(%)	
		NIR法	Brix法	NIR法	Brix法
1月下旬	301	0.499	0.436	0.411	0.359
2月上旬	210	0.810	0.696	0.667	0.573
2月中旬	211	0.556	0.515	0.458	0.425
2月下旬	149	0.552	0.545	0.453	0.447
3月上旬	240	0.534	0.594	0.445	0.491
3月中旬	209	0.531	0.546	0.439	0.448
3月下旬	150	0.571	0.667	0.538	0.547
全体	1470	0.581	0.565	0.479	0.465

標準誤差= $\sqrt{\{\Sigma(\text{測定値}-\text{推定値})^2/(n-2)\}}$ n: データ数。

第4表 収穫方法の違いによる蔗汁糖度と甘蔗糖度の標準誤差。

収穫方法	n	蔗汁糖度の標準誤差(%)		甘蔗糖度の標準誤差(%)	
		NIR法	Brix法	NIR法	Brix法
手刈	1077	0.558	0.605	0.462	0.499
無脱葉	347	0.637	0.525	0.521	0.432
ハーベスタ	45	0.695	0.340	0.569	0.276

標準誤差= $\sqrt{\{\Sigma(\text{測定値}-\text{推定値})^2/(n-2)\}}$ n: データ数。

全期間では、NIR法による標準誤差は0.581、Brix法による標準誤差は0.565と前者よりも若干小さかった(第3表)。

収穫方法の違いによる蔗汁糖度と甘蔗糖度の違いを第4表に示した。無脱葉、ハーベスタ原料の蔗汁糖度の標準誤差はBrix法で推定した場合、各々0.525%、0.340%とNIR法で推定した値と比較して小さかった。しかし、手刈り原料は逆にBrix法の標準誤差が大きかった。なお、甘蔗糖度についても同様な傾向が認められた。

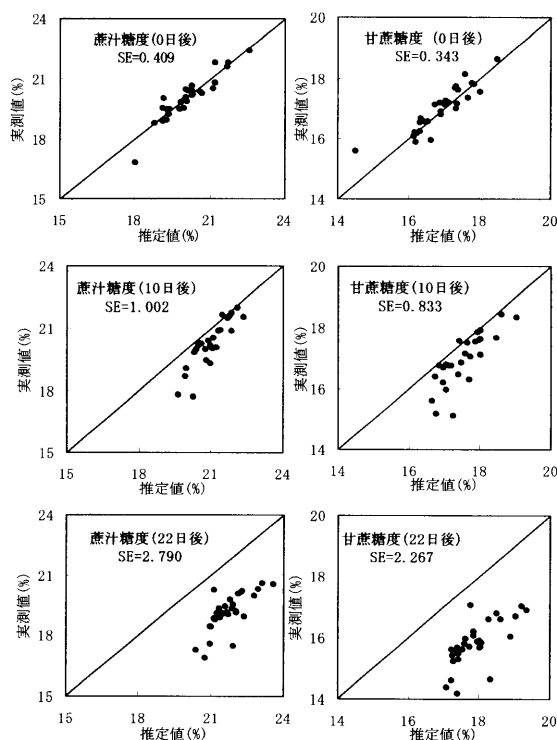
3) 刈り置き原料が、蔗汁品質におよぼす影響

刈り置きによる品質劣化程度の品種間差異を第5表に示した。BrixはNi11を除く殆どの品種において刈り置き日数の経過とともに上昇した。刈り置き10日後にはNi9を含む6品種が、22日後にはNiTn10、Ni11を除く7品種において統計的に有意な差が認められた。蔗汁糖度は、刈り置き10日後まで差は認められなかったが、22日後には

第5表 各品種の刈り置きによるBrix、蔗汁糖度そして甘蔗糖度の劣化程度。

品種	Brix (%)			蔗汁糖度 (%)			甘蔗糖度 (%)		
	0日後	10日後	22日後	0日後	10日後	22日後	0日後	10日後	22日後
NiF8	22.1	22.9**	23.5	20.2	20.8	19.3	17.2	17.4	16.0
Ni9	21.1	22.3*	23.0**	19.6	19.7	19.1	16.8	16.6	15.9*
NiTn10	22.6	23.3	23.2	21.1	21.7	19.4*	17.4	17.6	15.6**
Ni11	23.6	22.4	23.1	21.9	20.2	19.0**	18.0	16.8	15.5**
Ni15	21.7	23.3*	24.2**	20.5	21.0	19.7	17.7	18.0	16.6*
Ni17	21.8	23.0**	23.2**	20.2	20.6	19.8	17.1	17.4	16.5
NC0310	19.9	21.6	22.6*	18.8	18.2	17.2*	16.3	15.5	14.5**
F161	21.5	—	22.7*	20.0	—	18.2*	17.1	—	15.0*
F172	21.3	22.3*	23.9**	19.3	19.9	20.2	16.1	16.4	16.2
F177	21.3	22.4*	23.6***	19.4	20.2	19.5	16.2	16.6	16.0

*, **は各々t検定により5%、1%水準で0日後との間に有意差有り。—はデータなし。



第1図 刈り置きによる蔗汁糖度と甘蔗糖度の実測値と推定値の関係。

各刈り置き日の搾汁率の平均値は0日後が71.36%，10日後が69.58%，22日後が67.48%。

SEは標準誤差。標準誤差 = $\sqrt{\frac{\sum (\text{測定値} - \text{推定値})^2}{(n - 2)}}$ n：データ数。

NCo310, NiTn10を含む4品種において低下した。甘蔗糖度も蔗汁糖度と同様に低下した4品種にNi9とNi15を含む6品種が低下した。さらに全品種をまとめて、刈り置きによる蔗汁糖度と甘蔗糖度の推定値と実測値の関係を第1図に示した。刈り置き0日後の両者の関係は1：1であった。刈り置き10日後の蔗汁糖度，甘蔗糖度の両者の関係も概ね1：1の関係であった。しかし，刈り置き22日後の蔗汁糖度，甘蔗糖度の推定値と実測値の関係は，大きくずれて何れも推定値が高く評価された。標準誤差は刈り置き0日後の蔗汁糖度は0.409%，甘蔗糖度のそれは0.343%であった。しかし，刈り置き10日後の蔗汁糖度の標準誤差は1.002%，甘蔗糖度のそれは0.833%，刈り置き22日後の蔗汁糖度の標準誤差は2.790%，甘蔗糖度のそれは2.267%と刈り置き日数が経過するに従い大きくなった。さらに，搾汁率も刈り置き日数の経過とともに低下した。

考 察

Brix法による蔗汁糖度，甘蔗糖度の標準誤差を現行で用いられているNIR法と比較することを目的に調査を行ったところ，NIR法とBrix法の標準誤差は一部の結果を除いて概ね差が認められないことがわかった。さらに，本報告の1%データと(株)翔南製糖で求められた蔗汁糖度の標準誤差は，コアサンプルによるサンプリングの誤差0.88%の範囲内であることから(沖縄県農業試験場農業機械研究室1994)，Brix法の導入による品質評価全体の論理

性も失われないことがわかった。そこで，一部の蔗汁糖度の標準誤差が大きくなった原因を検討し，Brix法の実用化への可能性を考察する。

(株)翔南製糖に搬入された原料において，3月にBrix法の標準誤差がNIR法よりも大きかった。その原因として，気温の上昇，刈り置き原料の増加による品質の劣化等が考えられた。本報告でも刈り置き日数の経過に従い蔗汁糖度，甘蔗糖度の標準誤差は大きくなった(第1図)。そこで，刈り置き原料への対応策を具体的に検討し，Brix法による標準誤差を小さくする方法を検討する。

まず，収穫した原料をできるだけ早く工場へ搬入することが求められる。本報告において，無脱葉とハーベスタ原料の蔗汁糖度の推定値は，Brix法は各々0.637%，0.695%とNIR法よりも標準誤差は低く，甘蔗糖度の推定精度も良かった(第4表)。これは，いずれの収穫方法も手刈りと比べて刈り置き期間が短く，新鮮原料が搬入されたことが原因と推察される。よって，新鮮原料の搬入が可能であれば，Brix計による蔗汁糖度推定式を用いた実用化の可能性は高いと考えられる。しかし，収穫時期の労働力不足等，サトウキビを取り巻く社会環境を考えると一部地域の農家にとっては難しい状況もある。

品質劣化しにくい品種を栽培することも刈り置き原料の対応策のひとつと考えられる。これまでに，Ni12はNCo310よりも劣化程度が低く，NiF3やNiF8と同程度の低劣化性であること(前田ら1999)，NCo310は高劣化性であること(板倉ら1983)，Ni17はF177と同程度の劣化性でNiF8より劣り，NCo310よりも優る(緒方ら2004)等，品質の劣化程度に品種間差異があることが報告されている。本報告においても，低劣化性のNiF8やNi17，F177において刈り置き日数の経過による品質劣化程度は低く，高劣化性のNCo310は最も低い蔗汁糖度，甘蔗糖度を示したことから，これまでの報告と同様，品質劣化には品種間差異があることがわかる。よって，刈り置きによる品質劣化への対策として，劣化しにくい品種の育成が重要と考えられる。

分析手法の面では，現在あるBrix法で刈り置き原料等により劣化した品質を評価することは難しいことから，Brix法を補完できる簡易，敏速な測定方法を開発する必要がある。刈り置き原料の品質劣化法の評価としては，HPLC法によるブドウ糖，果糖の定量(前田ら1999)，ホーン法による還元糖の測定(板倉ら1983)等の報告があるが，現状では何れも測定時間やサンプルの前処理に時間がかかるため敏速な評価を必要とする品質取引工程において実用化は難しい。早急な対応策が必要である。

摘 要

Brix法による蔗汁糖度，甘蔗糖度の標準誤差をNIR法と比較した。1%データを用いてBrix法による蔗汁糖度，甘蔗糖度の標準誤差を県別に検討したところ，両県ともに

コアサンプラによるサンプリング誤差の範囲内で推定できた。工場別では数ヶ所を除く工場において推定精度は良かった。(株)翔南製糖において同様に検討したところ、2月までの蔗汁糖度と甘蔗糖度の標準誤差はNIR法よりも低かったが、3月以降は逆に高くなった。搬入原料別に解析すると、無脱葉やハーベスタ原料等の新鮮原料の標準誤差は手刈り原料と比較して低かった。刈り置き日数が経過すると蔗汁糖度や甘蔗糖度の標準誤差は大きくなった。以上より、Brix法による蔗汁糖度の推定精度はNIR法と遜色なく、コアサンプラによるサンプリング誤差も考慮すると、実用化への可能性は高いことが示唆された。刈り置き原料による推定値への影響を考慮すると、Brix法による品質評価を補完する技術を併用することが必要である。

謝 辞

本研究は沖縄県糖業振興協会「サトウキビ品質評価低コスト化推進事業」において、琉球大学農学部の上野正実教授、川満芳信助教授、沖縄県農業試験場経営機械部機械研究室の上原数見室長との共同事業で行ったものである。試験遂行にあたり、琉球大学農学部平良英三氏、沖縄県糖業振興協会津嘉山珍健氏、(株)翔南製糖の佐久川明夫氏、大庭達人氏を始め工場関係者の皆様には調査、分析に際し御指導と御協力を頂いた。ここに謝意を表する。

引用文献

- 出花幸之助 1994. サトウキビの品質評価基準に関する研究第1報新鮮蔗茎における品質指標の比較. 沖縄県農業試験場報告 15:15-22.
- 比屋根真一・崎山澄寿・屋良利次・伊佐真純・仲里富雄・友寄隆仙・森田孟治 2004. 近赤外分光分析計によるトラッシュを含む細裂試料を用いたサトウキビ品質評価. 日作九支報 70:87-90.
- 板倉登・最上邦章・坂元茂 1983. 刈置き放置によるサトウキビ品質の変化. 九州農業研究 45:38.
- 前田秀樹・杉本明・氏原邦博・佐藤光徳・林隆夫・吉田典夫・日高昇 1999. サトウキビ品種「Ni12」の収穫後の品質劣化. 日作九支報 65:95-97.
- 緒方寿明・神門達也・竹牟禮稔・末川修・勝田明敏 2004. サトウキビの刈置きによる品質劣化の品種間差異および気象との関係. 九州農業研究 66:31.
- 沖縄県糖業振興協会 2000. 沖縄県さとうきび品質取引実施要綱・要領集. 沖縄県糖業振興協会. 那覇. P26.
- 沖縄県農業試験場農業機械研究室 1994. コアサンプラーによる実用的なトラッシュ査定システムの検討. 沖縄県農業試験場農業機械研究室. 那覇. P60.