農研機構
NARO 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

# Grain Ratio, Chemical Composition and Ruminal Degradability of the Whole-Crop Silage of Forage Soybean (Glycine max (L.) Merr.) Processed by a Simple Winnowing System



| メタデータ | 言語: jpn<br>出版者:<br>公開日: 2019-03-22<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En): Forage soybean, Whole crop silage, Grain ratio, Chemical composition, Fermentation quality, Ruminal degradability<br>作成者: 河本, 英憲, 嶝野, 英子, 内野, 宙, 魚住, 順<br>メールアドレス:<br>所属: |
|---|---|
| URL | https://doi.org/10.24514/00001275 |

# ハーベスタ装着型風選別装置を用いて調製した大豆ホールクロップサイレージの子実割合、飼料成分および反芻胃内消化特性

河本　英憲*1)・噴野　英子*1)・内野　　宙*1)・魚住　　順*1)

**抄　録**：コーンサイレージ用機械を活用した大豆ホールクロップサイレージ（WCS）の生産体系において、ハーベスタに装着する簡易な風選別装置を開発し、飼料成分や消化性への効果について検証した。開発した装置は、送風機と送風管で構成され、ハーベスタのシュート部から放出される収穫物に選別風を吹き当てて比重の小さい空の莢や茎葉等を吹き飛ばし、荷受けバケットに入る収穫物の子実割合を高める仕組みである。完熟期の大豆（品種リュウホウ）は、風選別処理を行わずに刈取ると収穫物の子実割合が56.5%で、サイレージ中の粗タンパク質（CP）含量が24.3%、ルーメン内乾物有効分解率（ED）が49.0%であり、適期収穫した成熟初期WCSと比べると、子実割合が高いのにもかかわらずEDが有意に低かった。この完熟期の大豆に風選別処理を行うと収穫物の子実割合が69.1%に高まり、サイレージ中のCP含量が6ポイント、EDが10.1ポイント増加した。その結果、成熟初期WCSと比べて、CP含量が有意に高いとは認められなかったが、EDは同程度にまで改善した。よって、本装置は刈り遅れに伴う消化性の低下を抑制するのに効果的であり、収穫適期の拡大に活用できると考えられた。
**キーワード**：大豆、ホールクロップサイレージ、子実割合、飼料成分、発酵品質、反芻胃内消化特性

**Grain Ratio, Chemical Composition and Ruminal Degradability of the Whole-Crop Silage of Forage Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) Processed by a Simple Winnowing System** : Hidenori KAWAMOTO*1), Eiko TOUNO*1), Hiroshi UCHINO*1) and Sunao UOZUMI*1)

**Abstract** : In order to promote soybean silage production by corn silage producers, the direct cutting system using a corn harvester was developed, and a simple winnowing system was designed for the harvesting to blow off empty pods, leaves and stems. This winnowing system consists of the exhaust pipe and blower that were mounted to the chute of the corn harvester. Soybeans (cv. Ryuho) were harvested and ensiled at growth stages R7 (pods yellowing, 50% of leaves yellow) and R8 (95% of pods brown, full maturity). The winnowing system was set up when harvesting the R8 stage. The grain ratio, crude protein (CP) content and ruminal effective degradability (ED) in the dry matter of R8 silage without the winnowing system were 56.5%, 24.5% and 49.0%, respectively, and the ED was lower than that of R7 silage. The grain ratio of R8 silage was increased to 69.1% when processed by the system, and CP content and ED were also increased 6 points and 10.1 points, respectively. As a result, the CP content was not significantly superior to that of R7 silage, but ED was improved to the same level as R7 silage. Therefore, this system was effective in extending a harvesting stage by improving the digestibility that decreases with maturity.
**Key Words** : Forage soybean, Whole crop silage, Grain ratio, Chemical composition, Fermentation quality, Ruminal degradability

## Ⅰ　緒　　言

我々は、コーンサイレージ用の収穫調製体系（コーンハーベスタ、細断型ロールベーラ）が大豆WCS生産に適用でき、その体系に脱豆機（ビーンスレッシャ）を導入して完熟期の大豆に適用すれば、子実割合を75%に高めた細断ロールベールサイレージが調製できることを報告した（Kawamoto *et al.*

＊1）農研機構東北農業研究センター（NARO Tohoku Agricultural Research Center, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan）
2013年９月11日受付、2014年２月５日受理

2012)。サイレージ中の子実割合を高めることは、栄養価の向上につながると考えられる。ただし、ビーンスレッシャ等の専用機械を収穫体系に組み込む方式では、コスト増や作業能率の低下を招くと考えられる。よって、より安価且つ作業能率を維持するためには、コーンサイレージ用機械のみを用いて簡易に子実割合を高める方策が必要である。そこで本研究では、小型のエンジンブロアをコーンハーベスタに装着し、刈り取られた大豆がハーベスタのシュート部から荷受けバケットに向かって吹き出される経路に選別風を吹き当てつつ収穫し、莢・茎等の夾雑物を吹き飛ばして子実割合を高める簡易な風選別装置を開発し、その飼料成分や消化性の向上効果について検証した。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「自給飼料を基盤とした国産畜産物の高付加価値化技術の開発（国産飼料プロ）」の研究費を基に行われた。また、本研究の一部は、2013年８月に行われた東北畜産学会第63回大会において口頭発表された。

## Ⅱ　材料と方法

### １．サイレージ調製

東北農業研究センター内圃場（岩手県盛岡市）において、75cm畝幅で慣行栽培された大豆（品種リュウホウ、2010年５月31日播種）を、Fehr *et al.* (1971）が示したR7ステージ（同年９月29日、莢部の黄化とともに葉部も50%以上が黄化した成熟初期）とR8ステージ（同年10月14日、莢部の95%以上が茶色となった完熟期）にサイレージに調製した。刈取りは切断長10mmに設定したコーンハーベスタ（ロータリークロップヘッダKEMPER C1200、ヤンマー株式会社、大阪）で行い、トラクタの前部に取付けた荷受けバケット（ローダバケットMLB2010、株式会社IHIスター、北海道）で受けた刈取り材料を、細断型ロールベーラ（MR-810、株式会社タカキタ、三重）によってロールベールに梱包した。R8ステージの収穫において、ハーベスタに簡易な風選別装置を装着し、この装置による処理区を設けた。本装置（図１、２）は、２台の送風機（背負い式エンジンブロアShindaiwa EB802、株式会社やまびこ、東京）と送風管をコーンハーベスタに装着した構造であり、送風機で発生した気流を送風管によってハーベスタのシュート部に導き、シュート部から放出される収穫物に選別風として吹き当て、

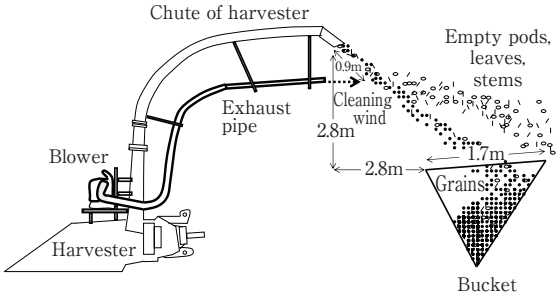



Fig. 1　The simple winnowing system which consists of the exhaust pipe and blower.

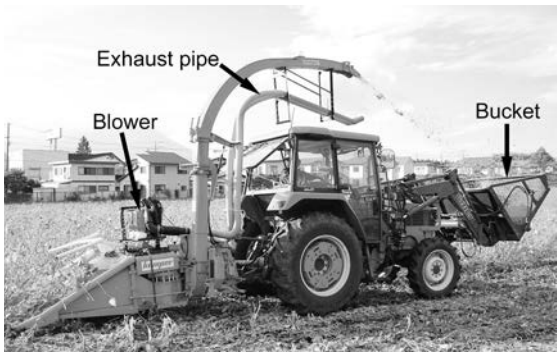



Fig.2　The operating situation of the winnowing system.

比重の小さい空の莢や茎葉等を吹き飛ばして荷受けバケットに入る収穫物の子実割合を高める仕組みである。刈取り作業は、本装置によってシュート部から90cmの場所に風速30m/sの選別風（送風管の吹き出し口から50cmでの実測値）を当てつつ行い、荷受けバケットに入った収穫物をロールベールに梱包した。その他の作業条件は表１に示した。材料草サンプルは、収穫作業時に荷受けバケットから適時採取し、よく混合・縮分して子実割合の測定に用いた。ロールベールは８層にラッピングし、約６ヶ月間の貯蔵後、各区３個ずつ開封した。サイレージサンプルは、ベールを解体しながら上部および中部、下部から一定量ずつ採取し，これらを混合・縮分して各ベールあたりサブサンプルを２つずつ得た。

### ２．化学分析

材料草サンプルを60℃で72時間通風乾燥後、乾物１kgを子実と莢・茎葉に分離し、子実割合を求めた。サイレージ新鮮物40gを４℃下で一晩、４倍量の水（160ml）で抽出し、ガラス電極によってpH

Table 1　The harvesting conditions of winnowing system for forage soybean.

| Item | Specifications or performance |
|---|---|
| Yield of forage soybean（kgDM/ha） | |
| R7 stage | 5336 |
| R8 stage | 4704 |
| Tractor（Kubota MD77） | |
| Engine output | 77ps/2400rpm |
| Harvester（KEMPER C1200） | |
| Working width | 125cm |
| Cutting height | 14.5cm |
| Cutting length | 10mm |
| Bucket（IHI Star MBL2010） | |
| Length and wide | 170cm |
| Capacity | 2.0m$^3$ |
| Blower for winnowing （Shindaiwa EB802 x2*） | |
| Engine output | 3.2kW/8,000rpm ×2* |
| Air speed | 30m/s |
| Working speed of harvesting | |
| Without winnowing treatment | 0.72m/s |
| With winnowing treatment | 0.70m/s |

*Two engine blowers were used.

を，高速液体クロマトグラフィーを用いたブロモチモールブルーボストラベル法（大桃ら　1993）によって有機酸（乳酸、酢酸、プロピオン酸、n-酪酸）を、微量拡散法（自給飼料品質評価研究会　2009）によって揮発性塩基態窒素（VBN）をそれぞれ測定した。これら有機酸と総窒素中のVBN割合からVスコアを算出し、サイレージ発酵品質を評価した（自給飼料品質評価研究会　2009）。また、サイレージ１kgを60℃で72時間通風乾燥し、１mmまたは４mmのスクリーンをつけたカッティングミル（パワーカッティングミル SM2000、株式会社レッチェ、東京）で粉砕して飼料成分分析と反芻胃内消化試験に供した。飼料成分分析は１mmに粉砕したサンプルを用い、135℃ ２時間加熱乾燥による乾物率と常法（自給飼料品質評価研究会　2009）による粗灰分、粗タンパク質（CP）、粗脂肪、耐熱性αアミラーゼ処理中性デタージェント繊維（NDF）、酸性デタージェント繊維（ADF）、酸性デタージェントリグニン（リグニン）含量を測定した。なお、NDFの測定には亜硫酸ナトリウムの添加はせず、NDF、ADF、リグニンは灰分を除いた含量で示した。CP中の可溶性タンパク質の割合をKrishnamoorthy *et al.*（1982）の方法で、分解性タンパク質の割合をRoe *et al.*（1991）の方法で定量すると共に、酸性デタージェント繊維中に含まれるCPを結合性タンパク質として定量した（自給飼料利用研究会　2009）。

**３．反芻胃内消化試験**

４mmに粉砕したサンプルを用い、第一胃カニューレを装着した黒毛和種去勢牛２頭（体重457 kgと518kg）を供試した*in situ*法による反芻胃内消化特性を測定した。供試牛には、体重比で1.5%（乾物）のオーチャードグラスサイレージに配合飼料２kgを加えたものを１日２回に分けて給与し、水と鉱塩を自由摂取させた。供試牛への第一胃カニューレの装着および飼養管理については，東北農業研究センターにおける動物実験等実施要領に従って行った。サンプル５gを10cm × 20cm、目開き53μmのポリエステル製バック（Bar Diamond BG1020、三紳工業株式会社、神奈川）に入れて第一胃内で3、6、12、24、48、72時間培養した。また、洗浄損失（可溶性画分）の測定は、試料が入ったバックを反芻胃内で培養せずに40℃のお湯に１時間浸漬後、反芻胃内培養したバックと同様の洗浄と乾燥を行って重量を測定した（自給飼料品質評価研究会　2009）。培養時間（ｔ）における乾物の分解率（ｙ）を

$y = a + b\,(1 - e^{-c(t-t0)}),\ \{t > t0\}$

の非線形回帰モデル（Dhanoa　1988）に当てはめ、可溶性画分a、実質分解性画分bとその分解速度c、ラグタイムt0を算出した。計算は、農林水産研究情報総合センターのシステムでSAS9.2（SAS Institute Inc., NC, USA）の非線形回帰（NLIN）プロシジャを用いて行った。また、反芻胃内の通過速度定数（k）を5.0%/hとし、反芻胃内有効分解率（ED）を

$ED = a + bc/(c + k)$

のモデル（Ørskov・McDonald　1979）から算出した。

**４．統計解析**

分析結果はロールベールを反復とした一元配置分散分析によって解析し、有意差（$P < 0.05$）が認められた場合にはTukeyのスチューデント化範囲検定で多重比較を行った。計算は、農林水産研究情報総合センターのシステムでSAS 9.2の分散分析（ANOVA）プロシジャを使用した。

## Ⅲ　結　　果

サイレージにおける各処理区の名称は、R7ステージ（無処理区のみ）をR7区、R8ステージの無

処理区をR8区、R8ステージの風選別処理区をR8風選区と示す。各処理区の材料草の子実割合は、R7区が50.7%、R8区が56.5%、R8風選区が69.1%であった（図３）。本研究では収穫時の子実損失の割合を測定していないが，ブロアの風量制御は目視によって子実が荷受けバケット外にはほとんど出ない程度で行ったため、莢や茎葉の一部の除去にとどめざるを得なかった。仮に子実の損失が無く、除去されたのがすべて莢や茎葉であったとすると、R8区とR8風選区材料の子実割合の差から、莢や茎葉の除去率は41.9%と計算された。サイレージの飼料成分、発酵品質、反芻胃内乾物分解特性を表２に示した。飼料成分を比較すると、R8区はR7区と比べて乾物率に加え、NDFとリグニン含量が高かった。これら両ステージのCP含量の差は認められなかったが、R8区はR7区よりもCP中の結合性タンパク質の割合が高かった。R8風選区は、R8区と比べて粗脂肪とCP含量が高く、NDFとリグニン含量が低かった。R8風選区をR7区と比べると、粗脂肪含量は高いが、CPやNDF含量の差は認められなかった。CPの品質においては、R8風選区はR7区よりもCP中の可溶性タンパク質の割合は低かったものの、結合性タンパ

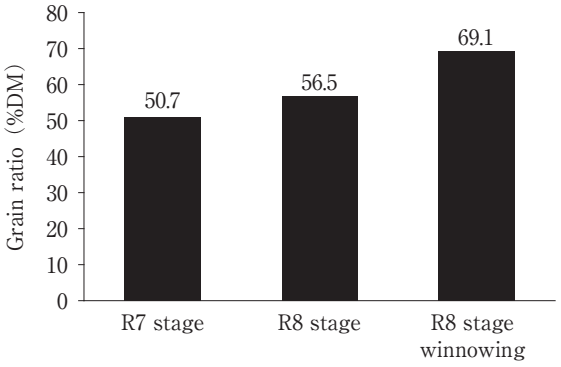



Fig. 3　Grain rate of silage material.

Table 2　Chemical composition, fermentation quality, and *in situ* ruminal degradability of two different harvest stages and one winnowing treatment of forage soybean silage.

| Item | R7 stage | R8 stage | R8 stage winnowing | SEM |
|---|---|---|---|---|
| *Chemical composition* | | | | |
| Dry matter (DM; % FM) | 32.3$^{b}$ | 63.8$^{a}$ | 62.5$^{a}$ | 0.67 |
| Crude ash (% DM) | 6.8$^{a}$ | 6.1$^{b}$ | 5.8$^{b}$ | 0.10 |
| Ether extract (% DM) | 8.7$^{b}$ | 8.0$^{b}$ | 11.9$^{a}$ | 0.46 |
| Neutral detergent fiber (% DM) | 41.1$^{b}$ | 49.1$^{a}$ | 41.5$^{b}$ | 1.58 |
| Acid detergent fiber (% DM) | 34.8 | 39.0 | 33.5 | 1.30 |
| Acid detergent lignin (% DM) | 7.0$^{c}$ | 11.4$^{a}$ | 9.8$^{b}$ | 0.24 |
| Crude protein (CP; % DM) | 25.3$^{ab}$ | 24.3$^{b}$ | 30.3$^{a}$ | 1.32 |
| Soluble protein (% CP) | 45.8$^{a}$ | 41.9$^{ab}$ | 39.1$^{b}$ | 1.05 |
| Degradable protein (%CP) | 49.1 | 47.2 | 49.2 | 0.66 |
| Acid detergent insoluble protein (% CP) | 5.1$^{b}$ | 10.9$^{a}$ | 11.8$^{a}$ | 0.48 |
| *Fermentation quality* | | | | |
| pH | 4.5$^{b}$ | 6.6$^{a}$ | 6.4$^{a}$ | 0.05 |
| Lactic acid (% FM) | 2.44$^{a}$ | 0.11$^{b}$ | 0.13$^{b}$ | 0.03 |
| Acetic acid (% FM) | 0.52$^{a}$ | 0.21$^{b}$ | 0.12$^{b}$ | 0.04 |
| Propionic acid (% FM) | ND | ND | ND | − |
| n-Butyric acid (% FM) | ND | ND | ND | − |
| Volatile basic nitrogen (% TN) | 6.8$^{a}$ | 1.2$^{b}$ | 0.7$^{b}$ | 0.15 |
| V-score | 94$^{b}$ | 100$^{a}$ | 100$^{a}$ | 0.26 |
| *Ruminal DM degradability* | | | | |
| Soluble fraction (%) | 33.2$^{a}$ | 17.9$^{c}$ | 20.5$^{b}$ | 0.41 |
| Slowly degradable fraction (%) | 43.2$^{c}$ | 55.0$^{b}$ | 67.5$^{a}$ | 1.02 |
| Degradation rate (% $h^{-1}$) | 7.6 | 6.5 | 6.7 | 0.28 |
| Lag time (h) | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 0.13 |
| Effective degradability (%) | 59.2$^{a}$ | 49.0$^{b}$ | 59.1$^{a}$ | 1.03 |

FM, fresh matter；ND, not detected；R7 stage, pods yellowing and 50% of leaves yellowed；R8 stage, 95% of pods brown；SEM, standard error of the mean；TN, total nitrogen；Means in rows with unlike superscript differ（$P<0.05$）.

ク質の割合が高かった。発酵品質は、いずれの処理区も酪酸が認められず、Vスコアで90以上と良好であった。ただし、R7区は乳酸含量が新鮮物中2%を超えてpHが4.5に低下していたが、乾物率の高かったR8区では乳酸含量が0.1%程度とサイレージ発酵が微弱でpHが6.6と高かった。R8風選区の発酵品質は、R8区と差が認められなかった。反芻胃内乾物分解特性を比較すると、R8区はR7区よりも可溶性画分が15.3ポイント低く、実質分解性画分が11.8ポイント高く、有効分解率が10.2ポイント低かった。一方、R8風選区の分解特性をR8区と比べると、可溶性画分が2.6ポイント、実質分解性画分が12.5ポイント高まり、有効分解率が10.1ポイント向上した。このR8風選区の分解特性をR7区と比べると、可溶性画分が12.7ポイント低く、実質分解性画分が24.3ポイント高かったが、有効分解率には差が認められなかった。

## Ⅳ 考　　察

コンバインやビーンスレッシャの脱穀部では、風の力によって収穫物を搬送し、穀粒とそれ以外の夾雑物の飛行軌跡の差を利用して分離する風選別が行われている（古野ら　2006）。この風選別の精度を上げるためには、穀粒流量に応じた精密な選別風量の制御が必要であるが、コンバイン等の脱穀部という閉鎖空間においても、その時々の最適選別風量の予測は困難を極める（松井　2006、Furuno *et al.* 2008）。サイレージ収穫機械体系に風選別処理を導入する場合、選別風を当てる場所は、多量に発生する夾雑物の処理を考えると本研究のようにハーベスタのシュート部から荷受けバケットまでの間が合理的と思われる。そして、本研究の風選別装置は極めて簡易なものであり、作業状況に応じて選別風速の細かな調節を行うことはできず、莢や茎葉の除去割合を大きくしようとすると子実損失も大きくなってしまうシステムであった。この簡易な風選別装置によっても、R8ステージ収穫で4割程度の莢や茎葉を除去することができ、子実割合が高まったサイレージが得られることが明らかになった。

大豆WCSの収穫時期を検討するために、R6ステージ（莢充実期）とR7ステージ収穫を比較した我々の研究（Kawamoto *et al.* 2013）では、両ステージ間にCPやNDF含量の差はないが、R7ステージはサイレージ中の総窒素に占める揮発性塩基態窒素の割合が小さく、CP中の可溶性タンパク質の割合が低かったことから、R7ステージが最適な収穫時期であることを報告した。本研究では、このR7ステージに対してR8ステージまで収穫を遅らせて風選別処理によって子実割合を高めた場合の飼料品質に対する効果を検討した。R8ステージまで収穫を遅らせた場合、R7ステージで収穫するよりもNDFやリグニン含量が高かった。この様なR8ステージに対する簡易な風選処理は、CP含量を高めるとともにこれら繊維成分含量を低下させた。これは、大豆WCS収穫にビーンスレッシャを導入した先の研究（Kawamoto *et al.* 2012）において、ビーンスレッシャ処理によって子実割合を75%に高めたR8ステージはCP含量が30%を超えるとともに、総繊維（OCW）含量が無処理区の51%に対してビーンスレッシャ処理区は38%と大きく低下した結果と一致するものであった。ただし、R7ステージで収穫されたWCSと比べて、CP含量が有意に増加したとは認められず、CPの品質においても可溶性タンパク質の割合は低下したものの、結合性タンパク質の割合が増加していた。一方、反芻胃内有効分解率は、R7ステージWCSと同程度にまで改善した。植物体において、リグニンは特に成熟した茎部に高い含量が認められ、そのリグニン含量と消化率との間には高い負の相関がある（Buxton・Russell 1987）。阿部ら（1992）は食用大豆の収穫残渣の飼料価値を検討し、残渣の大部分を占める茎部のリグニン含量は18.1%と高く、消化率が40%に満たないことを報告している。本研究のR8ステージWCSは子実割合が56.5%と高かったが、リグニン含量も高く、リグニン化が進んだ難消化性の茎部を多く含むために反芻胃内有効分解率の低下が引き起こされたと考えられた。よって、R8ステージ収穫において、風選別装置による莢や茎葉の除去は、特に難消化性成分の除去による消化性の改善に有効であることが示唆された。

以上のことから、R8ステージ収穫と本研究で開発されたハーベスタ装着型風選別装置との組み合わせによって、R7ステージ収穫を明らかに上回る飼料成分や消化性を得ることはできなかったが、刈り遅れに伴う消化性の低下を抑制する効果が得られ、収穫期の拡大に活用できると考えられた。

## 引 用 文 献


1）阿部英則，山川政明，岡本全弘．1992．豆がらの栄養価改善に対するアンモニア処理の有効性．滝川畜試研報　27：19-24.

2）Buxton, D. R.; Russell, J. R. 1987. Lignin constituents and cell-wall digestibility of grass and legume stems. Crop Sci. 28 : 553-558.

3）Dhanoa, M. S. 1988. On the analysis of dacron bag data for low degradability feeds. Grass Forage Sci. 43 : 441-444.

4）Fehr, W. R.; Caviness, C. E.; Burmood, D. T.; Pennington, J. S. 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Sci. 11 : 929-931.

5）Furuno, Y.; Matsui, M.; Inoue, E.; Mori, K.; Okayasu, T.; Fukata, R. 2008. Analysis of winnow mechanisms on the basis of particle-particle/particle-airflow interaction（Part1）-Dispersion characteristics of paddy grains/straws-. Journal of J.S.A.M. 70 : 65-71.

6）古野裕子，松井正実，井上英二，森　健，岡安崇史．2006．選別風を受ける藁の飛散範囲シミュレーション．農業機械学会誌　68：46-51.

7）自給飼料利用研究会．2009．三訂版 粗飼料の品質評価ガイドブック．日本草地畜産種子協会. 195p.

8）Kawamoto, H.; Touno, E.; Uchino, H.; Deguchi, S.; Uozumi, S. 2012. Ensilage of forage soybean（*Glycine max* (L.) Merr.) by the corn harvesting system. Proceedings of the 4th Japan-China-Korea Grassland Conference. p.142-143.

9）Kawamoto, H.; Touno, E.; Uchino, H.; Uozumi, S. 2013. Comparison of fermentation quality and ruminal degradability between two different harvest timings of forage soybean（*Glycine max* (L.) Merr.) ensiled with the corn-silage system. Grassl. Sci. 59 : 120-123.

10）Krishnamoorthy, U.; Muscato, T. V.; Sniffen, C. J.; Van Soest, P.J. 1982. Nitrogen fractions in selected feedstuffs. J. Dairy Sci. 65 : 217-225.

11）松井正実．2006．コンバインにおける穀粒の風選別に関する研究．農業機械學會誌　68：3.

12）大桃定洋，田中　治，北本宏子．1993．高速液体クロマトグラフィーによるサイレージ中の有機酸の定量. 草地試研報　48：51-56.

13）Ørskov, E. R.; McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. J. Agric. Sci. Camb. 92 : 499-503.

14）Roe, M. B.; Chase, L. E.; Sniffen, C. J. 1991. Comparison of in vitro techniques to the *in situ* technique for estimation of ruminal degradation of protein. J. Dairy Sci. 74 : 1632-1640.