

水田栽培がケナフのサイレージ品質に及ぼす影響

志水勝好^{1*}・市江智恵子²・柴山美智子³・永西 修⁴

¹ 筑波大学生命環境系

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

² 筑波大学第二学群生物資源学類

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

³ 筑波大学大学院生命環境科学研究科

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

⁴ 畜産草地研究所

305-0901 茨城県つくば市池の台2

要 旨

ケナフ (*Hibiscus cannabinus* L.) は繊維作物として熱帯地域で広く栽培されており、近年飼料としての利用が注目されている。本研究ではケナフサイレージの発酵特性を検討するために発酵の様相を経時的に測定し、水田栽培で刈取法の異なるケナフサイレージを比較検討した。ケナフ品種はEverglades 41を用い、2009年5月から筑波大学農林技術センター内で畑地、水田条件で栽培を行った。草高120cm程度で1番刈りを地際から20cmで行い、その約3ヶ月後に再生草を収穫した。収穫した植物体全体を2cm程度に細断し、サイレージ作成用ポリ袋に入れ、脱気密封し、20℃恒温でサイレージ発酵調製を行った。この結果、刈取回次に関わらず、ケナフサイレージは調製期間を通して低pHを保ち、貯蔵特性は良好であった。しかし乳酸含有率が非常に低いことから、元来pHの低い植物であるケナフの性質が乳酸発酵に影響を及ぼしているものと考えられた。

キーワード：刈り取り回次、ケナフ、サイレージ、水田

緒 言

日本の平成23年度の食料自給率はカロリーベースで約39%であり（農林水産省 2012）、政府は食料自給率の向上を目指している。しかしその一方、純国内生産飼料自給率はさらに低く平成22年で25%であり、これを増加させることを農林水産省は目標にしている（農林水産省生産局畜産部畜産振興課消費・安全局畜水産安全管理課 2012）。食料、飼料自給率の向上を目指す我が国に対し、世界では地球温暖化に対する化石燃料使用抑制の上からカーボンニュート

ラルである農産物によるバイオエタノール、バイオディーゼル燃料生産が注目されている。アメリカでは2007年に「2007年エネルギー独立・安全保障法」が成立し、トウモロコシなどの生産量の3割以上がバイオ燃料に使用されるようになった。その結果、作物生産物のバイオ燃料利用と食料や濃厚飼料利用との間での競合が穀物価格の高騰を引き起こした結果、食用作物生産物の燃料化については問題視されてきた（OECD-FAO 2007）。そのような中で、安全で、持続的に飼料を利用するためには、我が国は飼料を輸入に頼るのでなく自給飼料の増産を目指

*連絡者：志水勝好 筑波大学生命環境系

305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

E-mail：shimizu.katsuyosh.gm@u.tsukuba.ac.jp

すこと、国内での低利用資源や未利用作物の飼料利用の拡大を進める必要がある（農林水産省生産局畜産部畜産振興課消費・安全局畜水産安全管理課 2012）。

そのような状況でケナフ (*Hibiscus cannabinus* L.) は粗蛋白質含有率が高く、飼料作物としての利用が期待されている（熊井ら 1998a、b、敷田ら 2000、石川ら 2002、2005、志水ら 2006）。ケナフはアオイ科フヨウ属の1年生草本で、繊維作物として熱帯地域で広く栽培されており、生育が旺盛で播種から半年ほどで草高が3～5 mになる（小林 1998）。

近年国内の生産調整水田では奨励作物として飼料用イネが栽培されているが（河本ら 2009）、イネは出穂前から出穂期、乳熟期、糊熟期、完熟期にかけて粗蛋白質含有率が14.5%、10.0%、7.4%、6.3%、5.3%と生長に伴い低下し、稲わらでは7.1%程度である（中央畜産会 2002）。ケナフはイネに比較し約30～10%と生育期間を通して高い粗蛋白質含有率をしめす（熊井ら 1998a、b、熊井 1999、石川ら 2005）。ケナフを飼料作物として利用する際、生育中期の靱皮繊維が未発達である草高120cm程度で収穫し、切り株から再生させることで日本の気候では年に二度の収穫が見込め、栄養価の高い粗飼料の安定供給が期待できる（志水ら 2006）。またケナフは畑地で栽培されるが、水田栽培が可能な数少ない作物の一つでもある（農林水産省農林水産技術会議事務局 2002、志水ら 2003、阿部ら 2009）。

ケナフを飼料として利用する際、労力や乾燥コストの面から乾草飼料とするよりもサイレージ化するのが実用的と考えられるが、そのためには良質サイレージの調製法を明らかにすることが必要である。ケナフサイレージの評価に関する報告は多いが（熊井ら 1998a、b、敷田ら 2000、石川ら 2002、2005）、これらは生成されたサイレージとしての評価であり、pHや有機酸含有率などの作成中の経時的な動態に関する知見は乏しい。また、ケナフ葉の飼料に関する研究は多くなされているが（熊井ら 1998a、b、敷田ら 2000、石川ら 2002、2005）、植物体地上部全体を用い、栄養価の高い飼料調製を目的とした再生草サイレージに関する研究はほとんど見られない。

サイレージの品質は、発酵の良否によって判定されるが発酵品質は評価法として揮発性脂肪酸（VFA）含有率による化学的評価法が広く普

及している（日本草地畜産種子協会 2009）。サイレージは、乳酸発酵から生じる乳酸による酸性化によって、不良菌の繁殖を阻止して安定的に貯蔵するものであるので、乳酸の含量が多く、pHが低いほど優れていると考えられる（日本草地畜産種子協会 2009）。pHが十分下がらない場合、酪酸生成菌が増殖して酪酸などのVFAが生成される。それに伴いアミノ酸の分解が起こり、VBN（揮発性塩基体窒素、主にアンモニア）が多量に生成される（日本草地畜産種子協会 2009）。そのため、pHやVFAの経時的变化を調べることは品質を評価する上では重要である。本研究では、ケナフに含有される有機酸のためサイレージ調製初期より低pHが予想できるケナフサイレージについて（鯨島ら 2002、石川ら 2002）、既報による他作物とのVFAの発酵の様相が大きく異なることが考えられることから、pHおよびVFAに関して発酵の様相を経時的に測定し、ケナフ地上部のサイレージの品質特性の経時的变化を検討することを目的とし、生産調整されている水田を対象としてケナフの飼料的栽培・利用の可能性を調べた。品種は安定して種子を入手でき、報告も多いEverglades41を用いた。

材料および方法

1. 栽培および刈取り方法

ケナフ (*H. cannabinus* L.、品種Everglades 41) を用い、筑波大学農林技術センター内の水田で2009年に栽培した。園芸用培養土（スーパーミックスA、（株）サカタのタネ；N-180、P-120 K-220 (mg/L)）を充填した育苗ポットに播種した。比較対象として畑圃場（淡色黒ボク土）にケナフを同日に直播（株間15cm、条間30cm）した。基肥として複合化成肥料（くみあい複合磷加苦土安800）を $5 \text{ gN/m}^2 \cdot 12.5 \text{ gP}_2\text{O}_5/\text{m}^2 \cdot 12.5 \text{ gK}_2\text{O/m}^2$ 、追肥として硫安 5 gN/m^2 を施用した。ケナフ苗は5月28日に水田に移植した。対照区と刈取り試験区としてそれぞれ水田、畑地 $2 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ を3反復設けた。サイレージには収穫まで刈取りを行わなかった水田対照区の植物体地上部と、刈取区として1番刈で収穫した1番草地上部と刈取り後に再生した再生草地上部（再生草区）を用いた。畑地の1番刈りは7月28日、水田の1番刈りは8月3日、最終刈取りは11月7日に行った。1番刈りの刈取り草高の目安は120cm程度で畑地、

水田で地際から20cmの高さで刈取った。畑地で栽培したケナフは1番刈り後の再生草の再生率が低く、サイレージ調製必要量が得られなかった。

2. サイレージ調製

サイレージ調製は小規模サイレージ発酵試験法に基づき調製した(日本草地畜産種子協会2009)。各区から収穫したケナフは地上部全体を細断機で2cm程度に細断し、それぞれ約240gをバキュームシーラー用ポリ袋(165mm×280mm、アズワン製)に入れ、バキュームシーラー(バキュームシーラー エコノミー VS400N、筑波光化学製)で脱気密封した。各栽培区3反復とした。サンプルを約20℃に調整した人工気象機(コイトロンKG-50HAL、小糸製作所)にて発酵調製後0、1、4、7、14日で冷凍し、発酵を停止させた。

3. 分析用サイレージ抽出液作成と分析

サイレージ調製した各々のサイレージを解凍したのち開封し、よく混合した後、約1/4の量を500mlビーカーに移し、約200gの蒸留水に一日浸漬させ、数時間に一度攪拌した。一日経過後、濾紙(定性濾紙15cm No.2、東洋濾紙製)で濾過した液を50ml遠沈チューブに移し、これを抽出液とした。抽出液の分析項目は、pHおよび揮発性脂肪酸(Volatile Fatty Acid: VFA)である乳酸、酢酸、酪酸およびプロピオン酸含有率とした。乳酸含有率のみr-biopharm社製F-kitを用いて測定方法に基づき分析し、ガスクロマトグラフにより測定した。F-kitを用いた乳酸測定ではサイレージ抽出液を10mlの遠心分離用試験管に約5ml採取し、8℃で3000g×10分遠心分離し、上澄み液を分析試料とした。乳酸以外のVFA濃度についてはガスクロマトグラフ(HP6890、Hewlett Packard)にて測定した。内部標準液の組成はクロトン酸0.15mol/l、除蛋白のためリン酸5%とした。2mlマイクロチューブに内部標準液1mlを入れ、サイレージ抽出液を0.25ml(畑地条件区)もしくは1ml(水田条件区)加えた。サンプルを入れたマイクロチューブを3000回転で10分間遠心分離した。遠心分離後、上澄み液1mlをガスクロマトグラフ分析用サンプルとした。用いたカラムはガラスの長さ150cm、充填剤はThermon-1000(5%+0.5%リン酸)Chromosorb W(AW-DMCS)80~100メッシュ、

キャリアーガスは窒素で30~40ml/分とし、ガスクロマトグラフの測定条件は、検出器の温度を250℃、インジェクターの温度は230℃とした。pHの測定はpHメータ(カスタニーACT pHメータD-20シリーズ、HORIBA製)を使用して抽出液作成時に行った。

4. 統計解析

得られた測定値について二元配置の分散分析を行った後、Tukey法により多重検定を行った。

結 果

本研究で得られた結果は、処理区により圃場条件、刈取り回次に分けて分析を行った。畑地条件ではプロピオン酸は検出されず、プロピオン酸は水田刈取区の調製14、28日目においてのみ検出され、それぞれ0.14%および0.20%であった。

1. 水田栽培ケナフの比較

水田栽培ケナフのpHは3.4~4.2を推移していた(図1)。刈取りを行わなかった対照区が刈取りを行った再生草区よりもやや高く3.6~4.2程度を推移した(図1)。乳酸含有率には差は見られず、0.0007~0.0041%と極めて低い値で推移し、調製1日目に3処理区とも顕著な増加が見られた(図2)。14日目には水田対照区と

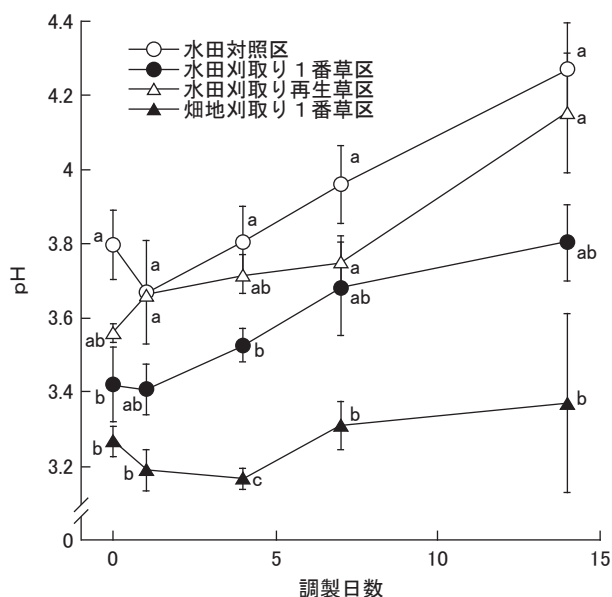


図1 ケナフサイレージのpHの推移
垂線は標準誤差を示す。n=3。
同じアルファベットは処理区間にTukey法により5%水準で有意でないことを表す。

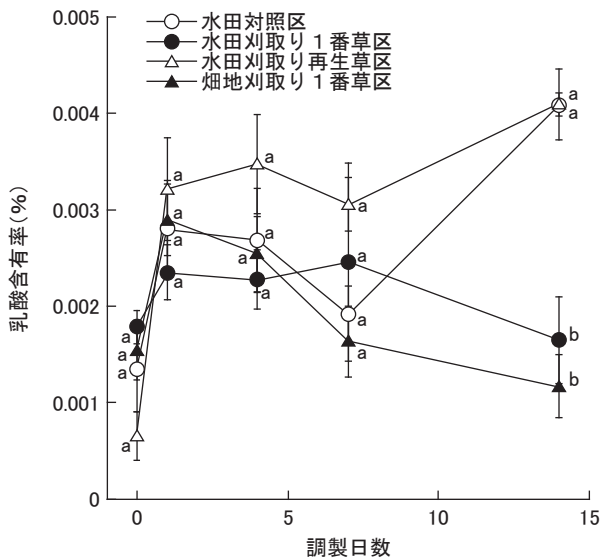


図2 ケナフサイレーズの乳酸含有率の推移
垂線は標準誤差を示す. $n=3$.
同じアルファベットは処理区間にTukey法により
5%水準で有意でないことを表す.

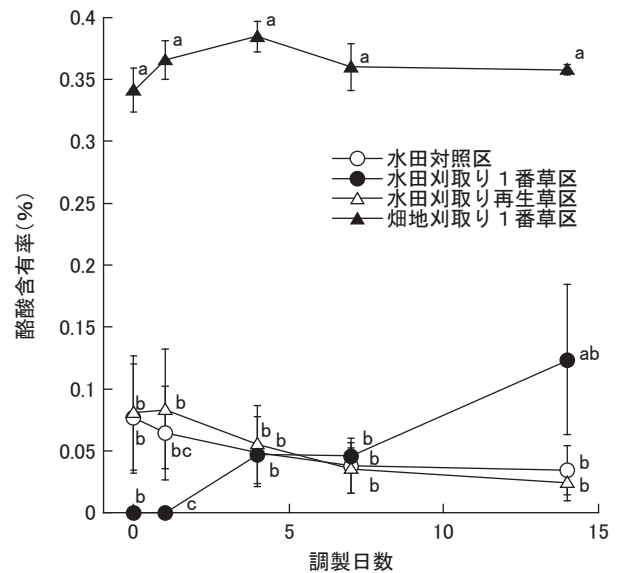


図4 ケナフサイレーズの酪酸含有率の推移
垂線は標準誤差を示す. $n=3$.
同じアルファベットは処理区間にTukey法により
5%水準で有意でないことを表す.

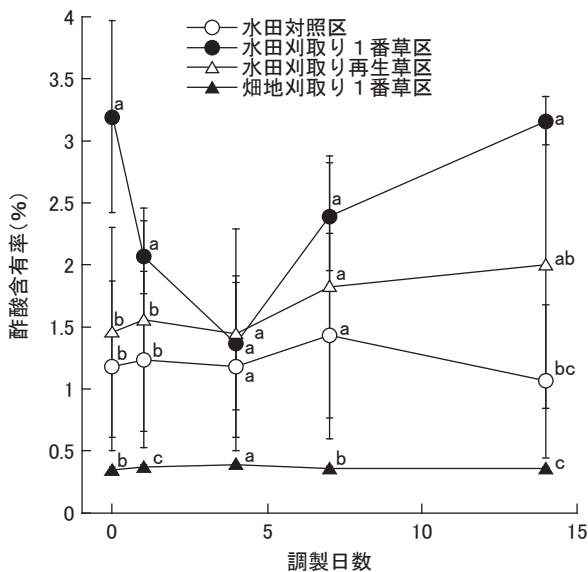


図3 ケナフサイレーズの酪酸含有率の推移
垂線は標準誤差を示す. $n=3$.
同じアルファベットは処理区間にTukey法により
5%水準で有意でないことを表す.

水田刈取り再生草区が高い値を示した。酪酸含有率については、調製期間中に1.1~3.2%を推移した。対照区が刈取り1番草区および再生草区より低く推移する傾向があった(図3)。酪酸含有率には差は見られなかったが、対照区、再生草区で調製初期が最も高い0.08%程度であり、発酵が進むに従い減少したが水田刈取り1番草区は逆に増加した(図4)。

2. 水田および畑地刈取り1番草区の比較

pHは3.1~3.8の範囲内で推移し畑地刈取り1番草区より水田刈取り1番草区の方がやや高い値を示した(図1)。乳酸含有率については共に0.0012~0.0030%と極めて低い値を推移していき、両区に差は見られなかった(図2)。酪酸含有率について畑地刈取り1番草区では0.34~0.38%をほぼ増減なく推移していたが、水田区では調製4日まで3.20%から1.37%急激な減少が見られ、その後調製期間中に3.54%まで増加した(図3)。酪酸含有率については畑地刈取り1番草区が0.34から0.38程度で安定し、水田刈取り1番草区に比較し高く推移した(図4)。

考 察

サイレーズは生草類を乳酸発酵させて一定期間貯蔵し生草類の代用となる最も有効な多汁質飼料である(朝日田 1981)。サイレーズの調製中に嫌気状態を保つことで乳酸発酵により生成した乳酸が酸性化を促し、pHを低く維持することで不良菌の増殖を抑制し、腐敗を防いでいる(朝日田 1981)。一般的に用いられるトウモロコシ等のサイレーズでは、調製開始時にはpH6.0前後であったものが調製初期に急激に低下し、約pH4.0で安定状態となる。一方で劣質のものであると、pHの低下が緩やか、もしくは上昇傾向となり、不良菌が増殖し腐敗を引き起こしたり、pH4.0以下になるまでに作物中に

含まれるプロテアーゼにより蛋白質分解が生じ栄養価の損失が起こる。このため初期のpHの低下が非常に重要となる（安宅 1979）。水田栽培されるイネおよび飼料用イネのサイレージのpHが4～6であるのに対し（永西・四十万谷 1998、河本ら 2009、飛佐ら 2009）、本実験でケナフサイレージのpHは調製前から非常に低く、調製期間中もpH3.0～4.2と低い値を推移していた（図1）。しかし、ケナフサイレージの低pHはケナフの汁液中の有機酸により低いためであり乳酸発酵によるものではない（鮫島ら 2002、石川ら 2002）。乳酸含有率はイネが0.1～0.5%（永西・四十万谷 1998）、イタリアンライグラスが90日間の貯蔵で2%程度まで増加するのに対し（小川ら 1976）、ケナフサイレージの乳酸含有率は0.004%程度に停まり、ほとんど乳酸発酵が進んでいなかった（図2）。乳酸菌は他の酪酸菌等の不良菌と比較して発酵の最適pHが低く3.8～4.8であり（安宅 1979）、ケナフに含まれるヒビスカス酸（鮫島ら 2002）による低pH条件が乳酸発酵に影響を及ぼしているものと考えられた。そして畑地、水田栽培の違いはこの性質に影響を及ぼさなかった（図1）。永西・四十万谷（1998）によると酢酸はイネでサイレージ調製中に増加が見られ、56日後には1.0～1.5%を示した。飼料用イネでは約50日後に0.12～1.16%を示したが（河本ら 2009）、ケナフでは畑地刈取り1番草区で0.4%、水田対照区で1.20～1.4%、水田刈取り再生草区で1.4～1.8%程度で安定していた（図3）。一般的にはサイレージ調製後3～4日目頃の酢酸菌の活性化により酢酸が増加、そのためpHが低下するが、その後は乳酸菌の活性化により乳酸が生成され酢酸菌の活性は著しく低下し、pHが4.2以下の安定した品質のサイレージになり易い（安宅 1979）。ケナフはサイレージ調製の最初からpHが3.3～3.8と低かったことから、酢酸の生成については他の飼料作物のサイレージ調製中の酢酸含有率の変化とはかなり異なった特徴を示した。酪酸生成はイネでサイレージ調製後4日目頃から始まり56日～2ヶ月後で0.1～0.7%であり（永西・四十万谷 1998、河本ら 2009、飛佐ら 2009）、水田ケナフは調製期間中0.15以下であることから低pH条件が酪酸生成についても抑制しているものと考えられた（図4）。

調製開始時からpHが低く保たれるという点から、本研究で用いた畑地、水田条件栽培ケナ

フはサイレージとして良質な貯蔵性を示したと考えられた。水田栽培ケナフのサイレージ利用は畑地栽培に比較して、特に2回刈りは粗蛋白質含有率から考えても有効と推察した（志水ら 2006）。サイレージの劣質指標であるプロピオン酸が水田条件においてのみ検出されたが酢酸、酪酸の低含有率はフリーク評点においてはそれぞれ20点、50点と高くなった（日本草地畜産種子協会 2009）。フリーク評点法は有機酸組成の割合を用いた評価法であり、乳酸、酢酸、酪酸の含量を求め、その重量比を基に評点を算出する。そしてその総点数によってサイレージの発酵品質を優（81～100）、良（61～80）、可（41～60）、中（21～40）、下（0～20）の5段階の等級に評価する（中央畜産会 2011）。乳酸については水田条件で検出量は微量であったことから乳酸のフリーク評点では0点となり、総合評価では優とはならなかった。乳酸発酵が抑制されるケナフのような低乳酸サイレージにはフリーク評点法による評価は適当でないと考えられる。フリーク評点以外の評価法にV-スコアがあるが、こちらはVFAに加えて揮発性塩基態窒素（VBN）を分析することで蛋白質の分解の程度を考慮した評価方法である（日本草地畜産種子協会 2009）。本研究ではサイレージの品質評価に関して最も重要な項目であるVFA組成の分析のみを行ったが、調製中の蛋白質分解に関しての分析も含め、今後ケナフサイレージのような、低乳酸含有率サイレージの評価法をV-スコア含め検討する必要があると考えられた。

引用文献

- 阿部淳、テップワディ＝チャンディ、アナン＝ポルタニー、森田茂紀（2009）湛水に対するケナフの根の反応。農及園 84：107～111。
朝日田康司（1981）飼料。畜産学。（清水寛一監修）文永堂、東京。pp202。
安宅一夫（1979）サイレージの基礎。農業技術大系 畜産編7 飼料作物（基礎編）。農山漁村文化協会、東京。pp基85-95。
中央畜産会（2002）日本標準飼料成分表（2001年度版）。丸井工文社、東京。pp48-52。
中央畜産会（2011）サイレージの品質評価法と簡易な見分け方について。畜産情報ネットワーク畜産統合検索システム、http://library.lin.gr.jp/qa_info.php?id=2442（参照2013年1月21日）。
永西修、四十万谷吉郎（1998）稲ホールクロップサイレージの発酵特性。日草誌 44：179-181。
石川尚人、志水勝好、永西修（2002）ケナフ葉部の飼料成分および消化特性。日草誌 48：261-263。

- 石川尚人、志水勝好、永西修 (2005) ケナフ葉サイレー
ジのタンパク質画分と発酵特性 日草誌 51: 303
-306.
- 河本英憲、山口弘道、小松篤司、田中治、押部明徳
(2009) 飼料イネのサイレージ発酵に及ぼす細切・
高密度詰込の影響. 日草誌 54: 323-327.
- 小林良生 (1998) 環境に役立つ紙資源「ケナフ」増補版、
第2版. ユニ出版有限会社、東京. pp1-303.
- 熊井清雄、福見良平、服部育男、鮫島一彦 (1998a)
農場副産物を利用したケナフ葉サイレージの発酵特
性および飼料価値. 日草誌 44 (別): 274-275.
- 熊井清雄、福見良平、村上恵子、服部育男 (1998b).
青刈ケナフの収量ならびにケナフサイレージの飼料
価値. 日草誌 44 (別): 276-277.
- 熊井清雄・服部育男・福見良平・杉本秀樹・鮫島一
彦 (1999). 品種の差異が青刈りケナフの生育収
量ならびにサイレージ品質に及ぼす影響. 日草誌
45 (別): 138-139.
- 日本草地畜産種子協会 (2009) 三訂版 粗飼料の品質
評価ガイドブック. pp74-78.
- 農林水産省 (2012) 平成23年度食料自給率をめぐる事
情. 農林水産省、東京. pp1-3.
- 農林水産省農林水産技術会議事務局 (2002) 新規水田
転作作物ケナフの栽培・収穫・調製技術等の開発.
研究成果第406集. pp1-63.
- 農林水産省生産局畜産部畜産振興課消費・安全局畜水産
安全管理課 (2012) 飼料をめぐる情勢. 農林水産省、
東京. pp1-24.
- OECD-FAO (2007) Agricultural Outlook. 2007-
2016. OECD Publication, Paris. pp1-88.
- 小川増弘、高橋英伍、阿部林 (1976). 材料成分とサイレー
ジ品質 I. 貯蔵温度、貯蔵日数および予乾の効果.
日草誌 22: 39-45.
- 鮫島一彦 (2002). 環境改善植物としてのケナフの栽培
と利用. 農林水産技術研究ジャーナル 25: 27-32.
- 敷田成太郎、馬場武志、井上信明、棟加登きみ子 (2000).
ケナフ葉部サイレージの発酵品質と飼料価値. 九州
農業研究 65: 130.
- 志水勝好、小村蘭子、曹衛東、石川尚人 (2003). ケナ
フの形態・生理に関する研究 第6報 湛水条件
下で栽培したケナフの生育反応. 熱帯農業 47 (別
1): 49-50.
- 志水勝好、石川尚人、永西修 (2006). ケナフ再生草の
飼料成分、タンパク質画分、in vitro 乾物消失率お
よび物理化学性. 日草誌 55 (別2): 176-177.
- 飛佐学、中野豊、白珍珠、望月俊宏、古澤弘敏、松石貴裕、
泉清隆、道端奈穂子、梶原良徳、梶原さゆり、名田
陽一、下條雅敬、増田泰久 (2009). 日印交雑イネ
数品種の乾物収量とサイレージの発酵品質 日草誌
55: 233-241.

Effects of Paddy field Cultivation on Qualities of Kenaf Silages

Katsuyoshi SHIMIZU^{1*}, Chieko ICHIE²,
Michiko SHIBAYAMA³ and Osamu ENISHI⁴

¹ Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba,
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan.

² College of Agrobiological Resource Sciences, University of Tsukuba,
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan.

³ Graduate School of Life and Environmental Sciences University of Tsukuba,
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan.

⁴ National Institute of Livestock and Grassland Science,
Ikenodai 2, Tsukuba, Ibaraki, 305-0901, Japan.

Abstract

A kind of fiber crops, kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) has been cultivated in tropical and subtropical area in the world. Kenaf are paid an attention to about the use as a forage crop recently. In this research, we tried to clear the feature of fermentation of silage of kenaf plants, which were cultivated at a upland field and a paddy field. Kenaf (var. Everglades 41) was cultivated in Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba in 2009. As a first cutting, plants are harvested at 20 cm high from the soil surface when plant heights were about 120 cm, and then all of regrowth plants were harvested after 3 months later. All plants were cut to small pieces which were less than 2 cm long and then they were put into plastic bags. Bags were degased and stored at 20°C for fermentation. As a result, kenaf silages were kept in good condition for the storage because of the low pH in bags although lactic acid content of silages was low. This result shows low pH situation of silage was the result of low pH of kenaf plants, and this feature affected the lactic fermentation of kenaf silages.

Key words: Cuttings, Kenaf, Paddy field, Silage.

*Corresponding Author: Katsuyoshi SHIMIZU Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba
Ten-nodai 1-1-1, Tsukuba, Ibaraki, 305-8572, Japan
E-mail: shimizu.katsuyosh.gm@u.tsukuba.ac.jp