

## 牧草の天日乾燥に関する研究(2, 3報)

鈴木義則・谷口利策・増田治策・日野 亮・高本文男  
井手上孝・芝 宏道・宮越秀一・松田昭美\*  
(九州農業試験場畑作物部乾草研究グループ)

SUZUKI, Y., TANIGUCHI, R., MASUDA, J., HINO, R., TAKAKI, F.  
IDEUE, T., SHIBA, H., MIYAGOE, H., and MATUDA, A.  
Studies on the Drying Method of Hay in the Field (2, 3)

前年度にひきつづき乾草生産の作業体系確立のための実用化を目指した基礎的な試験を行なった。

草量の多少と乾燥速度の速さとの関係を、フォレージ刈の場合について定量化を指向しながら検討し(第2報)、また環境条件の把握に対しては、熟収支の観点から牧草の乾燥過程をフォーレージ刈、モアー刈といった刈取法別に考察した(第3報)。ここでは、両者をまとめて、概略を報告する。

### I. 実験方法

- (1) 実験期日 昭和44年4月21日~24日, 6月9日~10日
- (2) 供試材料 イタリアンライグラス  
草丈110cm(4月), 140cm(6月)
- (3) 刈取法 モアー, フォレージハーベスター
- (4) 草量 1, 1.4, 2, 3, 4, 5, 7.5kg/m<sup>2</sup>
- (5) 乾燥方法 目のあらい金網(85×125cm=1m<sup>2</sup>)  
上で, 日中1時間毎の減量測定。夜間室内格納場所短かく刈取った草地。
- (6) 気象条件の測定 日射量(入射, 反射), 草面上0.2m, 1.0mHの温度, 湿度, 地温(1~50cm深6点) 土壤水分(誘電式, ナイロンユニットによる)

### II. 実験結果と考察

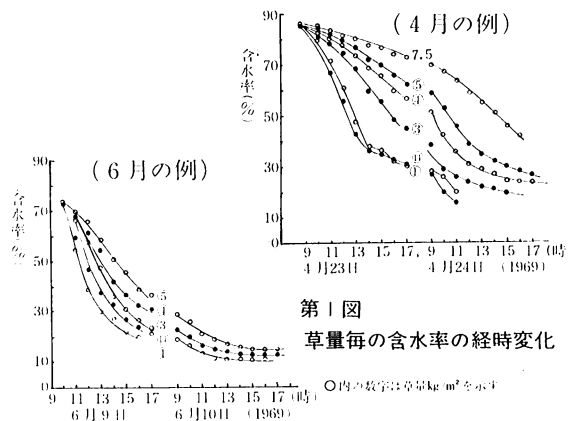
#### 1. 草量試験(第2報)

乾草のできる過程は蒸発過程であるから, 当然草量の多少が問題となる。この関係は従来四国農試や東北農試などで調査されているが, いづれも定性的であって, 定量的な関係をつかむにはいたっていないようにみうけられる。ここでは, フォレージ刈のものについて考察を加えてみた。

##### 1) 草量と含水率低下の関係(第1図)

(脚注) ※現鳥取大学農学部砂丘研究所

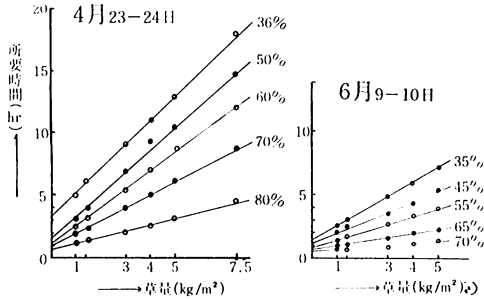
4月と6月の2例を示した。両者の間にはかなりの差異が認められ, 6月の含水率低下が著しく早くしかも草量間の差が4月のものに比較して少ない。



第1図  
草量毎の含水率の経時変化

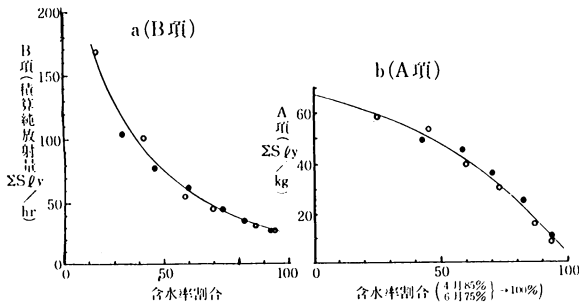
2) 所定含水率に達するに要する時間と草量の関係  
第1図から, 含水率をパラメーターにして, 所定の含水率に達する所要時間を草量に対してとったのが, 第2図である。図によると, 所要時間は1~7.5kg/m<sup>2</sup>の草量に対して, 80~35%の範囲内では直線的な関係, すなわち, 所要時間は草量に比例して長くなりまた, その関係は含水率が低くなるにつれて草量の影響が大きくなることがわかった。これは定量化を進める上で非常に重要な性質である。本質的には0に収斂する曲線であるが考えやすいように近似的取扱いとして一次式で表わしておこう。つまり  $y = Ax + B$  の形である。この図で, 4月と6月では直線の勾配(A項)と縦軸の切片(B項)に明瞭なちがいがある。この理由を検討しよう。第2図の時間の項をエネルギー量, ここでは積算純放射量に変換する(図略)。すると, 第2図にみた著しい季節性が少なくなりました。つまり, 両月における草

量のもつ反応の差異というものは、エネルギー的には、ほぼ同じ内容をもつといえる。



第2図 所定含水率に達するに要する時間と草量の関係

次に、含水率の低下にともなうB項（時間）の動きをみると（図略），4月が6月よりはるかに大きくなる傾向がみられ，しかも両月において含水率が大→小にしたがってB項が指数函数的に増大することが明らかになった。この季節性の解明のために，前述の時間→エネルギー変換の図からB項をエネルギー量表示をし，さらに含水率としては，作物の生育ステージの差を考慮して初期含水率を規準にした表示（%）になおして，B項との関係をあらわしてみた。第3図(a)にみるように季節性の差が存在しなくなり両者がほぼ一致してしまう結果となり，B項が積算純放射量によって規制されていることを物語る。以上の事実から季節の評価を行なうことが可能である。つまり同一純放射量（積算的概念の）になるに要した時間の比をとれば，それが季節の評価になりえよう。たとえば，この場合は，4月に比して6月は1.7倍の時間効率をもっていることがわかった。



第3図 積算純放射量を使用した、B項(a)、A項(b)と含水率割合との関係(●4月 ○6月)  
次に、A項の特性をみてみよう。時間 (hr/kg) は4月が6月より大きく、A項にも時間効果の存在が示される。対含水率の関係をみると、含水率→0で

A項は飽和する曲線の形をとっている。この関係もエネルギー量に転換したものを第3図(b)にあげよう。4月，6月の季節差はなく両者が同じ値におちつことが判明した。故にA項においても積算純放射量の果す役割が根本的なものであることがわかった。A，B両項を通じていえることは，含水率の高い範囲の各草量区の含水率の低下はA項によって決定されるが，乾燥が著しく進んだ状態ではB項によって影響される度合が急増することである。

## 2. 乾燥過程と気象条件の関係 (第3報)

第1報では主として，初期蒸発量について考慮を加えたが，ここでは，熱収支的立場から気象環境の把握につとめ，作業機の効率について考えてみた。

### (1)気象条件

実験日は，6月初旬とはいえ乾燥には最適のものであり，6月9日は日中の平均気温は23.9℃，湿度57.4%，飽差は12.6mb，天気快晴，北東風6.2m/sであった。放射フラックスは，日射，純放射量とも多くそれぞれ，6月9日 580.8 $\varrho$ /日，351.4 $\varrho$ （フォレンジ区）338.7 $\varrho$ （モアー区），10日，519.0 $\varrho$ /日，334.5 $\varrho$ （フォレンジ区）325.1 $\varrho$ （モアー区）であり，日射量と純放射量の関係は，

$$S = 0.75(Q + q) + 5.0 \quad (\varrho/\text{時}) \quad (1)$$

で示された。

### (2)乾燥過程の解析 (6月の例)

積算日射量と含水率の減少の関係を見ると，ゆるやかな曲線となるが，かなりの範囲にわたって2本の直線で近似できることがわかる。日射量と純放射量の関係は(1)式で示されるので，上の関係は純放射量( $\Sigma S$ )とも直ちにおきかえられ，しかも点のパラッキは少なくなった。(第4図) その関係を(2)式に，さらに積算潜熱量( $\Sigma \varrho E$ )との関係を(3)式に示そう。

$$\begin{aligned} W_{F_1} &= -0.20 \Sigma S + 77 \quad (0 < \Sigma S < 160) \\ W_{F_2} &= -0.095 \Sigma S + 60 \quad (160 \leq \Sigma S < 460) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} W_{F_1} &= -0.30 \Sigma \varrho E + 73.5 \quad (0 < \Sigma \varrho E < 120) \\ W_{F_2} &= -0.13 \Sigma \varrho E + 53 \quad (120 \leq \Sigma \varrho E < 370) \end{aligned} \quad (3)$$

但し， $W_{F_1}$ ； $W_{F_2}$ は，それぞれ，初期蒸発過程と第2次蒸発過程における牧草の含水率(%)を示し，添字Dはフォレンジ刈による処理を意味している。

3) 乾草面の熱収支

地干乾燥における熱収支式は次式で表わされる。

$$\Sigma S + \Sigma \ell E + \Sigma L + \Sigma B = 0 \dots\dots\dots(4)$$

$$\left. \begin{aligned} \Sigma \ell E &= \Sigma \ell E_{hay} + \Sigma \ell E_{soil} \\ \Sigma B &= \Sigma B_{hay} + \Sigma B_{soil} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

ただし、 $\Sigma S$  : 純放射量,  $\Sigma \ell E$  : 牧草 ( $\Sigma \ell E_{hay}$ ) と地表面 ( $\Sigma \ell E_{soil}$ ) からの蒸発による潜熱量,  $\Sigma L$  : 牧草面と空気との間の伝導や拡散による顕熱量,  $\Sigma B$  : 乾草 ( $\Sigma B_{hay}$ ) や土壌 ( $\Sigma B_{soil}$ ) の温度変化に使われる熱量。

以上の各項の測定結果を第1表に示す。これによると特に潜熱項と牧草の蒸発水分量の間大きな差があることに気づく。蒸発の初期には両者は近似的に等しい値を示しているが、乾燥が進むにつれて差が開いてくる。本質的には潜熱量に相当する水分が蒸発しなければならぬのに  $\ell E$  の大きさに、実際の蒸発水分がついていかないのは不合理である。この理由を明らかにする必要がある。第1に、(5)式においては、その性質上対象区外からの水蒸気の移流を無視していた。第2に、ポーエン比の測定値の代表性で乾草面上の吹走距離が小さく、周辺の緑地帯の空気に対応していたことの2点があげられる。すなわち、近接地の大型蒸発計の蒸発量 (9~16h) が  $\Sigma \ell E$  とほとんど等しい値であった。これは、移入水分量があったこと、およびポーエン比がその付近全体を代表しておりその値自体に不備はなかったことを物語る。またこれは、大面積で乾草を作る場合には熱収支法によって乾燥過程を知りうることを示している。ただ、可能蒸発量に対して草面からの蒸発量が減少していく過程は気象反応ではなく植物反応すなわち蒸発抵抗 (拡散抵抗) として受けとめる必要がある。この関係は今後さらに検討するが、実

用的には、(2), (3)式に示したように、含水率の低下が日射量と直線的に変化していることを利用しておいてもよいと思われる。

4) 作業機械のエネルギー利用効率

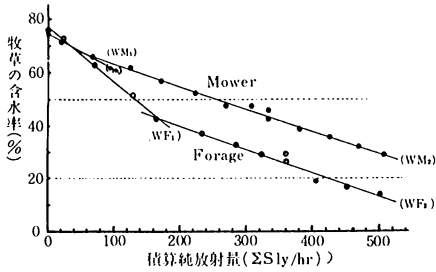
第4図にみられるように、フォレージ刈、モアー刈とでは、同じ経過時間、日射量であっても乾燥の度合に大きな差があった。この差は茎の圧碎の有無による蒸発面の変化にもとづくものと、その結果生じた気象条件の改良の2つの面で評価すべきであらう。乾燥面の微気象的な差についてみると、上部から入る日射量に差はないが、アルベドがモアー区の方が多く、したがって純放射量に差が出て、フォレージ刈が太陽熱エネルギーの利用効率が高い。さらにポーエン比も小面積の測定であるが、差がみられた。次に植物体の蒸発面の形状のちがいと蒸発量の差の関係は、第4図の直線式のうち、初期蒸発過程を表わす式(2)と(6)を比較することによって解析できる。モアー刈では

$$\left. \begin{aligned} W_{M1} &= -0.125 \Sigma S + 74.3 \quad (0 < \Sigma S < 70) \\ W_{M2} &= -0.095 \Sigma S + 74.3 \quad (70 < \Sigma S < 500) \end{aligned} \right\} (6)$$

であるから、(2)式と比較すると、水分低下程度は、フォレージ刈の-0.20に比して63%とかなり小さく、しかもその継続の長さも、フォレージ刈の160 $\ell y$ に対して70 $\ell y$ と約44%にすぎず、いづれも、フォレージの乾燥速度が早いことが示される。さらに第2段階での乾燥過程もフォレージ、モアーともに-0.095という勾配で平行的に変化していて、モアーの乾燥の進度が、蒸発の進んだフォレージと同程度しか乾燥しえないことがわかる。以上、作業機械の導入は太陽熱エネルギーの利用効率を高め、また茎の蒸発抵抗を低下させることに気象的意義を見出すことができる。

第1表 熱収支項と牧草の蒸発水分量(1969.6.9の例)

時間	全短波 入射量 ly/hr	地中熱 流量 B ly/hr	フォレンジ刈区							モア一刈区								
			アル ベド	純放 射量 S <sub>F</sub> ly/hr	ボ-エ ン比 β <sub>F</sub>	顕熱伝 達量 L <sub>F</sub> ly/hr	潜熱伝 達量 ℓ <sub>E<sub>F</sub></sub> ly/hr	同左の水 量換算量 g/m <sup>2</sup>	牧草の蒸 発水分実 測値 g/m <sup>2</sup>	飽差 m b	アル ベド	純放 射量 S <sub>M</sub> ly/hr	ボ-エ ン比 β <sub>M</sub>	顕熱伝 達量 L <sub>M</sub> ly/hr	潜熱伝 達量 ℓ <sub>E<sub>M</sub></sub> ly/hr	同左の水 量換算量 g/m <sup>2</sup>	牧草の蒸 発水分実 測値 g/m <sup>2</sup>	飽差 m b
9.30-10.00	35.0	5.5	0.22	24.0	0.18	3.7	20.3	305	257	9.84	0.24	21.0	0.20	3.5	17.5	267	145	9.96
10	74.4	0.5	0.23	50.6	0.37	13.7	36.9	635	445	12.16	0.25	49.6	0.36	13.1	36.5	622	316	12.92
11	79.8	3.0	0.24	54.2	0.43	16.3	37.9	615	317	14.62	0.27	52.2	0.41	15.2	37.0	600	185	15.29
12	81.0	3.9	0.25	54.2	0.65	21.4	32.8	520	132	16.18	0.28	52.1	0.49	17.1	35.0	555	133	16.21
13	79.2	1.2	0.24	53.6	0.68	21.7	31.9	535	78	16.96	0.26	52.1	0.51	17.6	34.5	576	117	16.59
14	70.8	4.6	0.25	47.1	0.38	13.0	34.1	528	48	15.89	0.25	46.4	0.37	12.5	33.9	520	51	15.05
15	59.4	0.3	0.24	38.9	0.12	4.2	34.7	596	40	12.97	0.25	38.0	0.14	4.7	33.3	565	40	13.92
16-17.00	44.0	-2.1	0.22	28.8	0.012	0.6	28.2	486	3	10.52	0.26	26.7	0.77	11.6	15.1	232	20	12.59



第4図 牧草の含水率の低下と積算純放射量の関係  
(イタリアンライグラス、1969.6)