たばこ刻みの膨こう性に与える温度、水分、 刻みの粒度、着葉位置の複合効果*

斎藤孝平** 安 陪 勲***

Complex Effect of Temperature, Moisture Content, Length of Shreds and Stalk Position on Filling Capacity of Tobacco Shreds

by

Kōhei SAITŌ and Isao ABE

(Central Research Institute, Japan Tobacco and Salt Public Corporation, Yokohama)

In order to investigate quantitatively a complex effect of four variables, *i. e.*, temperature t ($-0.5 \sim +70^\circ\text{C}$), moisture content w ($7 \sim 29\%$ WB), length of shreds L and stalk position p , on filling capacity (FC) of tobacco shreds, an experiment was carried out with two typical varieties in Japan, that is, Flue-cured V_1 and Domestic V_2 tobacco. Then the experimental data were analyzed by means of a statistical method.

The important results obtained were as follows:

- (1) The complex effect of t , w , L , and p on (FC) can be represented by the following formula.

$$(FC) = f(w) + f(w, t) + f(w, L) + f(p),$$

where each function f on the right side of the formula is a quadratic function of variables shown in parentheses, for example w and t .

- (2) The degree of influence by variables on (FC) decreased in order of $w > t \div p > L$ in the V_1 , and in order of $w > t \div L > p$ in the V_2 .

- (3) In general, (FC) decreased as w or t increased, and (FC) showed a maximum value when L was a medium value.

- (4) Generally, (FC) of shreds cut from leaves on higher stalk positions was smaller than that of shreds cut from leaves on lower, and (FC) of V_2 was greater than that of V_1 .

- (5) The variation of (FC) given in (1) to (4) corresponded well to the variation of elastic modulus of tobacco on the same condition.

(Received May 20, 1978)

キー・ワード：たばこ刻み、膨こう性、温度、水分、刻みの粒度

1 緒 言

たばこ刻みの膨こう性は、一定本数の紙巻たばこを製造するに必要な刻みの重量、すなわち刻みのてん充性を表しており、原料の経済性（原料節減）および製品の品質（かたさ、吸いやすさなど）に密接な関係をもつ重要な特性値であるので、内外の多くの研究者によって研究されてきた。膨こう性には、たばこの力学的性質が関与しているが、この力学的性質はその温度、水分、たばこ葉の幹における着葉位置（以下、着葉位置という）の3要因によって左右されるので、膨こう性もそれらの影響を受ける。また、刻みの粒度も膨こう

性に関係の深い要因である。しかし、膨こう性に関する過去の研究では、上記4要因の中の1ないし2要因を取り上げているにすぎない。したがって、過去の実験結果からは、膨こう性に及ぼす4要因の影響の強度を、同時に比較することは困難である。著者らはこの点に注目して、4要因を同時に取り上げ、4要因のおのおのが膨こう性に及ぼす影響を個別的に明らかにしたうえで、それらを相対的に比較するとともに、各要因の多角的な組合せによる複合効果を定量的に解析することを本研究の目的とする。

2 実験方法

2・1 実験条件と実験材料

実験条件 (Table I) として、温度、湿度（水分）、たばこの種類、着葉位置、刻みの粒度の5因子を取上げた。たばこの種類は国内産の代表として黄色種（ブ

* 本報を「たばこの圧縮特性に関する研究（第2報）」Study on the Compression Characteristics of Tobacco, II) とする。

原稿受理 昭和53年5月20日

** 正 会 員 日本専売公社中央研究所 横浜市緑区梅が丘

*** 日本専売公社中央研究所 横浜市緑区梅が丘

ライト・エロー、岡山県玉島産）と在来種（松川葉、福島県三春産）とを選び、いずれもたばこ原料に仕上げられた乾燥後のものである。着葉位置と葉分・等級の区分名称との間の一般的関係を用いて、葉分・等級に位置番号を付けて着葉位置とした（幹における上位から下位に向って位置番号の数字が増えるようにし、天葉4等の着葉位置を1、中葉優等のそれを5、中葉4等の下位葉のそれを10とした²⁹⁾）。刻みの粒度は、実際には、ふるい分けに用いたふるいの目開きによって区分したが、刻みは細長い形状をしているために、たとえば目開き4mmのふるいを通過し、目開き2mmのそれに留った刻み中には、刻みの実長が4~2mmのもののみがあるわけではなく、その前後の長さの刻みも多少混っている。しかしふるい分けによって得られた粒度の階級（刻みの平均的な長さ）間には、明らかな差がみられた。この実験では粒度を表すのにその階級番号（Table I）で示した。階級番号5における刻みの実長の最大は約70mmであった。温度と湿度とは刻みを調湿するときの環境空気³⁰⁾の温度、湿度であって、刻みの温度、水分を一定にするためのものである。

Table I. Materials and condition of experiment.

Factors of experiment	Levels of experiment
Variety of tobacco	Flue-cured (V_1) and Domestic (V_2)
Stalk position and grade (no. of leaf position on a stalk, p)	Tip 4th (1), Smoking leaf 2nd (3), Cutter superior (5), Cutter 2nd (7) and Cutter 4th (9)
Length of tobacco shreds by sieving, (mm) (no. of class for length, L)	More than 4 (5), 4-2 (4), 2-1 (3), 1-0.71 (2) and less than 0.71 (1)
Temperature of tobacco ($t^{\circ}\text{C}$)	-0.5, 10, 20, 35 and 50
Humidity conditioning tobacco (% RH)	21, 47, 60, 72 and 83

2・2 測定装置と測定値の表示

膨こう性の測定装置は前報のもの³¹⁾を用い、その測定方法および測定値の表示方法は次のとおりである。すなわち、試料容器内に刻み4g（20℃、60%RHで調湿時の重量）を入れて、3.75cm/minの一定圧縮速度で圧縮したときに得られる刻みの高さ h cmと測定装置の下部荷重変換器で検出された圧縮応力 P gw/cm²との関係曲線から、 $P=250$ gw/cm²（標準かたさをもつ製品たばこの比容積は、その製品の刻みを膨こう性測定装置で、応力250gw/cm²まで圧縮したときの刻みの比容積にほぼ等しい⁵⁾²⁵⁾）における刻みの高さ h_0 cmを求め、この値を用いて次式で算出した刻みの比容積をもって膨こう性の値（FC）とした⁵⁾⁷⁾²³⁾²⁴⁾。

$$\begin{aligned} (FC) &= (\text{容器の断面積}) \times h_0 / (\text{刻みの重量}) \\ &= 9 \times h_0 / 4 \quad (\text{cc/g}) \end{aligned} \tag{1}$$

2・3 実験操作

たばこの種類別、着葉位置別に（Table I）、中骨を取り除いた葉を刻幅0.65mmに才刻して刻みとし、その刻みを20℃、60%RHで調湿し、一定条件（イッキ K.K. 製ふるい器、直径20cmのJIS標準ふるい、1回の刻み量約30g、使用調節電圧80V、ふるい分け時間3min¹⁾）で5種類の粒度（Table I）にふるい分けた後、再び20℃、60%RHで調湿した。この刻みから、実験区分ごとにそれぞれ4gずつを分取し、ふたのない容器に入れ、それらを硫酸水溶液による恒湿器と電気恒温恒湿槽とを併用して、一定の温度、湿度の下で調湿し、刻みの温度と水分とを一定に調製した。この試料を測定の一単位として、同槽内に設置してある膨こう性測定装置に入れ、圧縮した。圧縮時の圧縮応力と刻みの高さとの関係曲線を、装置の下部荷重変換器に結合した東洋測器製SS-6D型自動平衡指示記録計に記録させた。この曲線から2・2項に述べた方法によって膨こう性の値を求めた。圧縮の終わった刻みの水分を加熱乾燥法（100℃、1hr）によって測定した³²⁾。

2・4 測定データの整理

温度(t)、水分(w)、刻みの粒度(L)、着葉位置(p)の各因子が膨こう性（FC）に及ぼす影響を明らかにするために、これらの因子による4元配置の分散分析法³³⁾³⁴⁾を、たばこの種類（黄色種、在来種）別に適用して、各因子の寄与率を算出した。同法により別に計算された（FC）の推定平均値は、 t 、 w 、 L 、 p のそれぞれについて2次関数的に変化することがわかったので、

t: Temperature. The arrow shows 95% confidence limit of mean value. This illustration is adopted in the following every figure

Fig. 1. Relation between moisture content and filling capacity of Flue-cured tobacco shreds at the condition of $p=7$, $L=3$.

Fig. 2. Relation between moisture content and filling capacity of Domestic tobacco shreds at the condition of $p=7$, $L=3$.

Table II. Statistically analyzed table of each experimental factor with contribution rate for filling capacity.

		Unit (%)		
		Variety of tobacco		
Factor		V_1	V_2	V_1+V_2
Variety of tobacco	V	—	—	30.21
Stalk position	P	11.02	4.76	2.73
Length of shreds	L	5.24	14.89	5.86
Temperature	t	11.11	13.87	8.74
Moisture content	w	52.29	51.27	35.15
Interaction	$V \times p$	—	—	2.53
	$V \times L$	—	—	1.56
	$V \times t$	—	—	0.11
	$V \times w$	—	—	1.00
	$p \times L$	0.61	0.55	0.13
	$p \times t$	0.00	0.18	0.00
	$p \times w$	0.70	0.81	0.05
	$L \times t$	0.39	0.47	0.15
	$L \times w$	4.05	3.04	2.14
	$t \times w$	9.49	7.21	5.25
Error of experiment		5.10	2.95	4.39
Total		100.00	100.00	100.00

V_1, V_2 : cf. Table I.

回帰分析を行って (FC) を定量的に表す(2)ないし、(6)式 (Table III) を求めた。

3 実験結果および考察

3・1 水分の影響

実験4因子の膨こう性に及ぼす影響を、分散分析から得られた寄与率によって比較すると (Table II)、膨こう性 (FC) に与える水分 (w) の効果 (黄色種

52.3%, 在来種51.3%) は、他の3因子の効果のいずれよりも大きかった。黄色種、在来種ともに、 w の増加に伴って (FC) が減少するが (Fig. 1, 2), これは主として w の増加につれてたばこの弾性率が低下するためである。 w の増加に対する (FC) の減少の程度は、たばこの種類にはあまり関係なく、主として温度 (t) によって左右され、水分の関数とみた膨こう性、 $(FC) = f(w)$ は、 t が小さいときには上方に凸の曲線であるが、 t が増加するに従って上方に凹の曲線に移行する (Fig. 1, 2)。ただし、 w が4~5% WBにおける (FC) は、これらの曲線上に乗らず、 t に無関係にほぼ一定の値を示した (Fig. 1, 2)。

V_1, V_2 : cf. Table I, w : Moisture content
Fig. 3. Relation between temperature and filling capacity of tobacco shreds at the condition of $p=7$, $L=3$.

3・2 温度の影響

温度 (t) は水分 (w) について膨こう性 (FC) に大きな影響を与える因子であり、(寄与率で黄色種 11.1%, 在来種 13.9%, Table II), 黄色種、在来種のいずれにおいても、一般に t の増加に伴って (FC) が減少し、温度の関数とみた膨こう性、 $(FC) = f(t)$ の曲線は、一般に右下りであるが (Fig. 3), これは主として t の増加につれてたばこの弾性率が低下すること

おいては、3・1項に述べたように、(FC)の値は、 t に無関係にほぼ一定であった。これらの低水分条件で膨こう性を測定した後の刻みは、測定時の圧縮によって破壊され粒度が小さくなった。その破壊の程度は高温条件のものに比較して低温条件のものほど大きかった。これは t が低いほど、刻みがもろく（伸び率が小）なる w の値が大きいためと思われ、特に $t = -0.5^\circ\text{C}$ においてはそれより高温の場合に比較して、葉組織が凍結状態に近くなり、よりもろい性状を示すことに因ると推察される。 t の単位増加量に対する(FC)の減少量は、 w によって異なるが、その平均値は約 $0.035\text{ cc/g/}^\circ\text{C}$ である (Fig. 3)。これに対し w の単位増加量に対する(FC)の減少量の平均値は約 $0.145\text{ cc/g/\%WB}$ であって (Fig. 1, 2), w の(FC)に与える効果の方が、 t のそれよりも約4倍大きい。この値は、弾性率について上記と同様の比較を行った倍数 $^{29)}$ とほぼ一致し、このことは膨こう性が弾性性によって左右されている一つの証左である。

3・3 刻みの粒度の影響

粒みの粒度(L)が膨こう性(FC)に及ぼす影響は、黄色種では小さいが(寄与率で5.2%, Table II), 在来種では大きく(同, 14.9%), 温度に匹敵している。 L の変化に対する(FC)の変化は複雑で (Fig. 4, 5), たばこの種類, 水分(w)によって異なるが、いずれの場合でも、 L のある点で(FC)が最大値を示した。

w Moisture content. V_p : In a volume occupied by a constant weight of shreds, the volume occupied by space except the volume of shreds selves

Fig. 4. Relationship among filling capacity, length of shreds and V_p in Flue-cured tobacco at the condition of $p=7$, $t=20^\circ\text{C}$.

Fig. 5. Relationship among filling capacity, length of shreds and V_p in Domestic tobacco at the condition of $p=7$, $t=20^\circ\text{C}$.

この現象について以下に考察する。刻みの集合体における刻み同志の接触によって、その内部に多数の「はり」が作られていると考え、³⁵⁾外力に対するはりの抵抗力は、はりのスパンが小さいほど増加する。スパンを L に、抵抗力を(FC)に対応させると、 L が小さいほど、(FC)が増加する可能性(はり機構性)が考えられる。一方、容器に刻みを粗充てんしたときの刻み間比容積は(FC)に対し正の相関関係にあり、かつ、 L の減少によって刻み間比容積 (Fig. 4, 5 の下段の V_p)が減少するので、 L の減少は(FC)を減少させる可能性(容積機構性)をもっている。はり機構性と容積機構性のつりあった点として、(FC)を最大にさせる L の値、 L_e (Fig. 4, 5)が存在するものと解される。この L_e の値が減少した点の状態は、容積機構性が減少し、はり機構性が増加した状態であると解釈する。水分(w)の増加によって L_e は減少するので (Fig. 4, 5), w の増加は、容積機構性を減少させ、はり機構性を増加させるものと思われるが、この理由は次のように考えられる。3・1項に述べたように、高水分の場合には、低水分の場合に比較して(FC)の値が低い、それは言い替えれば、圧縮負荷 250 gw/cm^2 の条件の下で、同一容積内にある刻みの重量が多いことを示している(2・2項)。したがって、圧縮負

荷を支えている刻みの集合体の中の個々の刻みに注目すると、その個々の刻み同志間の相対的な距離は、水分が高まれば高まるほど、小さくなり、はり機構性が発現されやすい状態になるものと考えられる。

3・4 着葉位置、たばこの種類の影響

着葉位置 (p) の膨こう性 (FC) に及ぼす影響は、黄色種 (V_1) で大きく (寄与率で 11.0%, Table II), 在来種 (V_2) で小さい (4.8%). いずれも上位葉 ($p=1$) から下位葉 ($p=9$) に向って, (FC) が増加する一般的な傾向を示すが (Fig. 6), この一般的な傾向を基準にたばこの種類の特徴をみると, V_1 では p の増加に対して (FC) が上方に凸の曲線を, V_2 では同じ条件のとき, (FC) が上方に凹の曲線を示した。

Fig. 6. Relation between filling capacity and leaf position on a stalk at the condition of $L=3$, $t=20^{\circ}\text{C}$, $w=17\%$ WB.

黄色種 (V_1) と在来種 (V_2) との (FC) の差 (寄与率で 30.2%, Table II の V_1+V_2 らん) は, 水分の影響 (35.2%) に匹敵し, 一般に V_2 の (FC) は V_1 のそれよりも大きい (Fig. 6), これは主として両者における弾性率または単位乾重弾性などの違いによる。

3・5 実験 4 因子の複合効果

実験 4 因子の膨こう性への効果を解析して, 寄与率で比較すると (Table II), 黄色種 (V_1) では水分>温度>着葉位置>刻みの粒度の順, 在来種 (V_2) では水分>温度>刻みの粒度>着葉位置の順であった。これら 4 因子の組合せによる膨こう性に与える複合効果を, (2)ないし(6)式の推定式で定量的に表した (Table III)。この式は, 3・1 項ないし 3・4 項における水分, 温度, 刻みの粒度, 着葉位置, たばこの種類のそれぞれと, それらの任意の組合せとが膨こう性に与える効

Table III. Formulae to estimate filling capacity of tobacco shreds.

$$(FC)=f(w)+f(w, t)+f(w, L)+f(p) \quad (2),$$

where

$$f(w)=k_1+k_2w+k_3w^2 \quad (3),$$

$$f(w, t)=(k_4+k_5w+k_6w^2)t+(k_7+k_8w+k_9w^2)t^2 \quad (4),$$

$$f(w, L)=(k_{10}+k_{11}w+k_{12}w^2)L+(k_{13}+k_{14}w+k_{15}w^2)L^2 \quad (5),$$

$$f(p)=k_{16}p+k_{17}p^2 \quad (6).$$

Variety of tobacco		V_1	V_2
Coefficient of each term	k_1	1.426	0.354
	k_2	0.233	0.388
	k_3	-0.00688	-0.01257
	k_4	0.156	0.135
	k_5	-0.0219	-0.0204
	k_6	0.000564	0.000552
	k_7	-0.00280	-0.00151
	k_8	0.000316	0.000147
	k_9	-0.0000076	-0.0000029
	k_{10}	2.06	2.57
	k_{11}	-0.128	-0.156
	k_{12}	0.00204	0.00267
	k_{13}	-0.273	-0.303
	k_{14}	0.0132	0.0180
	k_{15}	-0.000161	-0.000327
	k_{16}	-0.224	0.347
	k_{17}	0.0326	-0.0289
Precision of estimation	σ	0.333	0.392
	CV	9.85	8.00

(FC): Filling capacity of tobacco shreds (cc/g)

w : Moisture content (% WB)

t : Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

L : No. of class for length of shreds (cf. Table I)

p : No. of leaf position on a stalk (cf. Table I)

V_1, V_2 : Variety of tobacco, cf. Table I.

σ : Standard deviation (cc/g)

CV: Coefficient of variation (%)

果のすべてを包含している。この式の推定精度は標準偏差で約 0.4 cc/g, 変動係数で約 10% であって (Table III), 同一ロットから採った試料の繰返し測定の変動係数 (4~8%) よりもわずかに大きい程度であるから推定には充分役立つものと考えられる。Table I における刻みの粒度の因子の一部の水準を省略し, 温度因子の水準を -10°C と $+70^{\circ}\text{C}$ として, 追加して行った実験結果と, Table III の推定式による計算値とを比較すると, $+70^{\circ}\text{C}$ の場合にはかなりよく一致 (標準偏差で約 0.6 cc/g, 変動係数で約 15%) したが, -10°C でははなはだしく異った。したがってこの推定式の適用範囲は, 温度について -0.5°C から $+70^{\circ}\text{C}$ までである。水分については 7% WB から 29% WB までである (3・1 項)。

4 結 言

たばこ刻みの膨こう性 (FC) に与える温度 (t (-0.5°C ~ $+70^{\circ}\text{C}$)), 水分 w (7~29% WB), 刻みの粒度 (L), 着葉位置 (p) の 4 因子の複合効果を, 定量的に明らかにするために, 国内産の代表的な 2 種類のたばこ, 黄色種 (V_1) と在来種 (V_2) を用いて測定したデータを統計的方法により解析した。

それらから得られた主要な結果を列挙すると次のとおりである。

(1) (FC) に与えると t , w , L , p の複合効果は、次式で表すことができた。

$$(FC) = f(w) + f(w, t) + f(w, L) + f(p)$$

ここに、式の右辺の関数はいずれも、それぞれの変数についての 2 次関数である。

(2) (FC) に及ぼす影響の強さは、 V_1 では $(w > t \rightleftharpoons p > L)$, V_2 では $(w > t \rightleftharpoons L > p)$ の順序であった。

(3) 一般に、 w , t の増加とともに (FC) は減少し、 L の中間的な値のときに、(FC) は最大値を示した。

(4) 概して、 p が低いほど (FC) は大きく、 V_2 の (FC) は V_1 のそれよりも大きかった。

(5) (1)ないし(4)の各項における (FC) の変化は、それぞれの条件における弾性率の変化によく対応した。

参 考 文 献

- 1) 齋藤孝平, 材料, **23**, 457 (1974).
- 2) Смирнов, А.П. и В.С. Эткин, табак, No. 4, 21 (1954).
- 3) Дорохов, П.К. и Н.К. Никифорова, Табак, No. 4, 23 (1954).
- 4) Sedlatschek, W., Fachliche Mitteilungen der Österreichischen Tabakregie, **2**, 8 (1957).
- 5) Artho, A. J., R. J. Monroe, and J. A. Weybrew, Tobacco Science, **7**, 191 (1963).
- 6) Lorentz, H. W., und F. Seehofer, Beiträge zur Tabakforschung, **2**, 131 (1964).
- 7) Artho, A. J., Beiträge zur Tabakforschung, **2**, 143 (1964).
- 8) Pietrucci, A., Beiträge zur Tabakforschung, **2**, 217 (1964).
- 9) Halbye, von M., und J.Y. Knudsen, Beiträge zur Tabakforschung, **3**, 45 (1965).
- 10) 山崎正雄, 村永 徹, 津金利子, 坂江陽子, 日本専売公社中央研究所研究報告, **107**, 119 (1965).
- 11) 蒲池 崇, 川畑満洲男, 吉谷 宏, 日本専売公社中央研究所研究報告, **107**, 125 (1965).
- 12) Artho, A. J., Beiträge zur Tabakforschung, **3**, 392 (1966).
- 13) Kühne, E., und G. Glantz, Berichte des Instituts für Tabakforschung, Dresden, **13**, 167 (1966).
- 14) 増尾 裕, 片山良徳, 篠崎松江, 日本専売公社中央研究所研究報告, **108**, 137 (1966).
- 15) Kühne, E., und G. Glantz, Berichte des Instituts für Tabakforschung, Dresden, **14**, 62 (1967).
- 16) Журавлев, Н.В. и Ю.И. Кулиш, Табак, No. 1, 21 (1967).
- 17) Ченков, В.В. и Г.И. Сологубов, Табак, No. 1, 26 (1967).
- 18) 増尾 裕, 片山良徳, 篠崎松江, 日本専売公社中央研究所研究報告, **109**, 59 (1967).
- 19) Lorentz, H. W., und F. Seehofer, Beiträge zur Tabakforschung, **4**, 293 (1968).
- 20) Voisey, P. W., and E. K. Walker, Tobacco Science, **13**, 91 (1969).
- 21) Voisey, P. W., and E. K. Walker, Tobacco Science, **14**, 40 (1970).
- 22) Пашков, В.С. и Э.Р. Авакян, табак, No. 2, 23 (1970).
- 23) Пашков, В.С. и Э.Р. Авакян, Табак, No. 3, 37 (1970).
- 24) Пашков, В.С. и Э.Р. Авакян, Табак, No. 3, 25 (1971).
- 25) 増尾 裕, 篠崎松江, 日本専売公社中央研究所研究報告, **113**, 43 (1971).
- 26) Walker, E. K., and P. W. Voisey, Tobacco Science, **16**, 78 (1972).
- 27) 篠崎松江, 増尾 裕, 日本専売公社中央研究所研究報告, **114**, 17 (1972).
- 28) 都築啓子, 篠崎松江, 木梨敬子, 安部 勲, 日本専売公社中央研究所研究報告, **114**, 21 (1972).
- 29) 齋藤孝平, 材料, **23**, 1063 (1974).
- 30) Hübschen, L., Beiträge zur Tabakforschung, **3**, 371 (1966).
- 31) 齋藤孝平, 安部 勲, 材料, **26**, 584 (1977).
- 32) 齋藤孝平, 古沢 勝, 日本専売公社中央研究所研究報告, **111**, 255 (1969).
- 33) 畑村又好, 奥野忠一, 津村善郎, “スネデカー, 統計的方法”, p. 237 ; p. 403 (1966) 岩波書店
- 34) 田口玄一, “実験計画法, 上”, p. 309 ; p. 595 (1966) 丸善
- 35) 日本繊維機械学会, “基礎繊維工学, 繊維および繊維集合体”, p. 158 (1965) 日本繊維機械学会