

エンシレージの化学的成分と品質に関する研究

酸含量と品質について(2)*

須藤 浩

Studies on the Chemical Composition and the Quality of Silage.

On the Acid Content and the Quality (2)

Hiroshi SUTOH

(Laboratory of Nutrition and Food, Faculty of Education,
University of Kagoshima, Japan)

I. 緒 言

著者はさきに品質鑑定の観点から実験室エンシレージについて pH 値と有機酸含量との相関を求めたが⁽¹⁾, 本報においてはサイロで製造された各種のエンシレージの分析結果を試料として, pH 値と乳酸含量, pH 値と乳酸の総酸に対する比率, pH 値と酪酸の総酸に対する比率, 乳酸含量と酪酸含量間に存する相関を求めた結果について記述する。

統計的処理についてはさきに述べた方法に従った⁽²⁾。

II. pH 値と乳酸含量との相関

全国より集めた試料(茎葉, さつまいも, いもぬか, 蚕渣エンシレージを含む) 101 点について, pH 値と乳酸含量との相関関係を求めた結果は, $r = -0.625$; $p\{|T| > 8.179\} < 0.001$ となつて有意であつた。

尙茎葉類エンシレージにおける関係は次の通りである。

Table 1. Correlation between pH Value and Lactic Acid Content (Stems and Leaves Silage; Fresh; pH Value 3.6 to 5.3)

pH	Lactic acid (%)	Lactic acid (%)										Frequency
		0~0.20	0.20~0.40	0.40~0.60	0.60~0.80	0.80~1.00	1.00~1.20	1.20~1.40	1.40~1.60	1.60~1.80	1.80~2.00	
3.6							1	1	1	3		6
3.7								1	1	3		5
3.8				1		1	1	1	2		1	7
3.9								3	2			5
4.0						2	1	1		1		5
4.1		1			1	2		3	1		2	10
4.2		1			2	1		1				5
4.3				2	1	1						4
4.4	1											1
4.5					1							1
4.6			1	2	1							4
4.7			2	1				1				4
4.8	3			1								4
4.9	1	1										2
5.0												0
5.1												0
5.2												0
5.3	1	1										2
Frequency	6	7	7	6	7	3	11	7	7	4		65

* エンシレージの生化学的研究 第16報, エンシレージに関する研究第17報。

$r = -0.777$; $P \{ |T| > 9.797 \} < 0.001$

尙上記試料のうち pH 値 5.3 のものを除き、3.6~4.9 の範囲に属するものを乾物に対する含量に換算して求めるときは、

$r = -0.729$; $P \{ |T| > 8.249 \} < 0.001$ となつた。

また pH 値と乳酸含量との相関を青刈とうもろこし（及びそれを主とするものを含む）エンシレージ（試料 27）について求めると、

新鮮物値に対し、 $r = -0.869$; $P \{ |T| > 8.782 \} < 0.001$

乾物換算値に対し、 $r = -0.697$; $P \{ |T| > 4.861 \} < 0.001$

であつた。

故に有意で本質的に相関があると結論し得る。

エンシレージの品質は酸含量の絶対量よりも各酸含量相互の比率が重要な要素であると考えられるものもある⁽³⁾。それ故総酸に対する乳酸、酢酸、酪酸の比を求め、それを 100 分比であらわした乳酸の数と pH 値との関係を求めた結果は次表の通りである。

Table 2. Correlation between pH Value and Ratio of Lactic acid Content to Total Acid Content (Stems and Leaves Silage; pH Value 3.6 to 5.6)

Ratio of Lactic acid pH	Ratio of Lactic acid															Frequency
	6~12	12~18	18~24	24~30	30~36	36~42	42~48	48~54	54~60	60~66	66~72	72~78	78~84	84~90	90~96	
3.6 ~ 3.8												2	7	2		11
3.8 ~ 4.0								1			3	1	4	2	1	12
4.0 ~ 4.2					1		2		2	3	3	2	3			16
4.2 ~ 4.4					1	1		3		1	1	1				8
4.4 ~ 4.6		1					1									2
4.6 ~ 4.8	1	2	2	2		1								1		9
4.8 ~ 5.0	2		2		1											5
5.0 ~ 5.2																0
5.2 ~ 5.4									1	1						2
5.4 ~ 5.6								1								1
Frequency	3	3	4	2	3	2	3	5	3	5	7	6	14	5	1	66

$r = -0.701$; $P \{ |T| > 7.864 \} < 0.001$

となつて有意である。

従つて本質的に相関があり、総酸に対し乳酸の占める比率が大きいときは品質が一般に良好であるとみなし得る。

前三者の相関の度を総合して、エンシレージの遊離乳酸含量が増すに従つて、pH 値が小になると結論し得る。

III. pH 値と酪酸含量との相関

エンシレージの製造に当り酪酸醱酵の起ることの好ましからざることとは周知のことである。著者が pH 値 3.5~7.0 の範囲における 116 点の試料（草一茎葉類、蚕渣、さつまいも、いもぬかエンシレージ等を含む）について、その相関関係を求めた結果は、

$$r=0.301 ; P \{ |T| > 3.370 \} < 0.01$$

となつて本質的に正の相関のあることを認めた。次に草類すなわち茎葉類エンシレージについてその関係を求めれば次の諸表の通りである。

Table 3. Correlation between pH Value and Butyric acid Content
(Fresh, pH Value 3.6 to 4.9)

pH	Butyric acid (%)										Frequency
	0.00~ 0.13	0.13~ 0.26	0.26~ 0.39	0.39~ 0.52	0.52~ 0.65	0.65~ 0.78	0.78~ 0.91	0.91~ 1.04	1.04~ 1.17	1.17~ 1.30	
3.6	6										6
3.7	2	2		1							5
3.8	7										7
3.9	3	2									5
4.0	3		1		1						5
4.1	4	4			2						10
4.2	1	2	1	1							5
4.3	1	1	1	1							4
4.4					1						1
4.5		1									1
4.6	1						1			1	3
4.7	1			2					1		4
4.8			1			1	1				3
4.9					1					1	2
Frequency	29	12	4	5	5	1	2	0	1	2	61

$$r=0.657 ; P \{ |T| > 6.699 \} < 0.001$$

Table 4. Correlation between pH Value and Butyric acid Content
(On the dry basis ; pH Value 3.6 to 4.9)

pH	Butyric Acid (%)										Frequency
	0.00~ 0.90	0.90~ 1.80	1.80~ 2.70	2.70~ 3.60	3.60~ 4.50	4.50~ 5.40	5.40~ 6.30	6.30~ 7.20	7.20~ 8.10	8.10~ 9.00	
3.6	6										6
3.7	2	3									5
3.8	7										7
3.9	5										5
4.0	3	1		1							5
4.1	6	2	1	1							10
4.2	2	3		1							5
4.3	1	2		1							4
4.4				1							1
4.5	1										1
4.6	1						1			1	3
4.7	1		1	1	1						4
4.8		1			2						3
4.9				1			1				2
Frequency	35	12	2	6	3	0	2	0	0	1	61

$$r=0.624, P \{ |T| > 6.134 \} < 0.001$$

故に有意で、本質的に相関がある。

次に pH 値と酪酸の総酸に対する比率との相関を求めた結果は次表の通りである。

Table 5. Correlation between pH Value and Ratio of Butyric acid Content to Total acid Content (Stems and Leaves Silage, pH Value 3.6 to 5.6)

Ratio of Butyric acid \ pH	3.6~ 3.8	3.8~ 4.0	4.0~ 4.2	4.2~ 4.4	4.4~ 4.6	4.6~ 4.8	4.8~ 5.0	5.0~ 5.2	5.2~ 5.4	5.4~ 5.6	Frequency
0 ~ 5	8	10	3	2		1					24
5 ~ 10	2		6	2		1					11
10 ~ 15		2	1		1						4
15 ~ 20	1		1	1				1			4
20 ~ 25			2	2					1		4
25 ~ 30			3	1		2		1	1		8
30 ~ 35											0
35 ~ 40											0
40 ~ 45						1	2				3
45 ~ 50						2					2
50 ~ 55						1	1				2
55 ~ 60							1				1
60 ~ 65							1				1
65 ~ 70											0
70 ~ 75					1						1
75 ~ 80						1					1
Frequency	11	12	16	8	2	9	5	0	2	1	66

$r=0.659$; $P\{|T|>7.009\} < 0.001$

これらの結果から pH 値とエンシレージの酪酸含量との間には有意な正の相関が存在し、pH 値が大となるに従って酪酸含量が大になると結論し得る。

IV. pH 値と総酸との相関

pH 値と総酸との間には如何なる関係があるかを知るため、その相関を検定した結果は次表の通りである。但し乳酸は遊離量のみを含めたものである。

Table 6. Correlation between pH Value and Total acid Content (Stems and Leaves Silage, pH Value 3.6 to 5.8)

pH \ Total acid%	0.1~ 0.4	0.4~ 0.7	0.7~ 1.0	1.0~ 1.3	1.3~ 1.6	1.6~ 1.9	1.9~ 2.2	2.2~ 2.5	2.5~ 2.8	2.8~ 3.1	3.1~ 3.4	3.4~ 3.7	Frequency
3.6 ~ 3.8					2	2	5	1	1				11
3.8 ~ 4.0			1	1	1	5	1	2	1				12
4.0 ~ 4.2				2	4	2	4	2		1			15
4.2 ~ 4.4		1	1	2	1	4							9
4.4 ~ 4.6			1			1							2
4.6 ~ 4.8			1		1	2	1	2			1	1	9
4.8 ~ 5.0		1		1	1		2						5
5.0 ~ 5.2													0
5.2 ~ 5.4	1	1											2
5.4 ~ 5.6			1										1
5.6 ~ 5.8	1		1										2
Frequency	2	3	6	6	10	16	13	7	2	1	1	1	68

$r=-0.396$; $P\{|T|>3.504\} < 0.001$

以上により pH 値と総酸の間には本質的に相関があり、pH 値の低下に伴って総酸は増加するが、pH 値と乳酸含量程大なる標識とはならないことが認められる。

V. 乳酸含量と酪酸含量との相関

以上 pH 値と乳酸含量, pH 値と酪酸含量間には何れも有意な相関が見出されたが, 乳酸含量と酪酸含量間には如何なる相関があるかを茎葉(草)類エンシレージについて求めた結果は次表の通りである。

Table 7. Correlation between Lactic acid Content and Butyric acid Content

Lactic acid (%)	Butyric acid (%)										Frequency
	0~0.3	0.3~0.6	0.6~0.9	0.9~1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2.1	2.1~2.4	2.4~2.7	2.7~3.0	
0.05 ~ 0.25	3		2		1		1				7
0.25 ~ 0.45	4	2	5		1		1	1		1	15
0.45 ~ 0.65	2	1	1		1						5
0.65 ~ 0.85	4										4
0.85 ~ 1.05	2	2		2							6
1.05 ~ 1.25	3	1			2	1					7
1.25 ~ 1.45	4	1	1			1					7
1.45 ~ 1.65	8						2				10
1.65 ~ 1.85	5	1									6
1.85 ~ 2.00	2										2
Frequency	37	8	9	2	5	2	4	1	0	1	69

$$r = -0.269 ; P \{ |T| > 2.286 \} < 0.05$$

更に酪酸含量の領域を 0~0.65 %迄として, その関係を求めると次表の通りである。

Table 8. Correlation between Lactic acid Content and Butyric acid Content (Butyric acid Content ; 0 to 0.65 Per cent)

Lactic acid (%)	Butyric acid (%)													Frequency
	0~0.05	0.05~0.10	0.10~0.15	0.15~0.20	0.20~0.25	0.25~0.30	0.30~0.35	0.35~0.40	0.40~0.45	0.45~0.50	0.45~0.55	0.55~0.60	0.60~0.65	
0.05 ~ 0.25		1		1		1							1	4
0.25 ~ 0.45	1		1		2				1				2	8
0.45 ~ 0.65	1					1	1							3
0.65 ~ 0.85		1	1	1	1									4
0.85 ~ 1.05		1	1					1						4
1.00 ~ 1.25					1	1						1		4
1.25 ~ 1.45	2		1		1							1		5
1.45 ~ 1.65	8													8
1.65 ~ 1.85	2	1		2					1					6
1.85 ~ 2.05	2													2
Frequency	16	5	4	4	5	3	1	0	3	0	1	3	3	48

$$r = -0.440 ; P \{ |T| > 3.323 \} < 0.01$$

なお草類エンシレージの乾物に対する乳酸含量との相関を求めると,

$$r = -0.395 ; P \{ |T| > 3.466 \} < 0.001$$

で, 乳酸含量の大なる状態では, 酪酸含量は小となるのである。

以上の結果を一括表示すれば次表の通りである。

Table 9. Correlations between pH Values and Contents of Several Organic acids of Silages

	Grass (Stems and Leaves) Silages Only		Grass Silages and Others		Notes
	Coefficient of Correlation	Significance	Coefficient of correlation	Significance	
pH Value and Lactic acid Content	-0.777	P<0.001	-0.635	P<0.001	Fresh
"	-0.729	P<0.001	—	—	pH 3.6 to 4.9 On the dry basis
pH Value and Ratio of Lactic Acid Content to Total acid Content	-0.701	P<0.001	—	—	pH Value 3.6 to 5.6
pH Value and Butyric acid Content	0.657	P<0.001	0.301	P<0.01	Fresh
"	0.624	P<0.001	—	—	On the dry basis
pH Value and Ratio of Butyric acid Content to Total acid Content	0.659	P<0.001	—	—	
pH Value and Total acid Content	-0.396	P<0.001	—	—	Fresh
pH Value and Lactic acid Content	-0.869	P<0.001	—	—	Green maize silages only
"	-0.697	P<0.001	—	—	On the dry basis
Lactic acid Content and Butyric acid Content	-0.269	P<0.05	—	—	Fresh
"	-0.395	P<0.001	—	—	On the dry basis
"	-0.440	P<0.01	—	—	Butyric acid Content, 0 to 0.65 percent

これらの結果は pH 値と乳酸含量間に強い負の相関があり、pH 値と酪酸含量間には正の相関があり、相関度は乳酸の場合より小さい事を示し、乳酸含量と酪酸含量間には負の相関があるが前二者の場合より有意水準が低いことを示すものである。

すなわち pH 値の測定によりエンシレージの醗酵の種類、有機酸の種類、延いては品質を知る指標となし得ることを認めさせるのである。

VI. 要 約

全国より集めた各種エンシレージ試料を分析した結果に基づいて、エンシレージの品質に最も関係の深い pH 値と各有機酸含量間に存在する相関を求めて、製造技術、品質鑑定に対する基礎的理論に資そうとした。その結果は次の如く要約された。

(1) エンシレージの pH 値と遊離乳酸含量との間には有意な負の相関があつた。すなわち乳酸含量が増加するにつれて pH 値は小となつた。

(2) pH 値と乳酸の総酸に対する比率との間には有意な負の相関が認められた。

(3) pH 値と酪酸含量との間には有意な正の相関があつた。その度は乳酸の場合より小さかつた。pH 値と酪酸の総酸に対する比率の間にも同じ相関があつた。

これらの事実は pH 値が埋蔵材料の醗酵の種類を支配する重要な因子であることを示すものである。(Aug. 31, 1955)

文 献

- (1) SUTOH, H. : *Bull. Educ. Research Institute, Fac. Education, Univ. Kagoshima*, 5, 166~172 (1953).
- (2) " : *Ibid.*, 6, 183~184 (1954).
- (3) FLIEG, O. : *Landw. Forsch.*, 3 (3), 169~176 (1952).

Summary

To find the fundamental principles of the techniques of silage-making the author has statistically investigated the relationship between the pH value and organic acid content in silage, on the basis of some data published in the previous paper.

The following are some of the results obtained:

- (1) A negative correlation, $r = -0.777$, was found between the pH value and the free lactic acid content of the fresh silage ($P < 0.001$).
- (2) A significant negative correlation, $r = -0.701$, was found between the pH value and the ratio of lactic acid content to the total acid content ($P < 0.001$).
- (3) A significant positive correlation, $r = 0.675$, was found between the pH value and butyric acid content and also the same relation was found between the pH value and the ratio of butyric acid content to the total acid content.
- (4) There was the significant negative correlation between the lactic acid content and the butyric acid content.