

# Sorghum植物에 있어서 Cyanogenic Glycosides의 合成 및 蓄積에 關한 研究

金正甲 · G. Voigtlaender\*

畜産試驗場

## Studies on Synthesis and Accumulation Pattern of Cyanogenic Glycosides in Sorghum Plants

Kim, J. G. and G. Voigtlaender

Livestock Experiment station, RDA s

### Summary

Phytotron and field experiments were conducted to determine the influence of morphological growth stage and environmental temperature on synthesis and accumulation pattern of cyanogenic glycosides in sorghum cv. Pioneer 931 and Sioux at Munich technical university from 1979 to 1980.

Various growth stages of sorghum plants were grown in phytotron at 4 different temperature regimes of 30/25, 25/20, 28/18 and 18/8 degree C with 35000 Lux over 13-h days.

The results obtained are summarized as follows:

1. Cyanogenic glycosides in sorghum plants were shown to have a great synthetic rate at early growth stages. The highest concentrations of hydrocyanic acid (HCN) were found at 2-leaf stage with 2384 and 1,800ppm (DM basis) for Pioneer 931 and Sioux respectively. The contents of HCN were, however decreased markedly as morphological development, which shows a value of 173ppm (Pioneer 931) and 70ppm (Sioux) at heading stages.
2. Changes of hydrocyanic acid in sorghum plants were positive correlated with leaf weight ratio and leaf area ratio ( $P \leq 0.1\%$ ), while plant height shows a negative correlation with HCN contents ( $P \leq 0.1\%$ ).
3. Cyanogenic glycosides were accumulated in young plants mainly in leaves. During the late maturities, the contents of HCN in leaves and stalks were shown, however, a similar distribution.
4. Synthesis rates of cyanogenic glycosides were increased under high temperature. Accumulated hydrocyanic acid in the plants was, however declined when temperature exceeded 30 degree C.
5. Synthesis rates of cyanogenic glycosides were affected by nitrogen reductase activity (NRA). The concentration of hydrocyanic acid in sorghum plants was associated with increasing of nitrate-N accumulation.

### I. 緒 論

Sorghum 및 sudangrass植物에는 cell-wall constituents 以外에도 Tannin 및 Cyanogenic glycosides의 蓄積이 높아 家畜嗜好性과 에너지 價値에 있어 옥수수 및 其他 禾穀類 飼料作物에 비해 크게 떨어진다(Conn, 1980; Duffy 및 Towers, 1978; Fribourg, 1976; Kim, 1982; Wall 및 Blessin, 1970)

Cyanogenic glycosides는 Cyan-Hemoglobin을 形成함으로써 家畜에게 有毒作用을 일으키게 되며 Steaehlin(1964) 등은 이때의 HCN 濃도가 750-1000ppm (DM. basis) 이상인 경우 家畜致死가 可能하다고 하였다(Fribourg, 1976; Reid 및 Jung, 1976; Owen 및 Moline, 1970).

Sorghum植物에서 Cyanogenic glycosides의 合成은 植物體 出現과 同時에 이루어져 HCN의 濃도는

\* 서독, 뮌헨大學校(Munich Technical University West Germany)

幼植物에서 높게 蓄積되나 그후 生育이 進行됨에 따라 急激히 減少한다(Eck 및 Hageman, 1974; James 및 Gray, 1975; Loyd 및 Gray, 1970). Cyanogenic glycosides의 合成은 品種 및 生育段階 以外에 環境要因에 依해 큰 影響을 받는데 一般의 高溫 및 乾燥下에서 이들 物質의 合成 및 蓄積이 助長된다(Harms 및 Tucker, 1973; Harrington, 1966; Gray, 1968; Reid 및 Jung, 1976; Teare 등, 1974). 한편 Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積은 植物體內的 NRA(nitrate reductase activity)의 活性와 相關이 있어 窒素質肥料가 NO<sub>3</sub> 및 HCN 蓄積을 助長하는데 反해 磷酸質肥料는 이들 合成을 抑制한다(Clark, 1979; Gillingham, 1969; Gorashi, 1980; Harms 및 Tucker, 1973).

本 研究에서는 sorghum類의 安全給與 方法에 關한 基礎資料를 얻고져 sorghum 및 sorghum×sudangrass hybrid를 供試材料로 하여 生育段階別로 環境溫度 및 栽培의 方法에 따른 Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積形態를 分析하였다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 圃場 및 Phytotron 試驗

本 試驗은 sorghum hybrid의 Pioneer 931과 sorghum×sudangrass hybrid의 Sioux品種을 供試材料로 하여 圃場 및 Phytotron 試驗으로 實施하였다. 播種 方法은 圃場試驗의 경우 25-50cm로 drill播種하였으며 施肥 및 其他 관리사항은 sorghum標準栽培法에 준하였다. Phytotron 試驗은 VOETSCH VK-ZPH-4-RO-S Phytotron을 使用하였으며 Phytotron의 晝/夜間 溫度는 30/25, 25/20, 28/18 및 18/8℃로 하였다. 溫度處理는 出現期, 4葉期, 6葉期 및 8葉期를 對象으로 21-42日間 實施하였다.

### 2. 化學分析

Cyanogenic glycosides 및 其他 成分分析을 위한 植物體 試料는 圃場試驗의 경우 出現直后 第1次 試料를 採取하고 그 后에는 3-5日 간격으로 試料를 採取 分析하였다. 한편 Phytotron 試驗에서는 各處理에서 公히 溫度處理 期間中 2-3日 간격으로 試料를 採取하였다. Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積은 HCN으로 測定하였으며 HCN 濃度分析은 Pulss(1964)에 依해 β-glucosidase와 Barbituric

acid를 利用하여 spectral photometer로 測定하였다.

## III. 結果 및 考察

### 1. 生育時期別 HCN의 合成 및 蓄積

Sorghum植物에서 Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積은 種子出現과 함께 本格的으로 이루어져 出現后 5-7日이 경과된 2葉期 前後에 가장 높은 濃度水準을 나타낸다. 이때의 HCN 濃度는 品種間에 差異가 있어 sorghum hybrid의 Pioneer 931이 2384ppm(乾物)인데 비해 sorghum×sudangrass hybrid의 Sioux 品種은 1800ppm으로 순수 sorghum 品種에서 Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積이 顯著하게 높다.

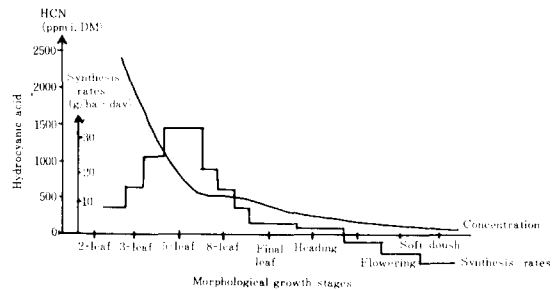


Fig. 1. Changes of concentration and synthesis rates of hydrocyanic acid at different morphological growth stages of sorghum hybrid cv. Pioneer 931

이와 같이 出現直后의 幼植物體에 多量 蓄積된 HCN 濃度는 그后 生育이 進行됨에 따라 빠른 速度로 減少되어 幼穗가 形成되는 6-7葉期植物에서는 각각 Pioneer 931品種 481ppm, Sioux品種 330ppm까지 減少된다. 生育期에 따른 HCN의 減少現象은 幼穗가 形成된 以后에도 繼續的으로 일어나 出穗期 前後에는 各各 97-141ppm(Pioneer 931) 및 63-81ppm(Sioux) 水準을 나타낸다.

Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積은 一次刈取后 再生되는 幼植物에서도 크게 이루어지나 一次生育에 비해 그 程度가 크게 떨어진다. 再生植物에서의 HCN 濃度는 刈取后 4-5日이 經過된 幼植物에서 各各 Pioneer 931 650-750ppm 및 Sioux 650ppm으로 가장 높은 濃度水準에 달한다. 그러나 이 같은 HCN의 높은 濃度는 一次生育에서와 같이 생

育이 進行됨에 따라 急激히 減少되어 草長生育 100-120cm에서는 各各 148~198ppm(Pioneer 931) 및 102-160ppm(Sioux)으로 減少된다.

Sorghum植物에서 Cyanogenic glycosides는 줄기보다 葉部位에 多量 蓄積된다. 그러나 이같은 傾向은 幼植物에서 크게 나타나며 植物體가 生長함에 따라 部位別 濃度差異가 減少되어 幼穗가 形成된 以後에는 葉과 줄기部位에 비슷하게 分布되어 있다.

이와같은 原因으로 植物體內에서의 HCN 濃度變化는 生育初期의 幼植物에서는 LWR(leaf weight ratio)變化和 높은 相關( $P \leq 0.1\%$ )이 있으나 植物體生育이 進行됨에 따라 이같은 關係는 弱화된다. Cyanogenic glycosides의 含量變化는 LWR 以外에도 LAR, Spec. LA 및 草長增加와 相關이 있으며 이들 Parameter中 特히 草長生育과 HCN 濃度間에는 높은 負(-)의 相關( $P \leq 0.1\%$ )이 있어 이들 物質의 合成 및 蓄積狀態를 豫測할 수 있는 가장 重要한 生長 Parameter가 된다.

$$\text{Sorghum hybrid : } Y = 1560 - 15.02 \times 0.0386 X^2 \quad (\text{Pioneer 931}) \quad r^2 = 0.86, n = 22$$

$$\text{Sorghum} \times \text{sudangrass : } Y = 1121 - 13.48X + 0.040X^2 \quad (\text{sioux}) \quad r^2 = 0.84, n = 22$$

$$Y = \text{HCN, ppm i. dry matter}$$

$$X = \text{plant height in cm}$$

以上の 關係式에서와 같이 幼植物에 높게 蓄積된 HCN 濃度は 草長이 增加함에 따라 反比例的으로 減少하여 草長生育 50-70cm 内外에서 家畜致死 限界濃度인 750ppm 以下로 떨어진다. HCN濃度は 그 以後에도 草長이 增加함에 따라 繼續的으로 減少되어 草長 100-120cm에서는 330-481ppm 内外로 下落된다.

## 2. Cyanogenic glycosides의 合成과 環境溫度

表 3은 溫度上昇에 따른 Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積狀態를 生育段階別로 表示한 것이다. HCN의 合成量은 各處理에서 公히 溫度가 上昇됨

Table 1. Accumulation pattern of hydrocyanic acid and nitrate-N in sorghum plants cv. Pioneer 931 and Sioux

Morphological growth stages	HCN (ppm i. DM)			NO <sub>3</sub> (% i. DM)		
	Leaves	Stalks	Total plants	Leaves	Stalk	Total plants
<u>Pioneer 931</u>						
2-leaf stage	2397	2290	2384	0.88	3.66	1.23
3-leaf stage	1105	1194	1121	1.26	4.86	1.89
5-leaf stage	691	1176	771	1.16	4.28	1.68
8-leaf stage	413	639	481	0.76	3.86	1.69
Final leaf	423	201	277	0.34	1.44	1.08
Heading	150	181	173	0.08	0.88	0.67
Flowering	106	118	115	0.08	0.92	0.70
Soft dough	98	99	99	0.08	0.94	0.72
<u>Sioux</u>						
2-leaf stage	1813	1659	1798	0.96	4.04	1.27
3-leaf stage	1045	798	999	1.48	5.36	2.21
5-leaf stage	425	457	430	1.12	5.64	1.76
8-leaf stage	223	344	255	0.76	3.28	1.42
Final leaf	153	64	99	0.44	1.30	0.96
Heading	129	40	70	0.36	1.13	0.88
Flowering	25	31	30	0.20	0.79	0.65
Soft dough	20	25	24	0.18	0.81	0.63

**Table 2. Regression coefficients between hydrocyanic acid concentration and analytical growth parameters of sorghum cv. Pioneer 931 and Sioux**

Growth parameter	Pioneer 931			Sioux		
	K	b	r <sup>2</sup>	K	b	r <sup>2</sup>
Plant height	836.3	-4.02	0.795	1257.8	-5.28	0.810
Leaf area	635.6	-0.01	0.312	1033.5	-0.01	0.366
Spec. Leaf area	-213.2	1.75	0.308	340.9	2.90	0.523
Leaf area ratio	-78.2	2.18	0.515	-51.6	3.15	0.694
Leaf weight ratio	-305.5	1227.10	0.755	-422.3	1888.00	0.715
NAR	303.7	-106.10	ns	546.3	-290.88	ns
Abs. Gr	459.8	-17.23	ns	742.6	22.73	ns
RGR	216.7	1.88	0.199	388.5	2.83	ns

K=constants ns=none significant, n=44

P=5% : r<sup>2</sup>=0.181 P=1% : r<sup>2</sup>=0.287 P=0.1% : r<sup>2</sup>=0.430

에 따라 比例的으로 增加한다. 그러나 이같은 合成量의 增加에도 植物體內에 蓄積되는 HCN의 濃度는 高温下에서 急激히 減少되는데 이는 同期間中 cell-wall constituents를 포함한 乾物收量의 急增으로 因하여 稀釈의 效果(Verdunnungseffekt)가 크게 나타나기 때문이다(Kim, 1982).

Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積에 미치는 溫度의 影響은 이들 物質의 合成이 旺盛하게 일어나는 幼植物에서 크게 나타나며 이같은 溫度의 影

響은 植物體 生育이 進展됨에 따라 漸次的으로 減少한다.

Phytotron 試驗에서 出現直后의 幼植物을 30/25, 25/20 및 18/8℃의 溫度로 3週間 處理한 경우 植物體內의 HCN濃度는 各各 462ppm, 1125ppm 및 1307ppm으로 變化하여 높은 溫度條件에서 HCN濃度の 減少가 크게 일어난다. 이같은 溫度處理의 效果는 4葉期의 幼植物에서도 크게 나타나 植物體中의 HCN濃度는 處理前 915ppm에서 處理后에는 各各

**Table 3. Effect of environmental temperature on synthesis of hydrocyanic acid and nitrate accumulation (DM. basis) of sorghum cv. Pioneer 931 and Sioux**

Morphological growth stage	Temperature in °C (day/night)	Pioneer 931			Sioux		
		Dry matter (g/pot)	HCN (ppm)	NO <sub>3</sub> (%)	Dry matter (g/pot)	HCN (ppm)	NO <sub>3</sub> (%)
8-leaf stage	18/8	76.1	158	0.78	67.3	230	0.88
	25/20	91.8	95	0.42	90.0	120	0.34
	30/25	121.8	53	0.26	119.7	103	0.19
6-leaf stage	18/8	27.6	207	1.08	23.8	275	1.04
	25/20	36.8	163	1.48	35.0	180	1.62
	30/25	65.4	131	0.52	66.6	131	0.65
4-leaf stage	18/8	7.3	285	1.54	8.3	441	1.30
	25/20	9.5	225	2.30	10.3	356	2.36
	30/25	17.3	160	2.24	21.1	230	1.68
2-leaf stage	18/8	1.9	1307	1.48	1.8	1785	1.58
	25/20	3.3	1125	2.64	3.4	1270	1.96
	30/25	9.7	462	1.58	10.3	563	2.16

160ppm(30/25℃), 225ppm(25/20℃) 및 285ppm(18/8℃)로 變하였다. 이에 反해 幼穗가 形成된 8葉期植物의 경우 HCN濃度는 處現前 511ppm에서 溫度處理后에는 各各 53ppm(30/25℃), 95ppm(25/20℃) 및 158ppm(18/8℃)로 變하여 이들 生育時期가 4葉期 以前의 幼植物에 比하여 溫度의 影響을 적게 받는다.

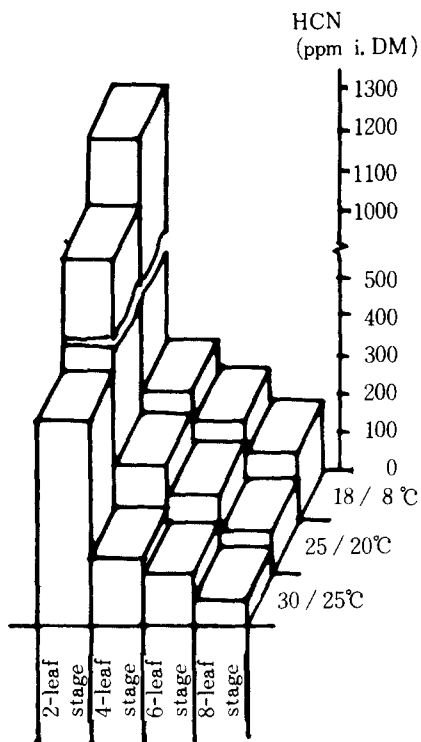


Fig. 2. Influence of environmental temperature on synthesis of hydrocyanic acid at different growth stages of sorghum cv. Pioneer 931

Cyanogenic glycosides의 合成은 以上の 環境溫度 以外에도 土壤 및 施肥方法에 依해 크게 달라진다. 特히 Cyanogenic glycosides의 合成은 窒素質肥料와 이에 관련된 NRA(nitrate reductase activity)에 依해 크게 좌우된다.

$$\text{Pioneer 931 : } Y = -225.3 + 469.09X$$

$$r^2 = 0.45, n = 22$$

$$\text{Sioux : } Y = -106.3 + 534.52X \quad r^2 = 0.52, n = 22$$

$$Y = \text{HCN\% i. DM}$$

$$X = \text{NO}_3\% \text{ i. DM}$$

위 關係式에서 보는바와 같이 植物體內的 HCN濃度와 窒酸態窒素와는 正(+의 相關이 있어 HCN濃度는 NO<sub>3</sub>의 蓄積이 增加함에 따라 比例的으로 增加한다. 그러나 이들 物質의 蓄積形態는 HCN이 葉과 줄기에 比속하게 分布되어 있는데 反해 NO<sub>3</sub>는 大部分이 줄기部位에 蓄積되어 있다. 이와같은 相關關係는 Phytotron 試驗에서도 같은 結果를 보여 環境溫度가 上昇됨에 따라 植物體內的 HCN 및 NO<sub>3</sub> 蓄積은 減少된다.

#### IV. 摘要

本 試驗은 sorghum植物에 있어서 Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積形態를 究明하기 위하여 sorghum hybrid의 Pioneer과 sorghum×sudangrass hybrid의 Sioux를 供試品種으로 하여 圃場 및 Phytotron試驗으로 實施하였다. Phytotron의 晝/夜間 溫度는 30/25, 25/20, 28/18 및 18/8℃로 하였으며 溫度處理는 出現期, 4葉期, 6葉期 및 8葉期를 對象으로 實施하였다. 1979-'80年間 얻어진 試驗結果를 要約하면 다음과 같다.

1. HCN의 合成 및 蓄積은 出現과 同時에 이루어져 出現后 5-7日이 경과된 2葉期植物에서 各各 Pioneer 931 2384ppm 및 Sioux 1798ppm으로 最高濃度水準에 달한다. 그러나 이들 含量은 生育이 進行됨에 따라 急激히 減少되어 出穗期에는 各各 173ppm 및 70ppm으로 下落된다.

2. 生育期間中 HCN의 濃度變化는 LWR 및 L-AR와는 正(+의 相關이, 草長生育과는 負(-의 相關(P≤0.1%)이 있다.

3. 植物體中 HCN 分布는 幼穗가 形成되기 以前의 幼植物에서는 葉部位에 多量 分布되어 있으나 幼穗形成期 以后에는 葉과 莖部位間 HCN濃度 差異가 크지 않다.

4. Cyanogenic glycosides의 合成은 溫度가 上昇됨에 따라 比例的으로 增加하나 植物體內的 HCN 蓄積은 高溫(30/25℃)에서 보다 低溫(18/8℃)에서 보다 크게 일어난다.

5. Cyanogenic glycosides의 合成 및 蓄積은 窒素質肥料 및 NRA의 影響을 크게 받으므로 sorghum 植物體內에서의 HCN濃度는 NO<sub>3</sub>蓄積과 높은 正(+의 相關이 있다.

## V. 引用文献

1. Clark, R.R., H.J. Gorz and F.A. Haskins. 1979. Effects of mineral element on hydrocyanic potential in sorghum seedlings. *Crop Sci.* 19:757-761.
2. Conn, E.E. 1980. Cyanogenic glycosides. Secondary plant products, Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York. 461-487.
3. Cummins, D.G. 1971. Relationship between tannin content and forage digestibility in sorghum. *Agron. J.* 63:500-502.
4. Eck, H.V. and R.H. Hageman. 1974. Nitrate reductase activity in sudangrass cultivars, *Crop Sci.* 14:283-287.
5. George, J.R., C.L. Rhykerd and C.H. Noller. 1971. Effect of light intensity, temperature, nitrogen and stage of growth on nitrate accumulation and dry matter production of a sorghum-sudangrass hybrid. *Agron. J.* 63:413-415.
6. Gillingham, J.T., M.M. Shirer, J.J. Starnes, N.R. Page and E.F. McClain, 1969. Relative occurrence of toxic concentrations of cyanide and nitrate in varieties of sudangrass and sorghum-sudangrass hybrids. *Agron. J.* 61:727-730.
7. Georgetti, A., M. Antongiovanni, B.M. Poli and O. Franci. 1977. Digestione in vitro delle sostanza secca e della sostanza organica di erbai di mais e di sorge sottoposti ad essiccazione e ad insilamento. *Zootecnica e Nutrizione Animale* 3: 255-261.
8. Gorashi, A.M., P.N. Drolson and J.M. Scholl. 1980. Effect of stage of growth, temperature, and N and P levels on the hydrocyanic acid potential of sorghums in the field and growth room. *Crop Sci.* 20:45-47.
9. Harbers, L.H. and M.L. Thouvenelle. 1980. Digestion of corn and sorghum silage observed by scanning electron microscopy. *J. Animal Sci.* 50:514-526.
10. Harms, C.L. and B.B. Tucker. 1973. Influence of nitrogen fertilization and other factors on yield, prussic acid, nitrate and total nitrogen concentrations of sudangrass cultivars. *Agron. J.* 65:21-26.
11. Harrington, J.D. 1966. Hydrocyanic acid content of Piper, Trudan I and six sorghum-sudangrass hybrids. *Pennsylvania Agr. Exp. Sta. Bull.* 735: 30.
12. Harris, H.B., D.G. Cummins and R.E. Rurns. 1970. Tannin content and digestibility of sorghum grain as influenced by bagging. *Agron. J.* 62: 633-635.
13. Kim, J.G. 1982. Ertrags-und Stoffbildung einiger Sorten von Sorghum-Sudangras, Hybrid-Sorghum und Silomais in Abhaengigkeit von Anbau-massnahmen und Temperaturbedingungen. Diss. Munich Technical University.
14. Martin, J.H. 1970. History and classification of sorghum. *Sorghum production and utilization.* The AVI Pub. Comp. USA: 145-148.
15. McCarty, G., E. Gray, E.R. Ship and L.D. Brown. 1971. Effects of emsiling on the hydrocyanic acid potential of sorghum plants. *Agron. J.* 63: 402-403.
16. Pulls, G. 1962. Untersuchungen zur Isolierung und Bestimmung von Blau saere in pflanzlichem Material. *Z. analyt. Chem.* 190:402.
17. Rabas, D.L., A.R. Schmid and G.C. Martem. 1970. Relationship of chemical composition and morphological characteristics to palatability in sudangrass and sorghum-sudangrass hybrids. *Agron. J.* 62:763-763.
18. Reid, R.L. and Jung, G.A. 1976. Forage-Animal stresses. *Forages. The Science of Grassland Agriculture* (third edition). The Iowa State Univ. Press, Ames, Iowa. 649-650.
19. Schaffert, R.E., V.L. Lechtenberg, D.L. Oswald, J.D. Axtell, R.C. Pickett and C.L. Rhykerd. 1974. Effect of tannin on in vitro dry matter and protein disappearance in sorghum grain. *Crop Sci.* 14:640-643.
20. Teare, I.D., R.H. Manam and E.T. Kanemasu. 1974. Diurnal and seasonal trends in nitrate reductase activity in field grown sorghum plants. *Agron. J.* 66:733-736.
21. Wright, M.J. and K.L. Davison. 1964. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Adv. Agron.* 16:197-247.