

トウモロコシの栄養生理学的研究(第4報)

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	田中, 明 山口, 淳一 山神, 正弘
巻/号	41巻9号
掲載ページ	p. 363-368
発行年月	1970年9月

トウモロコシの栄養生理学的研究(第4報)

栽植密度反応とその品種間差異*

田中 明**・山口淳一**・山神正弘***

先報において、窒素施与量と、栽植密度の影響を調査し、300kg/haN、25cm×25cmまでの範囲では密植多肥で子実収量が増加することを明らかにした。本報告では、十分な施肥を行なって養分が生育の制限因子とならぬ条件下で、より広範な栽植密度に対する反応を調査した。なお、栽植密度反応の品種間差異を検討するために特性を異にする2品種を試験に供した。

トウモロコシの栽植密度反応については多くの実験結果が報告されており、原則として、地力が高い場合には最適栽植密度が高いことが報告されている^{1,2)}。WILLIAMS³⁾はいわゆる群落構造と、単位圃場面積当たりの乾物生産速度との関係を研究し、群落の受けた太陽ふく射エネルギーが乾物生産速度の主要決定因子であることを明らかにした。さらに彼らの供試品種では、48,700個体/haで最高収量が得られ、より密植になると子実収量が低下すると述べ、その理由として、疎植では全乾物生産量が子実収量と正に相関するが、密植ではこの相関が逆転し、抽糸期における糖の不足のために稔実歩合が悪化し収量が低下するとした。

栽植密度反応の品種間差異についても、いくつかの報告⁴⁾があるが、その栄養生理的理由づけはほとんどなされていない。

実験方法

実験計画および圃場管理法

本試験には下記の北海道における標準中性の2品種を供試した。

複交8号(F-8と省略):デントコーン、ほとんど分けつせず。

ゴールドデン・クロス・パンダム(GCBと省略):スイートコーン、分けつ力大きい。

これら2品種を10cm×10cm、15cm×15cm、20cm×20cm、30cm×30cm、40cm×40cm、50cm×50cm、60cm×60cm、100cm×100cm(これらを以後10区、15区、……100区と呼ぶ)の9段階の栽植密度で1株2粒ずつ1968年5月10日に播種し、6月20日に1本立に

* 本報告は昭和44年4月土肥学会春季大会で発表した。

** 北海道大学農学部

*** 現在北海道立天北農業試験場
昭和44年11月14日受理

日本土壤肥科学雑誌 第41巻 第9号(1970)

間引きした。なお各区は二反復ずつ作った。

この試験は第3報と同一の北海道大学農場の圃場で行ない、播種前に硫酸、過石、硫加をN、P₂O₅、K₂Oとしてそれぞれ200kg/haを全面施肥し、さらに、7月3日に50kg/haNを硫酸で追肥した。生育期間中、除草、害虫防除などは常法にしたがい完全に実施した。

7月29日に至り、10区および15区は完全に倒伏したので放棄した。さらに20区、25区、も倒伏のおそれがあったので、株間に針金を張って倒伏を防止した。

調査および分析方法

生育期間中第1表に示されている時期に試料を採取した。採取個体数は各反復につき試料No.(1)では6個体、No.(2)では10区、15区で50個体、20~30区で6個体、No.Iでは10区で9個体、15区~100区で6個体、No.II以下では各区共6個体ずつとした。なお収量調査は少なくとも30個体以上について行なった。

乾物重、葉面積指数、透光率等の測定は前報⁵⁾に準じた。窒素はmicro-Kjeldahl法、リンはFiske-Subbarow法、加里は炎光法、石灰・苦土は原子吸光法により定量した。糖の定量は乾燥粉末試料を80%アルコールで抽出し、アルコールを蒸発後一定容量としてより除蛋白し、anthrone法によった。

第1表 試料採取日およびその生育段階

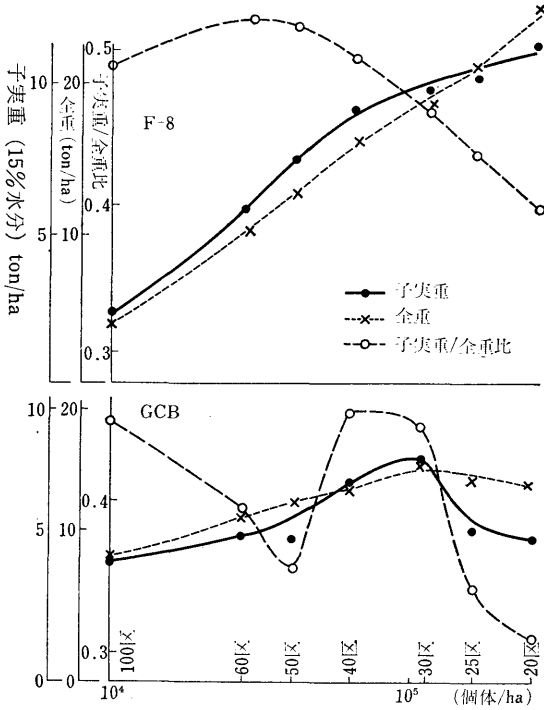
試料 No.	月 日	播種後 日 数	生 育 段 階
(1)	6・29	50	(10区、15区のみ)
I	7・12, 13	63	幼穂形成期
(2)	7・29	80	(10~30区のみ)
II	8・9, 10	91	絹糸抽出期*
III	9・5, 6	118	乳熟期
IV	10・5, 6	148	収穫期

* 絹糸抽出期はGCBがF-8より3~5日遅れた。また密植区で植区より1週間程度早く、この差はF-8で大きかった。

実験結果

収穫期の子実重・全重

子実重はF-8では疎植より密植へと増加し、その増加は40区までは直線的であるが、より密植になると、上昇速度は低下した(第1図)。最高収量は20区で得られ、11.7ton/haであった。GCBでは、100区でF-8より高い収量であったが、栽植密度の増加にともなう収量の増加はF-8よりゆるやかで、60区ではF-8を下回り、30区の7.4ton/haを頂点として、より密植で低下した。



第 1 図 栽植密度の変化にともなう子実重, 全重および子実重/全重比の変化

収穫期の全乾物重は両品種とも密植になるにしたがって増加した。その増加は F-8 の方が GCB より顕著であった。最大全重は F-8 で 20 区における 25 ton/ha, GCB では 30 区における 14 ton/ha であった。

子実重/全重比は F-8 では疎植で 0.5 であり 50 区より密植で低下した。GCB では 100 区で 0.45 であり, 50 区へと低下し, 40 区, 30 区で高く, さらに密植になると再び低下した。

収量構成要素

単位面積当たりの収量を, 単位面積当たりの穂数, 平均一穂粒数および千粒重に解析した(第 2 表)。穂数は疎植より密植へと増加し, この増加は F-8 で GCB より明

第 2 表 収量構成要素

区 名	20	25	30	40	50	60	100
F-8							
穂 数/m ²	20.3	13.4	11.0	6.31	4.04	3.00	1.24
一穂粒数	296	362	395	605	671	670	619
千粒重 (g)	194	213	226	243	278	298	299
G C B							
穂 数/m ²	17.5	12.1	12.2	8.13	7.26	6.36	5.15
一穂粒数	156	216	283	365	273	330	339
千粒重 (g)	178	195	213	226	234	231	230

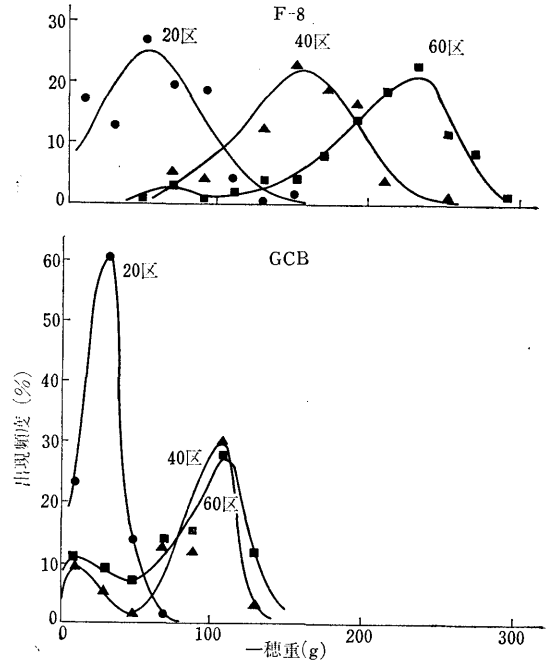
第 3 表 穂数構成要素および一穂平均重

区 名	20	25	30	40	50	60	100
個 体 数/m ²	25.0	16.0	11.1	6.25	4.00	2.78	1.00
F-8							
茎 数/個 体	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	1.10
有効茎数/個体	0.81	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
主 稈 穂 数*	0.81	0.84	1.00	1.00	1.01	1.08	1.24
分けつ穂数*/個体	0	0	0	0	0	0	0
平均穂重 (g)	58.4	74.5	92.6	152	190	206	195
G C B							
茎 数/個 体	1.00	1.00	1.00	1.92	2.92	3.88	5.34
有効茎数/個体	0.70	0.76	1.00	1.00	1.37	1.54	3.37
主 稈 穂 数*	0.70	0.76	1.00	1.12	1.79	2.00	2.62
分けつ穂数*/個体	0	0	0	0	0.38	0.54	2.37
平均穂重 (g)	29.1	42.3	61.7	96.8	72.3	82.3	80.5

* まったく穂実粒のない穂は除いた。

瞭であった。すなわち, 100 区では GCB が F-8 より多いが 20 区ではこの関係は逆転した。一穂粒数は 100 区~50 区では大きな変化を示さず, より密植で減少した。F-8 は GCB より同一栽植密度では粒数が多かった。千粒重は両品種とも 100 区~50 区ではほとんど一定に保たれ, より密植で低下し, F-8 は GCB より大きかった。

単位面積当たり穂数はまず第一に単位面積当たりの個体数に支配される。つぎに個体については, 主稈の穂数と分けつにつく穂数に支配される(第 3 表)。主稈穂数は, F-8 では疎植でも 1 個以上の穂をつけた個体はほと



第 2 図 穂重の分布曲線

んどなかったが、GCB では 100 区で主稈に 3 個の穂をつけ、疎植より密植へと減少した。一方密植の 20 区お

よび 25 区では不稔個体が認められ、その割合は GCB で高かった。F-8 はほとんど分けつしなかったが、GCB では 100 区で個体茎数が 5 本以上であり、密植になるにつれて減少した。分けつにつく穂は F-8 では全くなかったが、GCB では疎植区ではかなり認められた。

平均穂重（第3表）は疎植より密植へと低下し、同一栽植密度では F-8 で GCB より大きかった。平均穂重の内容（第2図）をみると、F-8 では大体正規分布を示し、分布の山の位置が疎植より密植へと低下した。GCB の密植では位置の低い正規分布の型を示すが、一穂以上がつく疎植区では、正規分布を示さず、大きな穂と小さな穂に分離していた。

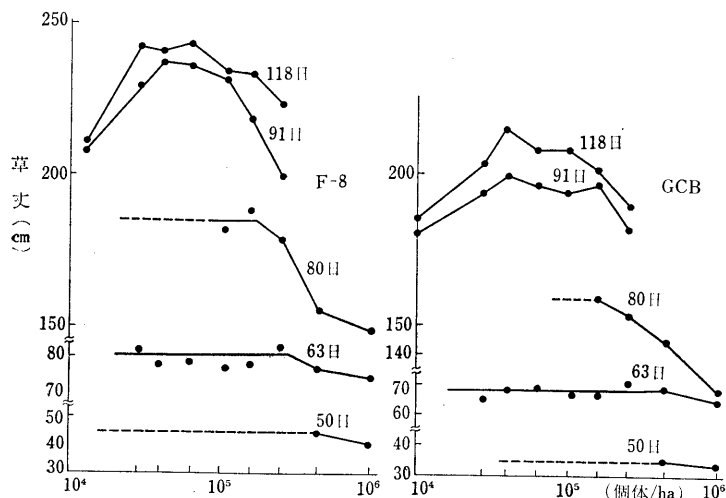
生育経過

草丈（第3図）：F-8 は GCB より大であり、播種後 63 日頃より 10 区、15 区では他区より草丈が低く、91 日目後においては 20 区、25 区、および 100 区は 30 区～60 区より低かった。

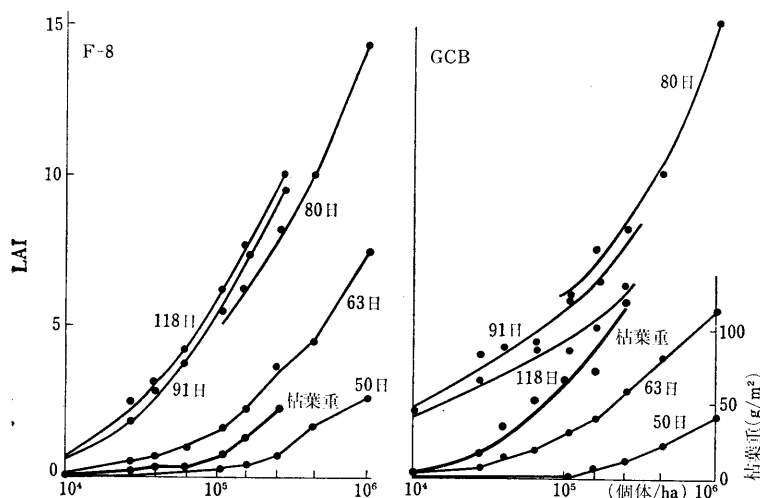
葉面積指数 (LAI) (第4図)：密植区で大きく、疎植となるにしたがって低下した。10 区では 80 日目に両品種とも 15 程度の高い値となったが倒伏した。抽糸期 (91 日目) までは 20 区では両品種間に大差はなかったが、より疎植区では GCB が F-8 より大きい値であった。乳熟期には、F-8 では抽糸期とはほぼ類似の値を保っていたが、GCB では密植区において低下が認められた。乳熟期における枯葉重（第4図）は、密植区で大きく、特に GCB で大きな値に達した。

透光率（第5図）：生育とともに低下し、播種後 100 日頃を最低として、その後やや上昇した。疎植より密植へと低下し、同一栽植密度では、GCB の方が F-8 より低い値であった。

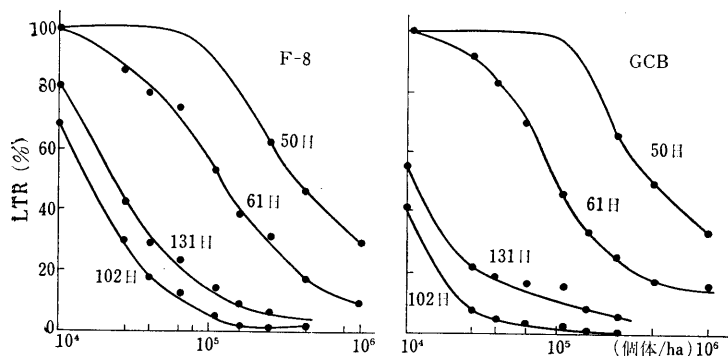
乾物増加速度 (CGR) (第6図)：抽糸期の播種後 91 日目までは両品種とも、



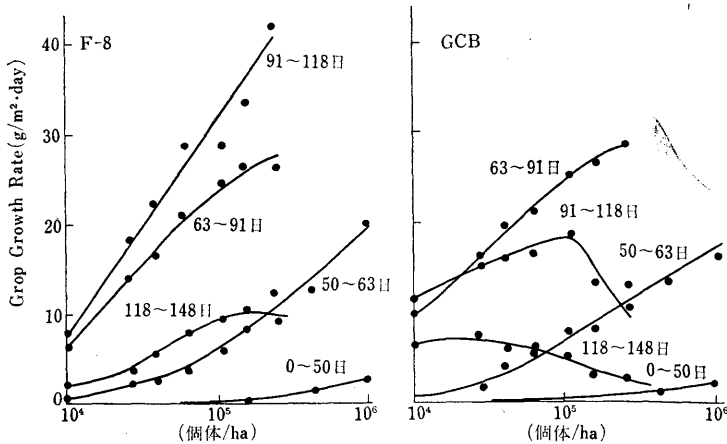
第3図 生育各時期における栽植密度と草丈との関係 (図中の数字は播種後日数, 第4図以後も同じ)



第4図 生育各時期における栽植密度と葉面積指数の関係



第5図 生育各時期における栽植密度と透光率 (LTR) との関係



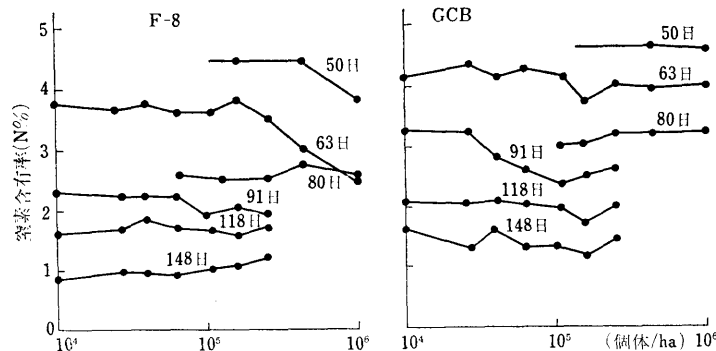
第 6 図 生育各時期における栽植密度と Crop Growth Rate との関係

密植区で大きな値を示し、生育とともに増大した。抽糸期後は、品種間差が明瞭となり、F-8 ではそれ以前と同様な傾向が認められたが、GCB では前期より低下し、また30区を山として、より密植区で低下した。さらに乳熟期より収穫期にかけては、両品種とも、前期より低い値であったが、前期と同様F-8では密植ほど大きな値であったが、GCBでは疎植で大きく、密植区へと低下した。

葉稈窒素含有率(第7図)：生育初期に高く、生育とともに低下した。同一生育時期で比較すると GCB が F-8

第 4 表 生育各期の葉稈の糖含有率 (乾物 Glucose %)

区名	F-8			GCB		
	7月 12日	8月 19日	10月 6日	7月 12日	8月 19日	10月 6日
10	6.0			5.6		
15	4.1			6.4		
20	3.6	12.2	15.4	5.0	6.6	6.1
25	2.0	13.0	10.6	5.6	8.8	7.0
30	2.8	9.2	4.0	4.8	10.6	6.0
40	4.5	9.2	6.2	4.0	4.0	4.4
50	2.8	9.2	3.4	3.8	4.0	7.0
60	2.0	9.4	7.7	3.4	3.6	9.1
100	1.4	9.4	4.8	3.6	5.0	8.2



第 7 図 生育各時期における栽植密度と窒素含有率との関係

より高い含有率であった。播種後63日目のF-8では10区、15区では他区に比べて低い含有率を示した。抽糸期のGCBでは疎植区で密植区より高い値であった。なお抽糸期の葉稈の窒素以外の要素の含有率も測定したが栽植密度間に一定の傾向は認められなかった。

糖含有率(第4表)：抽糸期にほかの生育期より高い値であり、ある栽植密度で最高の値を示し、より密植でも、より疎植でも低い値を示した。最高値はF-8では20区~25区で、GCBでは30区で認められた。

要素吸収量 (第5表)

収穫期の窒素吸収量は密植区の方が疎植区より多く、密植区ではF-8が、また疎植区ではGCBが多かった。リンその他の要素についても同様な傾向が認められた。

第 5 表 要素吸収量 (kg/ha)*

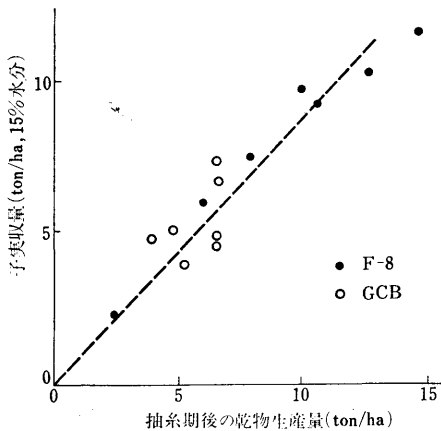
区名	N	P	K	Ca	Mg
F-8					
20	375	40	290	19.4	31.8
25	279	33	249	13.3	24.0
30	250	29	240	11.6	20.1
40	238	28	193	10.3	16.9
50	209	24	155	6.8	13.8
60	157	23	129	6.9	11.5
100	57	10	37	2.2	4.4
GCB					
20	251	26	346	12.6	25.2
25	210	24	244	12.8	23.2
30	254	27	271	12.9	23.9
40	219	24	251	9.5	19.6
50	246	25	236	8.8	20.6
60	176	19	191	7.6	16.1
100	122	14	108	5.1	10.9

* 乳熟期の値であるが収穫期とほとんど類似の値であった。

ただし、加里については密植区でもGCBの吸収量が多かった。

考 察

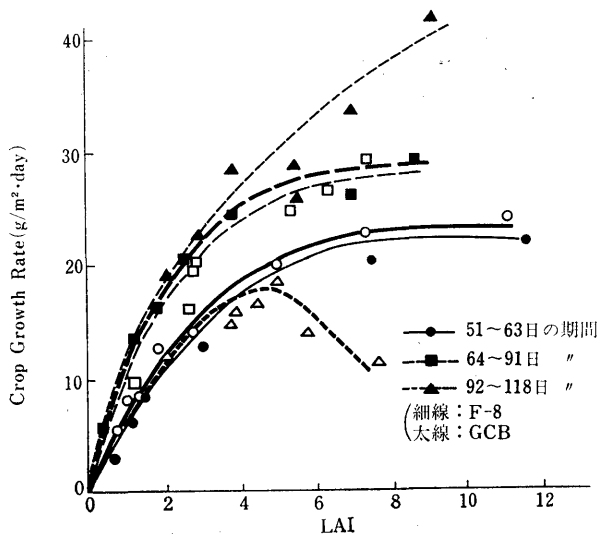
子実収量と抽糸期以後の乾物生産量との間には両品種を一括してみても高い正の相関が認められ(第8図)、前報^{5,6)}の結果と同様子実収量は、抽糸期以後の乾物生産量に支配されるとみることができる。F-8の20区で11.7ton/haという高い子実収量をあげたが、これはこの区が抽糸期以後に高い乾物生産をあげた結果



第8図 抽糸期後の乾物生産量と子実収量との関係

である。

生育各時期の葉面積指数とCGRとの関係(第9図)をみると、抽糸期(91日)までは両品種間に差が認められず、LAIの増加でCGRは上昇し、同一LAIではCGRは生育とともに上昇した。抽糸期以後ではF-8では、最適LAIが認められず、葉面積の増加でCGRが上昇しているのに対し、GCBではLAIが4~5の所に最適があり、これ以上でCGRが低下した。CGRがF-8では生育とともに上昇したが、これは日射量や気温の変化によ



第9図 生育各時期の葉面積指数とCrop Growth Rateの関係

各期の気象条件

期 間	平均気温 (°C)	日射量 gcal/cm ² ·da
51~63日 (6月30日~7月12日)	17.3	476
64~91日 (7月13日~8月9日)	22.9	376
92~118日 (8月10日~9月5日)	19.2	328

って説明されず、葉の葉位による光合成能力の差によるものと思われる。

GCBで抽糸期以後CGRの低下が認められ最適LAIが4~5であったが、これまでの報告⁷⁾でも子実収量と抽糸期のLAIはLAI=3.3までは直線関係にあり、それ以上では関係が認められなくなるといわれており、この実験におけるGCBの結果と類似している。

以上のことから、少なくとも生育初期には乾物生産能力に品種間差異が認められないが、抽糸期以後では品種間差が顕著に現われ、F-8でGCBより高く維持された。このことがF-8の高い収量性と結びつくと考えられる。

抽雄期以後、雄穂によるしゃへいのために光合成が低下するといわれているが、その割合は密植の場合でも20%程度と推定されており⁸⁾、抽糸期以後の上記の品種間差異を雄穂のしゃへいの品種間差異によって説明することはできない。

同一LAIにおけるCGRの品種間差の原因として、草型の相違と、単位葉面積当たりの潜在光合成力の相違の両者が考えられる。草型を表現する指数として吸光係数(K)を用いると、抽糸期まではほとんど品種間差が認められなかった。しかし、乳熟期においては、たとえば20区と40区についてはF-8では、0.33と0.44であり、GCBでは0.53と0.66であり、受光体勢はF-8の方がよかったと考えられる。しかし、これのみによって上記の大きな品種間差のすべての説明をすることはできず、単位葉面積当たりの光合成力がGCBで抽糸期以後急に低下し、これが特に密植区で著しかったと考えねばならない。

GCBの密植区では乳熟期に下葉の枯れ上がりが著しかった。このことは葉の機能が低下し、光合成力も低下していたことを示すものかも知れない。

抽糸期についてみると、密植区において、窒素含有率がやや低い傾向にあり、特にGCBにおいて、その傾向が著しかった。しかし、これらの区でも2.5%N程度であり、特に低いとは考えられない。さらに窒素以外の要素についてもこれらの区で異常であったとは考えられない。

抽糸期の糖含有率はF-8でGCBより高く、またF-8では20~25区で、GCBでは30区で最高であった。このことは、これらの区でそれぞれ最高収量が得られたことと何らかの関係があるとも考えられる。

草丈は、密植や疎植で低く、中間の栽植密度で高い傾向が両品種で認められた。疎植より密植へと高くなる原因としては、相互しゃへいが考えられる。

一方、密植区で低い理由としては、要素不足もその可能性として完全に捨てることはできないが、同化産物の不足もその一因として考えることができよう。

いずれにしても、抽糸期以後 GCB において、CGR が著しく低下する原因の本質を究明することが栽植密度反応の品種間差を究明する手掛りを与えるものと考えられる。

収量構成要素の解析において、疎植の場合、GCB で主稈に一つ以上の穂がつき、また分けつにも穂がついたが、これらが必ずしも高収量と結びつかず、たとえば 50 区においては、多数の穂がついたが、これらが十分に充実せず、穂数の増加が弱穂の増加となって現われた。

千粒重は両品種とも 100 区より 50 区まではほぼ一定に保たれ、これらの区の値がそれぞれの品種特有の最大値と考えられる。より密植になるにしたがって低下したことから判断すると、密植になると、単位面積当りの子実数の増加は起こるが、これを十分充実させるほど抽糸期以後に乾物生産が起こらなかったと解することもできる。

しかし、F-8 については収穫期に茎葉の糖含有率は密植区において高かったことは上記の考え方と矛盾するものであり子実収量の解析に当たり同化産物に対する穂の sink としての大きさと、葉の乾物生産潜在能力との相対的支配力が問題として残る。

密植区における不稔個体の発生については分けつ力のある GCB が分けつをしない F-8 より多かったが、おそらく抽糸期までの個体間の競争によるものと考えられる。一穂型と二穂型を比較した報告によると密植の場合には一穂型の方に不稔個体が多く発生し、二穂型が密植に適するといわれる。また、前報⁶⁾の結果では D403×D405 が OH 43×OH 45 に比べて疎植では主稈に 2 個の稔実穂を生じた個体が多く、密植にしても不稔個体の発生が少なかったのであって、主稈の穂数が多い品種が有利である可能性もある。

以上多くの将来の研究課題が残されているが、F-8 では密植によって、抽糸期に LAI=9 という高い値で、高い CGR を維持し、約 12ton/ha の収量をあげたことは、トウモロコシの高い生産性を示すものであり、これは、単位葉面積当たりの高い乾物生産能によっていると見ることができる。なお、この高い収量を実現するためには多量の要素吸収を必要とすることは当然である。

一般にトウモロコシは密植多肥により高収量をあげ得るといわれているが、GCB のごとき品種ではある限度以上の栽植密度で LAI が最適を越え、減収となるのであって、水稻の場合と同様密植多肥に適した品種を選抜することが絶対多収を得る道であることを示す。

なお、F-8 は分けつ力が弱く、一個体に一穂しかつ

ない性質を持っており、この性質を直接その高収性と結びつけるのは早計ではあろうが、GCB のように分けつ力強い性質は、決して、密植多肥で高収量を得るためには有利な性質ではないと考えることもできよう。

要 約

北海道における標準中性品種、複交 8 号 (F-8) (デントコーン、分けつせず) およびゴールデン・クロス・パンタム (GCB) (スイートコーン、分けつ力強し) を多肥条件下に 10cm×10cm より 1m×1m の間の段階的な栽植密度で生育させ、これらの栽植密度反応の調査を行ない、下記の結果を得た。

(1) 両品種とも 15cm×15cm より密植では、栄養生長期に LAI が 15 にも達し倒伏した。

(2) 20cm×20cm より疎植の範囲では最適栽植密度は F-8 では 20cm×20cm、GCB では 30cm×30cm であり、最高収量はそれぞれ 11.7ton/ha および 7.4ton/ha と大きな品種間差があった。

(3) GCB の単位葉面積当たり乾物生産力が密植区で抽糸期以後急低下したことが上記の品種間差の重要な原因の一つと考えられる。この結果から判断して絶対多収をあげるためには、大きな LAI で、抽糸期以後も高い乾物生産力を保つ品種を選抜することが望ましい。

(4) 分けつ力の強い GCB は密植で不稔個体の発生が多かった。このことから分けつ力の強い品種で絶対多収を得ることは困難であると推論した。しかし、この点に関して最終的結論を下すには、乾物生産における葉の潜在乾物生産能力と生長点の sink の大きさの相対的意義を解明する必要がある。

文 献

- 1) LANG, A. L., PENDOLTON, J. W. and GUNGAN, G. H.: *Agron. J.*, 48, 284 (1958)
- 2) OKUBO, J. and IWATA, F.: A New Technique for High Yield Maize Culture in Japan. Symposium on Maize Production in Southeast Asia Agr. Forest and Fish Research Council Japan (1968)
- 3) WILLIAMS, W. A., LOOMIS, R. S., DUNCAN, W. G., DOVRAT, A. and NUNEZ, F. A.: *Crop Sci.*, 8, 303 (1968)
- 4) DUNCAN, E. R.: *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 18, 437 (1953)
- 5) 田中 明・石塚喜明: 土肥誌, 40, 113 (1969)
- 6) 田中 明・山口淳一・藤田耕之輔: 土肥誌, 40, 498 (1969)
- 7) EIK, K. and HANWAY, J. J.: *Agron. J.*, 58, 16, (1966)
- 8) DUNCAN, W. G., WILLIAMS, W. A. and LOOMIS, R. S.: *Crop Sci.*, 7, 37 (1967)
- 9) RUSSELL, W. A.: *Crop Sci.*, 8, 244 (1968)