

シンポジウム「不良栽培環境下における粗飼料生産の問題点と対策」

4. 北限地帯におけるサイレージ用 トウモロコシの生育特性と栽培法

吉良 賢二 (北見農試)

草地酪農地帯である北限地帯におけるサイレージ用トウモロコシは、草地更新時に栽培される作物として位置づけられている。最近の厳しい酪農情勢は、このような北限地帯のトウモロコシ栽培に対しても、高エネルギーを有する良質な自給粗飼料として、高い栄養生産性の安定的な確保を要求し、しかも、低コストでの栽培を前提条件としている。このため、北限地帯におけるサイレージ用トウモロコシは、後述するような不良な気象条件下で栽培されるため、①低温発芽性、低温生長性など耐冷・耐湿性に優れた早生品種であること¹⁾、②合理的な正しい肥培管理の下で栽培されること、の二点が要求される。本報では、後者すなわち不良気象条件下における生育特性に立脚した栽培法について検討する。なお、根釧および天北地方の気象条件は、全世界のトウモロコシ栽培地帯の中でも最も寒冷な不良条件地帯であり、活用できる試験成績は非常に少ない。このため、道立根釧農試における試験成績を中心に論議を進めることにした。

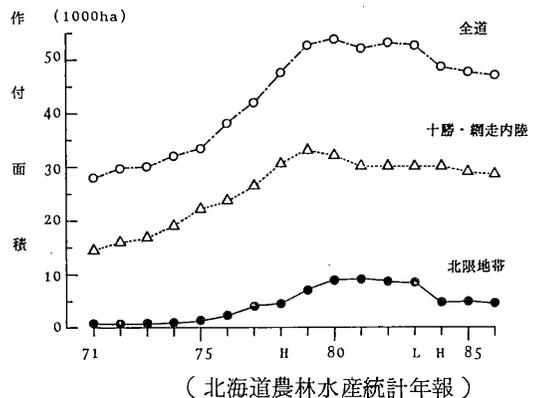
1. 北限地帯におけるサイレージ用トウモロコシの概要

熱帯原産のC₄作物であるトウモロコシを北海道において栽培する場合、その生育を支配する最大の要因は温度条件であることがほとんどである。そこで、北限地帯を「農耕期間(5月から9月まで)の温度条件として、積算気温が2,300°C以下の地帯」と考えることにする。この北限地帯には、根釧および天北地方のほぼ全域、網走北部の紋別地方、十勝地方の山麓・沿海部の地域が該当する。

北限地帯(根釧+宗谷+紋別地方)のサイレージ用トウモロコシの作付面積は、第1図に示したように、昭和56年に最大面積約9,000haに達し、全道の17%を占めた。しかし、昭和58年の冷害年の翌49年の栽培面積は前年対比55%と激減し、その後横ばい状態に推移している。昭和61年現在の作付面積は、全道栽培面積46,800haの約10%に当たる4,600haである。

トウモロコシの収量性についての地域間差異をみるため、根釧、十勝および北見の各農試の昭和50~62年の13年間の収量を主に作況報告の成績から比較した。

第1表に示したように、根釧の乾物総量は963Kg/10aで、十勝対比98%とほぼ同水準であるが、CV%が25.5%と大きく、不安定である。また、雌穂重割合が低く、乾物率が25.8%と低く、品質面で明らかに劣っている。次に、根釧農試におけるトウモロコシの収量性を牧草作況(チモシーとアカクローバとの混播。2年目および3年目採草地の平均値)の年間乾物収量と比較した。牧草の平均収量は956Kg/10aで、



第1図 サイレージ用トウモロコシの作付面積の年次推移

両者の収量はほぼ同一水準であったが、牧草のCV%は10.5%で、トウモロコシより安定している。一般に牧草収量は造成後2~3年目採草地の生産性が最大であるが、この採草地との収量比較では、トウモロコシの収量性はほぼ牧草並で、安定性は牧草より劣ることを示した。しかし、これを温度条件の関連からみると、第2図に示したように、6月から9月の積算気温の平年値1946℃を境界として平年値以上の温度条件の年にはトウモロコシの収量が牧草収量より上回ることを明確に示した。

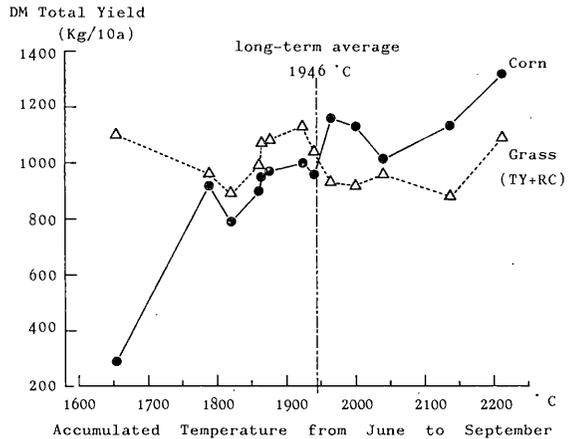
2. 北限地帯（中標津）における気象条件

これからの論議の中心となる中標津における農耕期間の気象条件の特徴は、第2表に示したように、①5月から9月の積算気温は2235℃で、帯広の87%と低温である。②春の温度上昇が遅く、日平均気温が10℃以上に上昇する時期は5月下旬で、帯広より2旬遅い。③晩霜日は5月27日で、帯広より2週間程度遅い。④降水量は帯広より26%多く、多湿な土壌条件である。

第1表 道東各農試におけるトウモロコシおよび牧草作況の収量比較（1975年~87年13年間平均）

	作物名	トウモロコシ			牧草	
		形質\農試	十勝	北見	根釧	根釧
平均値 (Kg/10a)	乾物総重		985	1188	963	957
	乾物雑種重		551	587	472	--
	乾物率(%)		31.3	26.3	25.8	--
CV%	乾物総重		14.9	12.1	25.5	10.5
	乾物雑種重		16.6	17.2	42.6	--
	乾物率(%)		13.5	13.4	23.5	--

- 注) 1. トウモロコシの供試品種は各農試とも「ワセホマレ」。
- 2. トウモロコシに対する堆肥施用量 (t/10a)
十勝: なし、北見: 2t、根釧: 4t。
- 3. 牧草は採草型(チモシ+アサカハ)2年目と3年目草地の平均。



第2図 温度条件（6月~9月の積算温度）からみたトウモロコシと牧草との収量比較

(注) 牧草収量は各年とも2年目または3年目草地のうち最大値の収量を選んで比較した。

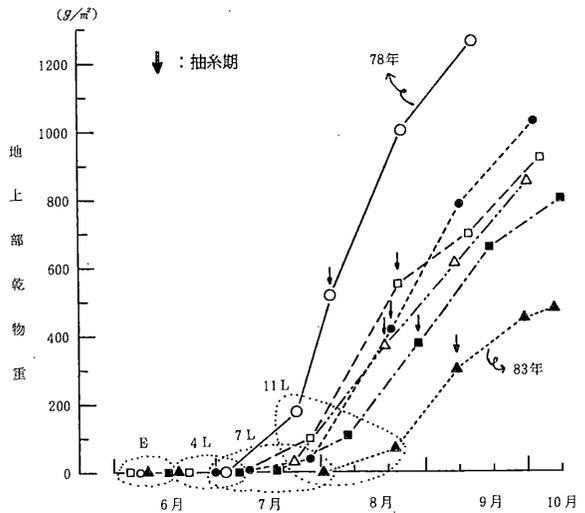
第2表 気象条件の地域間差異

気象要因\地域	札幌	帯広	訓子府	中標津
積算気温(°C)(5月~9月)	2735	2563	2398	2235
日平均気温が10℃以上になる旬	5月上旬	5月上旬	5月中旬	5月下旬
日平均気温が15℃以上になる旬	6月上旬	6月中旬	6月下旬	7月中旬
晩霜日	4月24日	5月11日	5月25日	5月27日
初霜日	10月12日	10月4日	10月5日	10月6日
日照時間(hrs)(5月~9月合計)	1047	923	1130	1046
降水量(mm)(5月~9月合計)	510	573	456	724

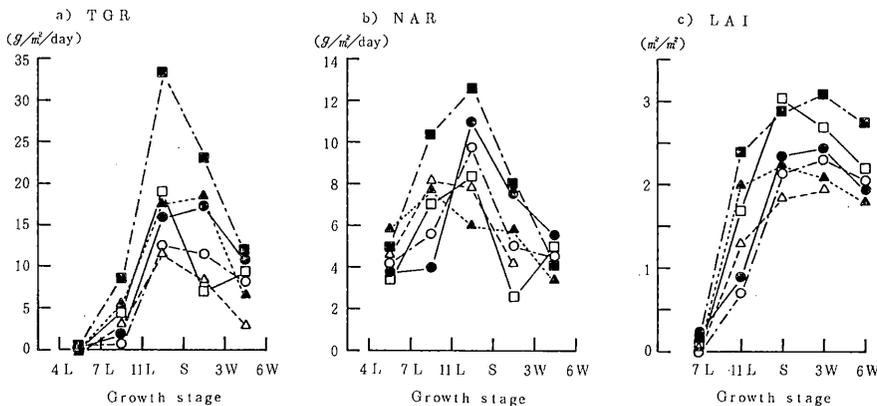
(農業気象10年報:昭和41年~50年)

3. 北限地帯におけるトウモロコシの乾物生産特性^{2), 3)}

第3図に示した地上部乾物重の推移に見られるように、根釧地方におけるトウモロコシの生育は、年次間差異が大きく、暦日によって生育期間を区分すると、植物体の age に大きな差を生ずる。このため、栄養生長期間の生育期間を出葉期によって区分し、絹糸抽出期（抽糸期）後3週間を登熟期間前半、その後3週間を登熟期間後半とした。生育ステージの進展に伴う、地上部乾物増加速度（Top growth rate, TGR）、純同化率（NAR）および葉面積指数（LAI）の推移を第4図に示した。生育特性を把握するため、TGRを中心に検討した。TGRの推移は、出芽期から7葉期まで漸増し、7葉期以降急速に増加し、抽糸期前後に最大となった。その後減少し、登熟期間後半になると急速に低下した。次に、各生育期間のTGRの支配要因を検討した。初期生育期間のTGRは、第3表に示したように、葉面積増加速度および根部乾物増加速度と密接な関係が認められた。これは栽植密度5,800本/10aで得られた結果であるが、栽植密度、肥料やけ回避および根部の生育促進のための施肥法など栽培管理技術に改善の余地があることを示唆した。第4表に示したTGRとLAIおよびNARとの関係を見ると、7葉期までの初期生育期間のTGRはLAIにだけに支配された。7葉期以降になると、TGRはLAIとNARの両者に支配されるようになり、抽糸期以降登熟期間になると、TGRはNARだけに支配された。このように、7葉期までの生育初期は葉面積が絶対的に不足している。しかし、生育の進展と共に、葉面積が次第に確保されるようになり、登熟期間へと生育段階が進むと、隣接個体との相互遮蔽や葉の光合成能力の低下を生じることを示した。これは、例えば密植にした場合、生育前半の乾物生産に



第3図 地上部乾物重の推移についての年次間差異
(注) 試験期間：1978年～83年
供試品種：ワセホマレ
播種期：5月下旬



第4図 地上部乾物増加速度（TGR）、純同化率（NAR）および葉面積指数（LAI）の推移についての年次間差異
(注) 試験期間：1978年～83年、播種期：5月下旬、栽植密度：5,800本/10a

は有利であるが、生育後半には不利となり、必ずしも生産性の向上に結びつかないことを示唆した。

4. 乾物生産と気象要因

TGRに関わる気象要因の影響について検討するため、第5表に示したように、各生育期間のTGRと各種気象要因との間の相関係数を求めた。出芽期から4葉期の極く初期の期間のTGRに対しては、日中の温度上昇と日照が大きく担っていることを示した。7葉期以降の各生育期間のTGRと気象要因との関係について、まず温度に関して、各温度要因は各生育期間とも高い正の相関が認められた。中でもとくに日最高気温と密接な関係を示し、登熟期間も日中の温度上昇が乾物生産に大きく関わっていることを示した。次に、日照との関係について、日照時間は11葉期以降の生育中期から登熟期間にかけて正の相関が認められた。日射量は日照時間よりも高い正の相関を示し、とくに登熟期間になると、TGRと日射量との密接な関係は顕著となった。日長条件が短くな

って行く中で、日射量が生育後半の乾物生産に大きく関与していることを示した。なお、11葉期までの生育初期のTGRは日射量と正の相関を示さなかった。これは、第4表に示されているように、生育初期の

第3表 初期生育期間における地上部乾物増加速度(TGR)と葉面積増加速度(LER)および根部乾物増加速度(Root-GR)との相関係数

生育期間	E ~ 4 L	4 ~ 7 L	7 ~ 11 L
TGR vs LER	0.92***	0.95***	0.98***
TGR vs Root-GR	0.93***	0.85***	0.92***

(注) Sample数: 16. E: 発芽期、L: 葉期。
供試品種: ワセホマレ、試験期間: 1978~83年。

第4表 地上部乾物増加速度(TGR)とLAI, NARとの相関係数

生育期間	E~4L	4L~7L	7L~11L	11L~S	S~3W	3W~6W
TGR vs LAI	0.66**	0.61*	0.95***	0.71**	0.31NS	0.45NS
TGR vs NAR	0.47	0.50	0.89***	0.56*	0.87***	0.88***

Note. Sample No.: 16, 供試品種: ワセホマレ, 試験期間: 1978年~83年
E: 発芽期, L: 葉期, S: 抽糸期, W: 抽糸期後週間数

第5表 各生育期間の乾物増加速度(TGR)と気象要因との相関係数

要因\期間	E~4L	4~7L	7~11L	11L~S	S~3W	3~6W
日平均気温	0.91***	0.45	0.77***	0.70**	0.81***	0.83***
日最高気温	0.90***	0.41	0.73**	0.71**	0.92***	0.83***
日最低気温	0.57*	0.45	0.79***	0.70**	0.51*	0.75***
日照時間	0.68**	0.26	0.46	0.61*	0.66**	0.50*
日射量	0.59	0.41	0.34	0.78**	0.92***	0.91***
降水量	0.05	0.03	-0.22	-0.33	0.08	0.20
日平均風速	0.21	0.11	0.52*	0.62*	0.18	-0.56*

(注) 1. 供試品種および試験期間: ワセホマレ (1978年~83年)
2. Sample数: 16. ただし、日射量はn=10。
3. E: 発芽期、L: 葉期、S: 抽糸期、W: 週数。

段階では葉面積の絶対量が不足しており、太陽エネルギーが効率よく利用されなかったことを示唆した。降水量との関係については、全生育期間とも相関関係は認められず、負の関係がうかがえる程度にとどまった。日平均風速との関係については、7葉期から抽糸期にかけての生育中期に正の相関が認められた。この期間は、冷たいオホーツク高気圧の影響が停滞するよりも、むしろ移動性高気圧の影響下で、風が強くても晴天の方が好条件であることを示しているものと推察された。しかし、登熟期間後半における強い風は、群落内の温度低下を助長し、葉身の損傷をもたらすため、乾物生産に対して不利な要因となるものと考えられる。

5. 収量および品質とTGRとの関係

まず、各収量構成要素および品質間の相互関係を検討するため、各形質間相互の相関を第6表に示した。乾物茎葉重は乾物総重に対してのみ正の相関を示した。これに対し、乾物雌穂重は、収量性を示す乾物総重、栄養生産性を示すTDN収量、品質を示す乾物率および雌穂重割合のいずれに対しても高い正の相関を示した。このように、乾物雌穂重は収量および品質の両面を大きく支配している。

次に、各収量および品質に関わるTGRの影響について検討するため、各生育期間のTGRと収量および品質の各形質との相関を第7表に示した。乾物茎葉重は7葉期から抽糸期までの栄養期間のTGRと密接な関係にあった。収量および品質を大きく支配する乾物雌穂重は、出芽期～4葉期の生育初期と登熟期間のTGRと高い正の相関関係が認められ、とくに、登熟期間前半のTGRとの関係が密接であった。その結果、乾物総重とTDN収量は、栄養生長期間後半、登熟期間および生育初期のTGRと高い正の相関関係を示し、とくに、登熟期間前半のTGRとの関係が密接であった。品質形質の乾物率、雌穂重割合

第6表 収量および品質の要素間の相関係数

	(2) 雌穂重	(3) 総重	(4) TDN	(5) 雌穂割合	(6) 乾物率
(1)乾物茎葉重	-0.18	0.56*	0.37	-0.45	-0.25
(2) " 雌穂重		0.72**	0.85***	0.91***	0.82***
(3) " 総重			0.98***	0.45	0.51*
(4)TDN収量				0.61*	0.64**
(5)雌穂重割合					0.89***

(n=16. 1978年～83年。供試品種：ワセホマレ。)

第7表 各生育期間の乾物増加速度(TGR)と収量、品質形質との相関係数

	E～4L	4～7L	7～11L	11L～S	S～3W	3～6W
乾物茎葉重	0.15	-0.10	0.76**	0.67*	0.41	0.20
" 雌穂重	0.85***	0.44	0.43	0.77**	0.95***	0.83***
" 総重	0.77**	0.34	0.62*	0.87***	0.94***	0.77**
TDN収量	0.80**	0.37	0.57*	0.85***	0.95***	0.78**
雌穂重割合	0.80**	0.53	0.14	0.45	0.76**	0.82**
総体乾物率	0.75**	0.32	-0.02	0.30	0.62*	0.76**
雌穂乾物率	0.83***	0.30	0.11	0.50	0.70**	0.90***

(注) 1. 供試品種および試験期間：ワセホマレ(1978年～83年)

2. E：発芽期、L：葉期、S：抽糸期、W：週数。

3. Sample数：13。

および子実の熟度を示す雌穂乾物率は、登熟期間および生育初期の TGR と高い正の相関を示し、とくに登熟期間後半の TGR との関係が密接であった。なお、4～7葉期の期間の TGR は、第5表の気象要因との関係と同様に、収量・品質との間に相関関係を示さなかった。これは、試験条件として4葉期に窒素 4 kg / 10 a を追肥しており、その追肥効果が気象条件や土壌水分状態などに影響され、肥料効果の発現に多様な差異を生じたためと推察された。また、7葉期頃は幼穂形成期に相当しており、植物体内のホルモンバランスの影響も関与していることも考えられる。逆説的に言えば、この4～7葉期の期間は、環境条件の影響を受けやすい時期であり、栽培上大きな意義をもつ期間とも考えられる。

以上のように、栄養生産性と品質を向上・安定させるためには、登熟期間の乾物生産性を増大させる栽培法の確立が重要である。それと同時に、品種の育種目標としては、耐すず紋病抵抗性や“Stay green”など登熟期間も活性のある緑葉を保持し、乾物生産性を高めることも重要になるものと考えられる。

6. 生育特性に立脚した合理的な栽培法

ここでは主として農家の栽培実態調査⁶⁾において、栽培上最も関心の高かった播種時期と栽植本数について取り上げる。

(1) 播種期が収量・品質に及ぼす影響⁴⁾

昭和50年代前半における播種期は5月下旬～6月上旬が一般的であった。これは春先の地温の上昇を待つことと晩霜害を回避するためであった。しかし、有効な種子消毒剤が利用されるようになり、地中で種子が腐敗したり、幼苗が立ち枯れを生じる心配はほとんどなくなった。そこで、播種期を5月中旬に早めることによって、登熟期間の乾物生産性の向上をはかることを5年間試みた。第8表に示したように、登熟期間の NAR および TGR は、最も早播きの5月中旬播種が最大で、晩播きほど小さくなり、とくに登熟期間後半で顕著であった。その結果、第9表に示したように、乾物雌穂重が早播きほど明確に多収となり、乾物総重および TDN 収量は早播きほど多収傾向を示した。品質に及ぼす早播きの有利性はさらに顕著で、乾物率、雌穂重割合とも明らかに早播きほど高く、熟度も進んだ。なお、晩霜害については、晩霜害を想定して行なった剪葉試験において、戸沢の報告⁷⁾と同様の結果が得られ、播種深度や施肥が適正であれば、たとえ強い晩霜害に遭遇して地上部が枯れても、やがて回復し、早播きによる有利性が示されることが確認された。

(2) 栽植密度が収量・品質に及ぼす影響⁵⁾

葉面積を早期に拡大させ、太陽エネルギーを有効に利用するため、栽植密度を高めることを5年間試みた。栽植密度が TGR、LAI および NAR の推移に及ぼす影響を第5図に示した。4,000本から10,000本/10 a に密度が高まるに伴って、栄養生長期間の TGR は増大した。しかし、登熟期間になると、隣接個体との相互遮蔽が激化し、葉の光合成能力も低下するため、密植ほど NAR の低下が著しくなり、TGR は急速

第8表 登熟期間の TGR, NAR に及ぼす播種期の影響

播種期	TGR		NAR	
	登熟期間前半	登熟期間後半	登熟期間前半	登熟期間後半
5月中旬播種	15.03	11.09	6.83	5.09
5月下旬 "	14.49	10.48	6.09	4.38
6月上旬 "	14.61	9.81	5.55	3.62

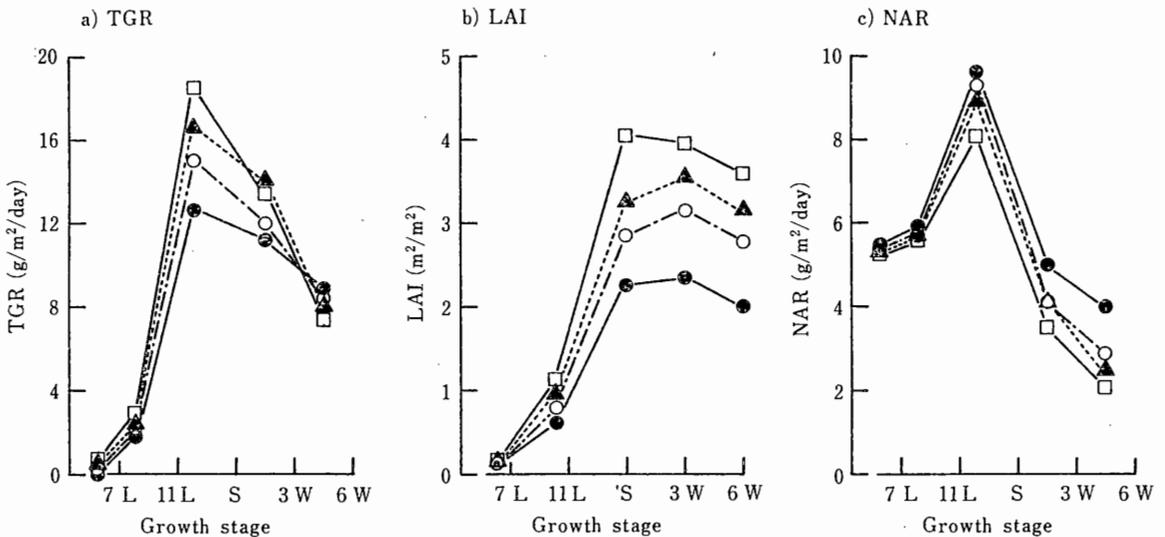
(注)供試品種および試験期間：ワセホマレ（1978年～82年の平均値）

第9表 播種期が収量および品質に及ぼす影響

播種期	乾物収量 (Kg/10a)			T D N 収量 (Kg/10a)	雌穂重 割合 (%)	総体の 乾物率 (%)	熟 度	雌穂の 乾物率 (%)
	茎葉重	雌穂重	総 重					
5月中旬播種	566	469 a	1035	728	45.4 a	26.2 a	黄中 a	42.2 a
5月下旬 "	583	425 ab	1008	701	42.0 b	24.2 ab	黄初~中 ab	39.3 a
6月上旬 "	593	390 b	983	677	39.3 b	22.4 b	黄初 b	35.9 b

[備考] 供試品種および試験期間：ワセホマレ (1978年~82年の5年平均)

に低下した。登熟期間のTGRを最大にする最適LAIは、第6図に示したように、各年ともほぼ3.0程度であり、3.0のLAIを維持するために必要な栽植密度7,300本/10a程度であった。栽植密度が生育、収量および品質に及ぼす影響について第10表に示した。5年間の成績をまとめると、①倒伏個体と不稔個体の発生率は密植ほど高くなった。②乾物茎葉重は密植ほど多収となった。しかし、乾物雌穂重は、密度間差異が小さいものの、7,300本~8,000本/10aの密度で多収となる傾向が認められた。③乾物総重およびTDN収量は密植ほど多収傾向にあったが、7,300本~8,000本/10aの密度区は10,000本/10aの最密植区とほぼ同程度の収量性を示した。④雌穂重割合、乾物率および熟度などの品質形質は疎植ほど高い傾向が認められたが、7,300本~8,000本/10aの密度区の品質は6,000本/10a区とほぼ同等であった。⑤乾物生産特性ならびに栄養生産性および品質面から7,300本/10a程度が最適栽植密度と判断された。



第5図 栽植密度が地上部乾物増加速度 (TGR)、純同化率 (NAR) および葉面積指数 (LAI) の推移に及ぼす影響 (1982年)

(記号) 栽植密度: ●—● 58000, ○---○ 73000, ▲.....▲ 88000, □——□ 103000 plants/ha

第10表 栽植密度が生育、収量および品質形質に及ぼす影響

栽植 密度 本/10a	抽糸期 8月 日	倒伏 個体率 (%)	不稔 個体率 (%)	乾物収量 (Kg/10a)			TDN 収量 (Kg/10a)	雌穂重 割合 (%)	総体の 乾物率 (%)	熟 度
				茎葉重	雌穂重	総 重				
4000	16 a	36	0.4 a	476 c	447	923 c	657 b	46.6 a	25.1	黄中 a
6000	16 ab	44	2.8 a	594 b	539	1134 b	805 a	45.5 a	24.7	黄初~中 ab
8000	17 ab	46	7.8 b	642 b	538	1180 ab	831 a	43.1 a	24.3	" b
10000	18 b	46	22.7 c	806 a	433	1241 a	837 a	33.2 b	23.9	黄初 c

〔備考〕 供試品種および試験期間：ワセホマレ（1978年～80年3年間平均）

(3) 施肥法についての問題点と対策

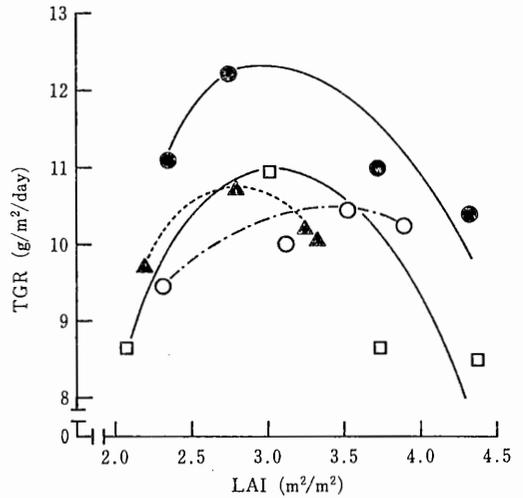
登熟期間の乾物生産を増大させるための施肥方法が検討されている^{8), 9)}。すなわち、登熟期間の気象条件をできる限り良好な条件とするため、抽糸期を早め、初期生育を向上させる施肥量、施肥法が必要である。

リン酸による初期生育への施用効果は、多くの報告と同様に、高いことが確認されている。すなわち、根釦地方は初期生育期間が低温条件となる場合が多く、しかも土壌のリン酸吸収係数の高い火山性土壌であるため、リン酸の初期生育および収量・品質への効果は顕著であった。

つぎに窒素施肥について、初期生育を向上させるための基肥窒素の多用は、肥料やけを誘起させる。しかも、肥料やけ障害は低温条件によって助長される。これは、窒素肥料による濃度障害によって根が障害を受け、根の伸長が阻害され、さらに、低い地温によって

正常な根の伸長も停滞する。このため、土壌水分が十分であるにも関わらず、植物体内への水分供給量が不足し、水分ストレスに陥るものと考えられる。すなわち、幼植物体の肥料やけの機作は、高温・乾燥条件下での水分ストレスと同様であるが、北限地帯では低温条件が助長要因として大きく関与している。したがって、北限地帯における窒素施肥法は、窒素の分施・追肥が基本的な技術になる。さらに、分施の時期とその施用量についても登熟期間の乾物生産性を増大する観点から検討した。その結果、基肥窒素は8 kg / 10 a程度とし、4 kg / 10 aを4葉期前後に追肥する方法が登熟期間前半の乾物生産性を最も増大させ、収量および品質を向上させることを明らかにした。

栽培技術の実態調査で明らかにされているように、北限地帯における基本的な施肥は、堆厩肥の有効利用を前提にして、土壌診断に基づいた十分なリン酸の基肥施用と基肥窒素量を8 kg / 10 aにとどめた窒素分施肥法を励行することであろう⁶⁾。



第6図 各試験年次における登熟期間の地上部乾物増加速度(TGR)と抽糸期後3週間目の葉面積指数(LAI)との関係
●—●—● 1979, □—□—□ 1980,
▲·····▲ 1981, ○- - -○ 1982.

引用文献および資料

- (1) 長谷川寿保(1985) 生態的地域区分とトウモロコシ品種の適応性, 北草研報 19: 20-26
- (2) 吉良 賢二(1983) 北限地帯におけるサイレージ用トウモロコシの生育および生産性に関する研究(第2報), 日作紀 52: 190-199
- (3) 吉良 賢二(1985) ————— (第3報), 日作紀 54: 47-53
- (4) 吉良 賢二(1981) ————— (第1報), 日作紀 50: 481-488
- (5) 吉良 賢二・白井 和栄(1987) ————— (第4報), 日作紀 56: 491-498
- (6) 吉良 賢二ら(1985) 根釧地方におけるサイレージ用トウモロコシの栽培技術の実態, 北草研報 19: 120-122
- (7) 戸沢 英男(1985) 寒地におけるホールクロップ・サイレージ用トウモロコシの安定多収への栽培改善と品種改良に関する研究。道農試報告 53: 24-31
- (8) 根釧農試作物科(1980) 根釧地方におけるサイレージ用とうもろこし導入試験, 北海道農業試験会議資料 1-54
- (9) 根釧農試作物科(1984) 道東地方におけるサイレージ用とうもろこしの生産性向上試験, 北海道農業試験会議資料 55-90