

飼料用トウモロコシの気象感応試験

酪農技術部 草地飼料研究室

小野晃一 前田綾子 菅沼京子

田澤倫子¹⁾ 星一美²⁾

¹⁾現畜産試験場

²⁾現南那須育成牧場

要 約

当試験場において3作期・5年間において飼料用トウモロコシ3品種(極早生・早生・中晩生)を作付け、気象と生育収量の関係を解析した。その中で県内作付の多い中晩生(32K61)について乾物収量の予測を試みた。乾物収量を茎葉部と子実部に分けた場合、茎葉部は折損・倒伏の被害が無ければ、ほぼ絹糸抽出期乾物重と同等であり、それに影響を与える気象要因としては生育盛期(絹糸抽出期30日前~10日前と仮定)の気温と日照時間の影響が大きいことが認められた。特に6月上旬播種においては、日照時間と絹糸抽出期乾物重との間に高い相関が認められた。

一方、子実乾物収量を決定する要因を検討するため、絹糸抽出期段階での生育要素と子実乾物収量との相関をとったところ、播種期が遅くなるほど各生育要素との相関が高まる傾向があり、特に葉面積、着穂高、乾物重で高い相関がみられた。

以上のことから、当地域の6月上旬播種飼料用トウモロコシは生育盛期の気象変動の影響を受けやすく、また絹糸抽出期段階で乾物収量が決定される可能性が高いことが示唆されたため、乾物収量と相関の高い生育要素(絹糸抽出期;葉面積、着穂高 絹糸抽出期20日後;葉面積、稈長)をパラメータとし、回帰による収量予測を試みた。その結果、5月中旬播種以降では、実測値と推定値との誤差はほぼ10%以下に収まる程度で予測された。

また、極早生・早生品種でも32K61と同様に、4月下旬播種での生育要素と乾物収量との相関が低く、収量と相関の高い生育要素もほぼ同様の傾向ではあるが、極早生品種となるほど絹糸抽出期段階での葉面積での相関は低くなる傾向があった。

目 的

本県は全国有数の酪農県であり、収量性に優れた高栄養価な粗飼料として飼料用トウモロコシの作付が多く、作付面積は平成16年で約4600haである。しかし、その収量は気象条件に左右され、異常気象の年は極端に減収する傾向がある。飼料用トウモロコシの収量性を安

定的に向上させるためには、気象変動に対応する生育予測とそれに基づいた栽培技術を確立することが重要である。また、生育の早い段階で収量が予測できれば、収穫後の飼料購入計画・作付計画等に迅速に反映させることができる。既に他県においても気象要因や稈径等の生

育要素から収量を予測する試みが行われている¹⁾²⁾³⁾が、本県においてもより簡易的な飼料用トウモロコシの収量予測を試みた。そこで、飼料用トウモロコシの生育と気象要因との関係を調査し、栽培管理の資料とするとともに、作況調査の一助とする。

材料及び方法

- 1) 実施場所：栃木県酪農試験場内ほ場
(表層多腐植質黒ボク土)
- 2) 調査年次：2000年～2004年
- 3) 供試品種：32K61 (RM122)
33G26 (118)
36A43 (102)
- 4) 播種期：4月25日、5月15日、
6月5日を基準に±2日
- 5) 施肥：N-P₂O₅-K₂O；1.0-1.0-1.0 kg/a
 熔りん 5 kg/10a
 苦土炭カル 10 kg/a
- 6) 栽植密度：畦間75cm×株間20cm
- 7) 試験区：13.5m²
(4.5m×3m)2反復
- 8) 調査時期：発芽期、発芽30日後、
 絹糸抽出期、絹糸抽出期20日後、
 黄熟期
- 9) 調査項目：稈長(草丈)、着穂高、葉色、
 葉面積、葉齡
 部位別乾物重、
 気温、降水量、日照時間

結果及び考察

1 試験期間5ヶ年の気象状況と飼料用トウモロコシ生育概況

(1) 2000年

気象経過；気温は5月中旬までは平年並みであったが、5月下旬以降は概して1～2高めに推移した。日射量も5月中旬・6月下旬は平年を下回ったが、それ以外の生育期間では平年よりも多かった。梅雨入りは6月9日、梅雨明けは7月17日頃(図1)。

生育概況；初期生育～絹糸抽出期までの気温が概して高く日射量も多かったので、初期生育が早く進展し、絹糸抽出期までの乾物生産量も比較的多かった。絹糸抽出期以降7月下旬～9月まで高温傾向が続き、特に登熟初期にあたる8月中下旬に降水量が少なかったことから、子実登熟の進展が早く、絹糸抽出期20日後以降の子実重増加の伸びは鈍化した(表1)。

図1

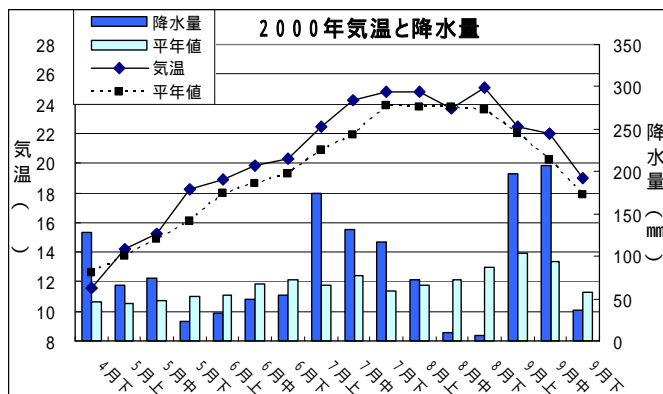


表1 2000年生育概況

播種時期	品種	発芽期	出芽率 (%)	絹糸抽出期	黄熟期	稈長		着穂高 (cm)	葉面積指数(LAI)			乾物重 (kg/10a)			生草収量 (kg/10a)	穂重割合 (%)
						絹抽	+20		絹抽	+20	減分	絹抽	+20	黄熟		
4/25	36A43	5/8	86.3	7/12	8/17	218	252	131	229	231	-2	835	1467	1835	4992	57
	33G26	5/8	88.6	7/17	8/21	261	273	141	269	252	17	1132	1918	1638	5034	53
	32K61	5/8	90.6	7/18	8/21	255	271	130	324	265	59	1207	1685	1909	6261	52
5/17	36A43	5/25	95.3	7/23	8/30	254	257	114	229	188	41	850	1447	1394	3180	64
	33G26	5/25	90.0	7/26	9/5	280	285	120	271	217	54	1163	1504	1591	4649	59
	32K61	5/25	94.4	7/29	9/5	283	287	114	294	247	47	991	1709	1829	5219	58
6/6	36A43	6/12	-	8/3	9/10	273	268	129	218	200	18	842	1318	1354	3013	64
	33G26	6/12	-	8/8	9/18	298	300	128	241	216	25	959	1595	1484	4244	62
	32K61	6/12	-	8/11	9/18	280	312	136	308	280	28	1054	1787	1753	5336	57

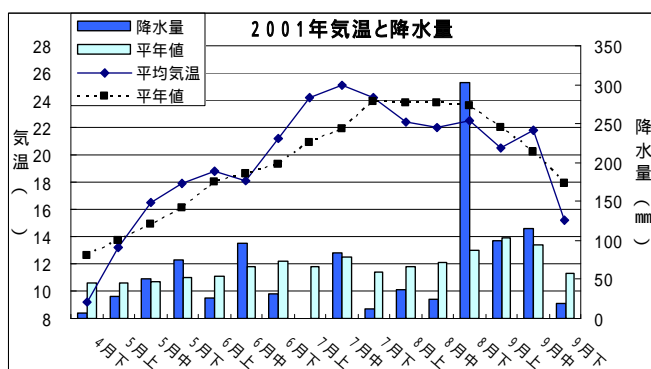
- は調査せず

(2) 2001年

気象経過；4月下旬から5月上旬までやや低温少雨傾向だったが、5月中旬からはおおむね高温多照で推移した。6月6日梅雨入りし、6月中旬にはやや低温で降水量はやや多かったものの、7月に入り晴天が続き11日に梅雨明けとなった。その後も7月下旬までは高温多照傾向は続いた。8月になると比較的低温傾向で推移した。8月下旬と9月上旬には台風が上陸し、降水量は多かったものの、倒伏はほとんど見られなかった(図2)。

生育概況；初期生育は、6月播種で平年より生育が早まったものの、4・5月播種においては平年並みであった。絹糸抽出期までは高温多照で推移したため、どの播種期でも生育が進展した結果、絹糸抽出期は4年間で最も早くなり、茎葉乾物量も多くなった。絹糸抽出期以降は登熟後期まで気温はやや低め、日射量はやや少なめで推移し、登熟が緩慢に進展し、絹糸抽出期20日後において子実重の増加は少なかった。また、稈長も伸長し続けた。その後黄熟期まで登熟は進んだ結果、全ての播種期において乾物収量は4年間で最大となり、特に生育後期まで葉面積が多かった5月播種において乾物収量が多かった(表2)。

図2



(3) 2002年

気象経過；4月下旬～6月上旬までは気温は平年並み～やや低い傾向であった。6月11日に梅雨入りした後の降水量は平年より多く、特に7月上旬の台風6号による降雨により6月播種のトウモロコシで一時的に倒伏が見られた。また、気温も6月下旬にはかなり低くなった。7月20日の梅雨明け前後から8月上旬にかけては晴天が続き、気温も高めに推移した。8月中旬になると気温は平年並みとなった。8月20日に台風13号の影響で倒伏が発生した(図3)。

生育概況；初期生育時(5月中旬・6月下旬)に低温の時期があったため、初期生育・絹糸抽出時の乾物重等はやや少なく、絹糸抽出期もやや遅れ気味となった。登熟期の気温・日射量もほぼ平年並みであり、順調に登熟が進んだ。また、7月10日に台風6号が、8月20日に台風20号の影響で挫折型倒伏がみられた(表3)。

図3

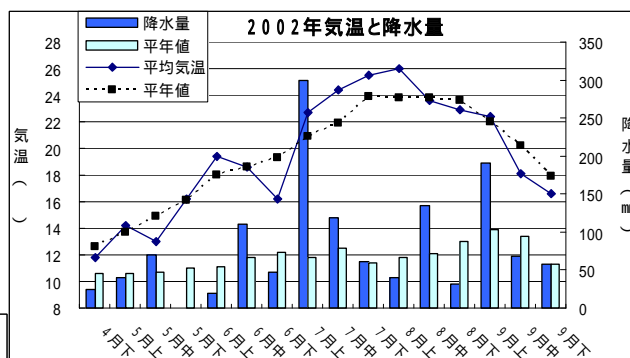


表2 2001年生育概況

播種時期	品種	発芽期	出芽率 (%)	絹糸抽出期	黄熟期	稈長		着穂高 (cm)	葉面積指数(LAI)			乾物重 (kg/10a)			生草収量 (kg10a)	穂重割合 (%)
						絹抽	+20		絹抽	+20	減分	絹抽	+20	黄熟		
4/24	36A43	5/5	95.3	7/8	8/15	238	269	125	223	215	8	773	1389	2012	5302	58
	33G26	5/5	92.8	7/13	8/20	296	310	138	250	227	23	908	1539	2207	6521	52
	32K61	5/5	90.3	7/14	8/20	286	293	125	292	266	26	1014	1710	2169	6611	54
5/15	36A43	5/21	96.7	7/18	8/18	257	293	144	240	231	9	748	1337	2236	4602	54
	33G26	5/21	94.7	7/24	8/28	311	313	150	268	274	-6	1079	1584	2597	6279	47
	32K61	5/21	96.4	7/25	8/29	297	311	143	335	325	10	1162	1617	2591	6688	48
6/5	36A43	6/11	96.4	8/1	9/11	289	303	142	225	218	7	791	1225	1574	4162	55
	33G26	6/10	95.6	8/5	9/18	308	336	160	273	261	12	974	1308	1854	5923	53
	32K61	6/11	96.1	8/7	9/19	300	333	149	319	294	25	956	1465	2153	7052	49

表3 2002年生育概況

播種時期	品種	発芽期	出芽率 (%)	絹糸抽出期	黄熟期	稈長		着穂高 (cm)	稈径 (mm)	葉面積指数(LAI)			乾物重 (kg10a)			生草収量 (kg10a)	穂重割合 (%)
						絹抽	+20			絹抽	+20	減分	絹抽	+20	黄熟		
4/23	36A43	5/4	94.2	7/14	8/21	217	235	119	-	208	203	5	647	1270	1721	4507	62
	33G26	5/4	95.6	7/19	8/24	281	282	141	-	231	231	0	847	1699	1949	5392	57
	32K61	5/4	86.9	7/20	8/24	267	273	121	27.1	280	264	16	927	1639	2013	5599	57
5/15	36A43	6/24	97.2	7/25	8/29	253	261	113	-	211	210	1	679	1343	1619	3730	56
	33G26	6/24	97.2	7/30	9/9	296	303	131	-	227	221	6	796	1434	1469	4489	59
	32K61	6/24	94.2	7/31	9/11	286	299	129	24.3	282	236	46	894	1595	1791	5703	56
6/5	36A43	7/11	96.1	8/5	9/16	270	279	123	-	180	169	11	661	1268	1164	3593	64
	33G26	7/11	95.3	8/9	9/20	312	312	135	-	240	179	61	813	1331	1540	4242	57
	32K61	7/11	96.4	8/12	9/28	305	312	131	22.0	276	233	43	925	1544	1649	5171	47

-は調査せず

(4) 2003年

気象経過；4月下旬～6月下旬までの平均気温はほぼ平年並みであった。6月10日頃梅雨入りした後、7月上旬～下旬にかけて梅雨前線やオホーツク海高気圧の影響が強まり、低温寡照傾向が続き、梅雨明けは平年より13日遅く8月2日頃となった。8月上旬・下旬は気温・日照時間はほぼ平年並みとなったが、8月中旬には再び停滞前線やオホーツク海高気圧の影響で低温寡照となった。9月は下旬の前半に台風や前線の影響でやや低温となった他は、気温・日照時間ともに平年並み～やや高かった(多かった)(図4)。

生育概況；初期生育はほぼ平年並みであったが、7月上旬以降の低温寡照により絹糸抽出期はかなり遅くなり、特に生育盛期が低温期と重なった6月播種において稈長が伸びず、茎葉乾物重も少なくなった。8月9日の台風により、生育ステージが絹糸抽出期前後であった5月中旬・6月上旬播種の一部で倒伏がみられた。

8月の登熟期間は気温・日射がやや高かった(多かった)が、子実重も少なく、乾物収量は4年間で最も少なくなった(表4)。

図4

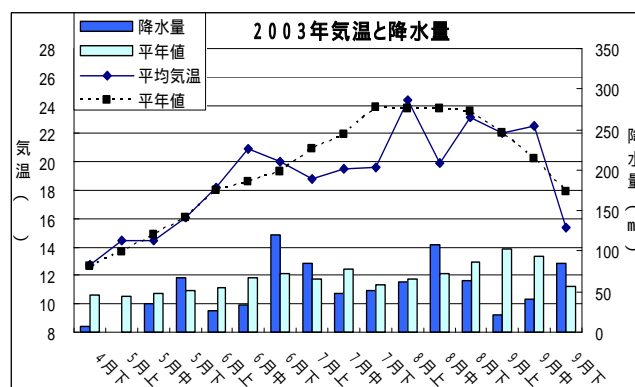


表4 2003年生育概況

播種時期	品種	発芽期	出芽率 (%)	絹糸抽出期	黄熟期	稈長		着穂高 (cm)	稈径 (mm)	葉面積指数(LAI)			乾物重 (kg10a)			生草収量 (kg10a)	穂重割合 (%)
						絹抽	+20			絹抽	+20	減分	絹抽	+20	黄熟		
4/23	36A43	5/3	97.5	7/14	8/26	235	262	115	-	215	200	15	610	1069	1329	3766	61
	33G26	5/3	94.2	7/22	9/2	287	292	130	-	243	219	24	725	1204	1538	4708	58
	32K61	5/3	92.8	7/25	9/3	273	285	125	24.5	281	276	5	759	1389	1642	5375	55
5/14	36A43	5/22	98.1	7/28	9/6	230	243	116	-	195	183	12	611	972	1310	3642	60
	33G26	5/21	95.0	8/2	9/13	276	283	129	-	229	174	55	784	1068	1457	4295	57
	32K61	5/22	95.0	8/5	9/20	272	279	121	22.4	279	234	45	747	1337	1479	4820	48
6/4	36A43	6/10	94.2	8/8	9/18	222	231	109	-	200	192	8	557	984	1261	3433	62
	33G26	6/9	94.7	8/16	9/25	240	255	137	-	240	164	76	717	1241	1345	3640	61
	32K61	6/9	93.9	8/19	9/30	267	270	125	20.7	261	236	25	751	1257	1456	4463	49

-は調査せず

(5) 2004年

気象経過；4月下旬～5月上旬までは降水量が多く、やや低温傾向で推移した。5月中下旬では平年よりやや気温が高く、6月上旬は寒暖差が比較的大きくなった。6月6日に入梅となったが、梅雨期間の降水量は平年より少なかった。梅雨明けは7月13日で平年よりやや早く、6月下旬～7月上旬は高温多照で推移した。7月中旬以降は8月下旬に一時低温となったものの、おおむね気温は平年並みで推移した(図5)。

生育概況；5月上旬の低温寡照傾向から、4月下旬播種で発芽期・初期生育の遅れおよび発芽率の低下がみられた。生育盛期(6月下旬～7月中旬)の高温多照傾向で生育が進展し、絹糸抽出期は32K61に関して過去4カ年平均値より4月下旬播種で1日、5月中旬・6月上旬播種で5～6日早くなった。子実の登熟もやや緩慢気味で順調に進んだ結果、黄熟期は32K61で過去4カ年平均値より4月下旬

播種で平年並み、5月中旬播種で3～4日早く、6月上旬播種で1週間早くなり、播種時期が遅れるほど平年より早く収穫適期となった。7月下旬以降の登熟期間の気温は平年並～やや低めで推移し、茎葉生産物量も多かったため、絹糸抽出期20日後・収穫時の葉面積低下程度(葉の枯れ上がりの目安)が遅く、子実の登熟も良好に進んだ結果、32K61の乾物収量は全播種期において1割程度過去4カ年の平均収量を上回った(表5)。

図5

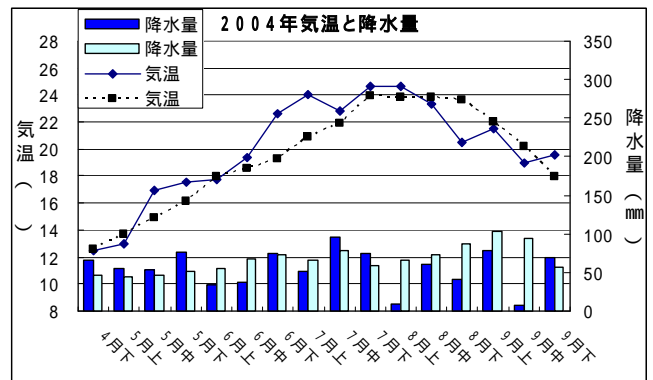


表5 2004年生育概況

播種時期	品種	発芽期	出芽率 (%)	絹糸抽出期	黄熟期	稈長		着穂高 (cm)	稈径 (mm)	葉面積指数(LAI)			乾物重 (kg10a)			生草収量 (kg10a)	穂重割合 (%)
						絹抽	+20			絹抽	+20	減分	絹抽	+20	黄熟		
4/23	32K61	5/7	73.6	7/18	8/24	288	297	134	23.3	293	299	-6	998	1677	2150	6581	57
5/14	32K61	5/21	94.7	7/25	9/2	293	307	142	23.0	290	273	17	1037	1709	2062	6842	57
6/4	32K61	6/9	94.4	8/6	9/18	307	302	138	26.0	310	297	13	989	1585	1966	6652	53

2) 品種の違いおよび播種期の違いによる生育・収量の状況

(1) 品種の違い

播種から発芽に到るまでの日数での品種間差はほとんど見られなかった。絹糸抽出期は、どの播種期においても36A43と比べて33G26は5日遅く、32K61は7~8日遅くなった。絹糸抽出期~刈取期(黄熟期; 子実乾物率50%⁴⁾)までの日数は、中晩生品種でやや長くなる傾向がみられたが、明確な規則性は見られなかった。また、極早生品種は4月播種に関しては他の晩生の品種より登熟期間が長くなり、極早生品種の早播きの有利性が確認された(表6)。

このことから、品種による生育期間の違いは主に発芽~絹糸抽出期の期間差によるところが大きいと考えられる。

また、生育期間(発芽期~黄熟期)の目安として相対熟度を参考にする時は、32K61(RM122; 中晩生)では4月下旬、33G26(RM118; 早生)では5月上旬、36A43(RM102; 極早生)では6月上旬に播種した場合に、RMの値と生育期間日数が最も近くなると考えられる(表6)。

生育状況(生育ステージごとの生育要素)に関しては、RMが大きいほど葉齢多く、稈径太く、葉面積大きく、子実重も重い傾向がみられた。その結果として乾物収量も多くな

った。33G26は稈長・着穂高が高く、葉色はやや濃かったが、これは品種特性と考えられる。また、RMが短いほど穂重割合が多い傾向がみられた(表7)。

(2) 播種時期の違い

発芽期に到る日数は播種時期により差がみられ、4月下旬播種で約11日、5月中旬播種で約8日、6月上旬播種で約6日となったが、これは播種期が早いほど低温であるため、発芽までの日数に時間を要したと思われる。播種~絹糸抽出期までの日数は播種期が20日遅れると約10日間短くなったことから、絹糸抽出期の差は、播種期間差の半分の日数差となる傾向が確認された。

また、播種時期が遅くなるにしたがい、絹糸抽出期までの期間が短く、稈長が高く、葉齢が少なく、稈径が細くなる傾向がみられた。これは、遅く播くほど生育盛期が7~8月にかけての高温期にあたるので、生育が軟弱徒長となることが原因と考えられる。乾物収量に関しては播種期が遅くなるほど極早生種の減収程度が大きくなった。4月播種と6月播種での減収分は、32K61で180kg/10a、33G26で277kg/10a、36A43で386kg/10aの減収となった。

表6 4年間ににおける生育ステージ平均値

播種時期	品種	播種~ 発芽期	播種~ 絹糸抽出期	絹糸抽出期~ 黄熟期	生育日数 平均	絹糸抽出期 平均	黄熟期 平均
4月下旬	32K61	11.5	86.5	36.5	123	7/19	8/26
	33G26	11.1	85.0	37.8	123	7/17	8/25
	36A43	11.3	79.4	38.6	118	7/12	8/21
5月中旬	32K61	7.8	76.0	40.3	116	7/30	9/8
	33G26	7.5	74.0	39.8	114	7/28	9/5
	36A43	7.8	69.4	35.9	105	7/23	8/28
6月上旬	32K61	5.8	68.3	42.5	111	8/12	9/23
	33G26	5.3	65.5	41.8	107	8/9	9/20
	36A43	5.5	60.5	40.3	101	8/4	9/13

4月下旬播種時期は2003年・2002年は4/23、2001年は4/24、2000年は4/25

5月中旬播種時期は2003年は5/14、2001年・2002年は5/15、2000年は5/17

6月上旬播種時期は2003年は6/4、2001年・2002年は6/5、2000年は6/6

表7 4年間における生育要素の平均値

播種時期	品種	稈長 (cm)	着穂高 (cm)	葉齢	葉色	稈径 (mm)	LAI		乾物重(kg/10a)			茎葉 乾物重 (kg/10a)	実 乾物重 (kg/10a)	穂重 割合 (%)
							絹抽	+20	絹抽	+20	収穫時			
4月下旬	32K61	280	125	20.9	47	25.8	295	268	977	1606	1933	875	1058	55
	33G26	289	137	20.4	49	24.5	249	232	903	1590	1833	831	1002	55
	36A43	254	122	19.0	48	24.5	219	212	716	1299	1724	704	1020	59
5月中旬	32K61	294	127	20.3	50	23.4	298	261	948	1565	1922	917	1005	53
	33G26	296	132	19.7	52	23.2	249	221	955	1398	1779	815	963	55
	36A43	263	122	18.4	48	22.2	219	203	722	1274	1640	689	951	59
6月上旬	32K61	307	135	20.1	47	21.4	291	261	922	1513	1753	863	889	51
	33G26	301	140	19.4	49	20.8	249	205	866	1368	1556	657	899	58
	36A43	270	126	17.9	47	20.1	206	195	713	1199	1338	524	815	61

稈径は絹系抽出期の第3節(地際から約10cm)の長径の2年間平均値

葉色はMINOLTA SPAD-502測定値

3) 気象要因と収量の関係

今回の試験で供試したのは3品種であるが、中晩生品種が県内で利用されている割合が高いことから、32K61を中心に検討していくことにする。

(1) 5年間の乾物収量について

5年(4年)の乾物収量の推移を表8に示した。夏期に冷害の影響で低温寡照となった2003年ではどの品種においても乾物収量が低下した。特に32K61で減収程度が大きかった。一方、6月下旬～7月中旬の生育盛期に高温多照であった2001年では乾物収量が多くなり、2001年の5月中旬播種では3品種ともに2.3t/10a以上の乾物収量となった。このように年次の気象によりかなり乾物収量に差がみられた。

表8 過去5年における乾物収量の推移(単位:kg/10a)

品種	年次/播種期	2000	2001	2002	2003	2004
32K61	4月下旬	1914	2190	1993	1634	2148
	5月中旬	1833	2524	1709	1596	2058
	6月上旬	1753	2127	1709	1462	1964
33G26	4月下旬	1638	2189	1948	1510	-
	5月中旬	1605	2595	1516	1458	-
	6月上旬	1484	1786	1393	1311	-
36A43	4月下旬	1829	2009	1734	1364	-
	5月中旬	1395	2321	1657	1319	-
	6月上旬	1353	1664	1204	1292	-

33G26と36A43は2004年は調査せず

(2) 乾物収量に影響を与える要因

茎葉乾物収量

以下、飼料用トウモロコシの全体乾物収量を、茎葉乾物収量と子実乾物収量とに分けて、それぞれに影響を与える要因について考えていくことにする。また、これからは、品種間差における要因を省き分析結果をクリアにするため、32K61に品種を絞って検討することにする。

始めに茎葉乾物収量を考える。葉面積・稈長は絹系抽出期でほぼ最大となることから、葉の枯れ上がりや倒伏等による収穫時までのロスが無いと仮定すれば、茎葉乾物収量は絹系抽出期時点でほぼ決定しているものと考えられたので、絹系抽出期での乾物重と収穫時の茎葉乾物収量を比較した。登熟期に比較的高温で倒伏のみられた2000年には収穫時茎葉重が低めに、夏期の高温多照で栄養生長が良好で、登熟期もやや低温で経過した2001年には収穫時茎葉重が多くなったが、ほぼ両者は等しいことが確認された(図6)。このことから、台風等による大幅な折損・倒伏がないとすれば、絹系抽出期乾物量に影響を与える気象要因が、同時に茎葉乾物収量を決定する要因となるともいえる。

一般的にも、飼料用トウモロコシは幼穂形成の前、草丈30～40cm、葉数6～7枚の時期

を膝高期(ニーハイステージ)といい、この時期の環境と栽培条件の良否は作柄に大きく影響するといわれている。そこで、ニーハイステージ以降で生育盛期と思われる絹糸抽出期30日前～10日前の5年間の気象要因と、絹糸抽出期乾物重との相関をとった(表9)。気温はどの播種期でも0.6程度の相関がみられた。降水量は相関が低かった。日照時間は、播種期が遅くなるほど相関が高く、6月上旬播種では0.83の高い相関がみられた。梅雨明けが5年間で7/11～8/2の期間に該当し、6月上旬播種ではこの期間が生育盛期に当てはまる。梅雨明けが早い年次ほど乾物収量が高い傾向があるのは、梅雨明けの遅速が6月上旬播種の生育盛期期間での日照時間の大小につながり、6月上旬播種における絹糸抽出期乾物重(乾物収量)の差となっているものと考えられ

る。

一方、4月下旬播種の生育盛期は梅雨期間にあたり日照時間の年次変動は少なく、温度のみが相関がやや高いことから4月下旬播種は乾物収量の年次間格差が少ないと思われる。

降水量の相関が低いのは、この時期的那須地域では早害の影響がなく、また飼料畑であることから湿害による生育抑制もみられないことから、降水量が生育の限定要因となることがないものと考えられる。以上、気象との関係をまとめると、絹糸抽出期乾物重は絹糸抽出期30日前～10日前気温・日照時間の影響を受けやすく、特に6月上旬播種に関しては日照時間の影響が大きいといえる。

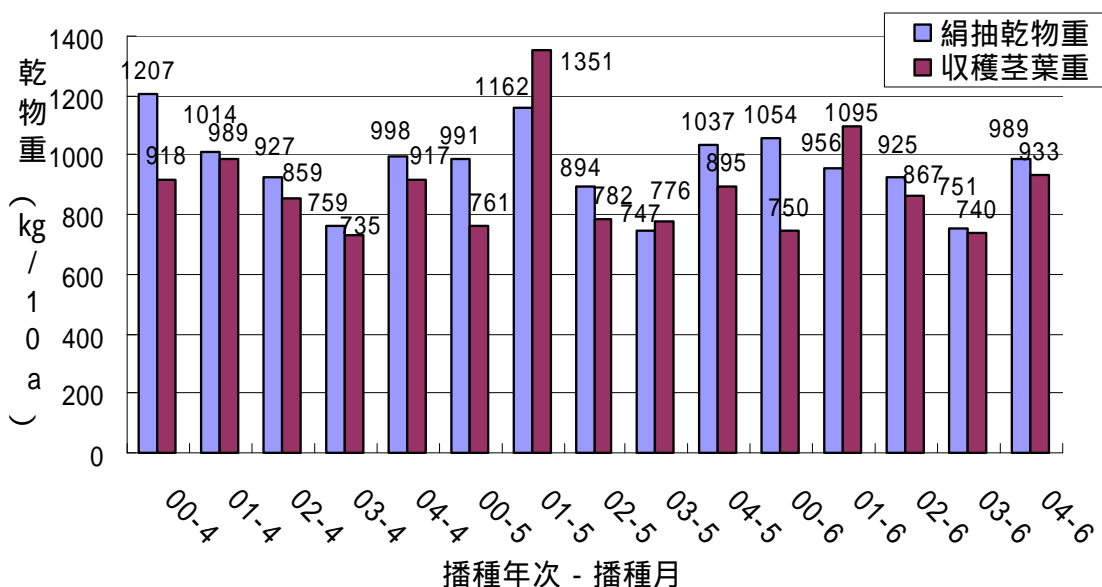


図6 絹糸抽出期乾物重と収穫時茎葉乾物収量(32K61)

表9 絹糸抽出期乾物重と絹糸抽出期30日前～10日前の気象要因との相関(2000～2004;32k61)

播種時期	気温	降水量	日照時間	絹糸抽出期 平均	該当期間 平均
4/下	0.68*	0.40	0.46	7月19日	6/19～7/9
5/中	0.62	0.27	0.64*	7月29日	6/30～7/19
6/上	0.70*	-0.20	0.83**	8月11日	7/13～8/1

* 5%水準で有意 ** 1%水準で有意

子実乾物収量

つぎに、子実乾物収量に関して検討をおこなう。子実生産量に関して、井上ら⁵⁾は「登熟期間の長さは、ソースとしての葉面積とその物質生産能、およびシンクとしての雌穂の容量のバランスにより決定されるものである⁶⁾⁷⁾」と述べているが、それは、雌穂(子実)の乾物生産量についても同様と考えられる。

また、「雌穂の乾物重からみると、温度が高い場合にはシンク容量ではなくソース側(葉面積)の老化が登熟を完了させ、一方低温側ではシンク容量によって登熟が完了するに見える」ともある。例えば2000年は、生育盛期以降も高温多照が続き、LAI(葉面積指数)の絹糸抽出期20日後の減少程度が大きいことから、葉面積の枯れ上がりが早かったことが考えられ、上記でふれた「ソース側の老化」により、登熟期間の減少、子実乾物重の低下がおこったものと考えられる。また、2003年は夏期の低温寡照で茎葉生産物が少なく、その結果として、シンク(子実容量)・ソース(葉面積)そのものが少なかったことが低収の要因と考えられる。

一方で雌穂割合が例年50%前後で推移していること(表10)から、登熟期間の高温による枯れ上がりや倒伏による変動よりも、シンク(雌穂)容量としての絹糸抽出期段階で決定される影響が大きいと仮定した。これは、葉面積は絹糸抽出期で最大になること、雌穂の容量も絹糸抽出期でほぼ決定されることから推察される。そこで、子実乾物収量と絹糸抽出期生育要素との相関を検討した(表11)。その結果、遅い播種時期(6月上旬)ほど、子実乾物収量と着穂高、葉面積、乾物重との相関が高かった。このことから、播種時期が遅くなり6月上旬に近づくほど、絹糸抽出段階で乾物収量が決定される性格が高いことがわかった。

表10 32K61の穂重割合(%)

播種時期/年次	2000	2001	2002	2003	2004	平均
4 / 下	52	54	57	55	57	55
5 / 中	58	48	56	48	57	53
6 / 上	57	49	47	49	53	51

表11 子実乾物収量と絹糸抽出期生育要素との相関(2000~2004;32K61)

播種時期	稈長	着穂高	葉齢	LAI	乾物重
4月下旬	0.61	0.15	-0.08	-0.05	0.35
5月中旬	0.71*	0.52	0.30	0.62	0.79**
6月上旬	0.52	0.83**	0.39	0.92**	0.84**

* 5%水準で有意 ** 1%水準で有意

(4) 倒伏に関する要因

ここで、子実収量に影響を与える要因として、2002年～2004年の期間の倒伏と穂重割合の関係をみていく(表12)。

倒伏がほとんど発生しなかった04年は登熟期後半(絹糸抽出期20日後～黄熟期)の乾物重増加分も多く、穂重割合も全播種期において50%以上であった。

2003年は夏期の低温寡照下で生育および子実の登熟が抑えられたことも考えられるが、折損倒伏が絹糸抽出期15日後に発生した5月中旬、絹糸抽出期当日に発生した6月上旬播種において特に登熟期後半の乾物重増加が抑えられ、穂重割合も50%を下回った。

2002年も絹糸抽出期前に雌穂の下部で折損・倒伏のみられた6月上旬播種において穂重割合は50%を下回った。このように、登熟の早い時期に折損・倒伏が発生すると、茎葉の枯れ上がりを早め、特に登熟期後半において養分の子実への転流を鈍化させ、穂重割合(子実生産量)を低下させることがわかった。

一方で、倒伏が発生しなければ、穂重割合はほぼ50%以上であることが推測され、絹糸抽出期段階での乾物重等の生育要素から、子実乾

物収量が予測できる可能性が示唆される。

また、倒伏は一般的に稈長が急速に伸びる絹糸抽出期前後で最も弱いとされているが、当地域において倒伏が発生しているのが過去3年間において8月中であり、播種期ごとの絹糸抽出期および黄熟期平均値(2000～2004)が4月下旬播種で7月19日・8月27日、5月中旬で7月29日・9月7日、6月上旬で8月11日・9月23日であることから、近年の当地域においては、早期播種により倒伏を回避できる傾向が高いといえる。さらに、子実乾物重も早播きほど増加分が多いことが表7よりわかり、早期播種は、倒伏回避ばかりでなく、子実の登熟促進の面からもTDN収量の増加につながることを示唆された。

また、形態的にも遅まきは徒長傾向で、倒伏に弱い状態となっている。表13は、2001年の節間長を調べた結果であるが、遅く播種したもののほど稈長が長くなり、それに伴い節間も長い。特に3～6節の下位節間はいずれの品種・播種期においても6月上旬播種が長くなっており、倒伏に弱い形態となっていることが考えられる。

表12 折損(倒伏)と穂重割合との関係(2002～2004;1区あたり約90本)

年次	播種期	絹糸抽出期	折損(倒伏)発生日	刈取日		穂上折損	穂下折損	茎葉乾物収量(kg/10a)	子実乾物収量(kg/10a)	乾物重増分(kg/10a)		穂重割合
										絹抽～20日後	20日後～黄熟	
04	4/下	7/18	8/30	8/27	0	0	917	1233	679	473	57	
	5/中	7/25		9/3	0	0	895	1167	672	353	57	
	6/上	8/6		9/17	2	6	933	1033	596	381	53	
03	4/下	7/25	8/20	9/4	0	2	735	907	630	253	55	
	5/中	8/5		9/16	23	2	776	703	590	142	48	
	6/上	8/19		9/30	46	22	740	716	506	199	49	
02	4/下	7/20	8/9	8/30	20	0	859	1154	712	374	57	
	5/中	7/31		9/9	1	5	782	1009	701	196	56	
	6/上	8/12		9/27	12	12	867	781	619	105	47	

倒伏は穂下折損を含む
- は発生無し

表13 2001年における節間長(単位:cm 品種・播種期ごと)

品種	播種時期	第1節間	第2	第3	第4	第5	第6	第7	第8	第9	第10	第11	第12	第13	第14	第15	第16	第17	稈長
32K61	4月下旬	1.6	3.1	9.9	15.3	19.5	21.1	18.4	19.0	19.8	20.4	21.1	20.0	18.9	18.6	18.9	19.6	24.8	297.7
	5月中旬	1.7	5.2	10.5	13.6	19.3	23.2	24.1	23.1	21.5	21.8	21.0	20.1	18.4	18.6	18.8	19.5	24.3	310.7
	6月上旬	1.6	5.3	13.3	18.2	22.1	24.3	22.8	22.6	23.5	23.1	22.0	19.6	19.9	21.1	22.8	22.4	25.6	333.2
33G26	4月下旬	0.6	1.9	7.1	15.7	21.3	24.0	20.3	20.4	25.1	24.1	23.7	20.6	19.4	18.6	18.1	18.0	24.0	309.7
	5月中旬	1.5	4.1	10.8	13.9	20.6	24.8	25.2	25.1	23.9	23.5	22.8	20.5	18.8	19.2	17.8	21.7	27.7	313.4
	6月上旬	1.3	3.8	13.6	20.1	23.3	25.1	24.0	25.0	25.6	24.3	23.3	20.8	20.1	20.8	21.1	21.5	30.3	335.8
36A43	4月下旬	0.6	3.0	8.4	15.1	18.2	20.6	23.2	21.0	20.7	21.5	22.0	22.3	21.3	20.5	23.3			269.0
	5月中旬	1.2	4.5	12.2	15.3	18.9	24.0	24.6	25.1	25.0	23.0	23.8	23.4	20.9	18.6	22.0	22.4		293.4
	6月上旬	1.4	4.8	13.7	19.3	22.2	24.7	25.8	26.4	26.1	26.1	24.9	22.6	20.0	20.0	28.3			302.7

4) 収量予測について

(1) 32K61の収量予測

収穫前に乾物収量が予測できれば、飼料購入計画やサイロ等への貯蔵計画に早くから反映できる。これまでの経緯から絹糸抽出期以降の気象災害が回避できれば、絹糸抽出期段階で茎葉乾物収量および子実乾物収量がほぼ決定されることが推測された。また、絹糸抽出期20日後段階では枯れ上がり等の登熟初期の変動要因を加味した、より正確な予測ができるものと推測される。

そこで、絹糸抽出期以降の生育要素をパラメータとして、回帰式により簡易的に乾物収量を推定できるかを検討した。

対象品種に関して、3品種を含めた相関をとると品種特性の違いが考慮されない結果、乾物収量を予測する回帰式の精度が下がる恐れがある(33G26が32K61より収量は低い、稈長・着穂高は高い等)ので、引き続き32K61についての2000年～2003年の4カ年のデータより、収穫期以前の生育要素と乾物収量の相関をとることにした。その際、調査時期に関して、発芽期後30日段階で最終乾物収量を推定するのは時期が早すぎて困難と思われるので、絹糸抽出期・絹糸抽出期20日後の生育要素と乾物収量との相関を求めたところ、以下の表14のようになった。

播種期全体でみた場合、絹糸抽出期時点では、LAI(葉面積指数)が最も相関が高かった。絹糸抽出期20日後時点でも、LAI、また、それ

に準じる葉乾物重で相関が高かった。葉面積は、絹糸抽出期時点の乾物重と相関が高く(相関係数0.82 n=24)、また、その後の子実登熟のソース的役割も担うことから、茎葉生産物と子実生産物の両方を示す有効な生育指標になることが確認された。

播種時期別にみていくと、4月下旬播種時点の相関が低く、5月中旬・6月下旬播種時点での相関は高くなった。その理由として、4月下旬播種は、播種～絹糸抽出期までの期間が長いこと、気象要因の影響が複雑となること、乾物収量の標準偏差が小さく収量的に最も安定していることが考えられる。一方、播種期が遅くなるほど、播種～絹糸抽出期までの期間が短く、生育盛期における気象条件が着穂高や葉面積等にダイレクトに反映されやすいので、相関が高くなると考えられる。

さらに、5月中旬・6月上旬播種においては、絹糸抽出期におけるLAI、着穂高の相関が高かった。絹糸抽出期20日後時点では、LAI(葉乾物重)稈長の相関が高かった。葉齢・葉色は播種時期により相関係数の変動が大きく、有効な生育指標足り得なかった。

そこで、2000年～2003年の4年間のデータから、5月中旬・6月上旬播種の絹糸抽出期段階のLAI、着穂高各々の単回帰式および重回帰式、また、絹糸抽出期20日後段階のLAI、稈長各々の単回帰式および重回帰式を求

めた(表15)。それに2004年の絹糸抽出期段階、および絹糸抽出期20日後段階での生育要素値を代入して求めた予測値をとったところ、各年次との実収量と推定収量との差は以下の表16、表17のとおりとなった。

5月中旬播種の絹糸抽出期では、LAIと着穂高をパラメータとした重回帰式による推定値が、2004年も含めた乾物収量実測値に近い値となった。また、絹糸抽出期20日後では、LAIと稈長をパラメータとした重回帰式による推定値のあてはまりがやや良かった。

6月上旬播種では、絹糸抽出期段階では、2004年のみの推定値に関しては葉面積をパラメータとする単回帰式の当てはまりが良かったが、全年次を通じて検討すると着穂高をパラメータとする単回帰式のあてはまりが良く、絹糸抽出期20日後では、LAIと稈長をパラメータとする重回帰式のあてはまりが良かった。また、2004年の推定値に関しては、2反復区の平均した生育要素値を代入することで予測誤差は平準化され、結果として推定値と実測値の予測誤差が1割以下に抑えられた。

なお、サンプル数が多いほど予測式の精度が向上するので、毎年の生育収量データを加味し、回帰式を年ごとに更新することが望ましい。

表14 32K61の絹糸抽出期・絹糸抽出期20日後の生育要素と乾物収量との相関

播種時期	自由度	絹糸抽出期							絹糸抽出期20日後						
		稈長	着穂高	葉齢	LAI	茎乾重	葉乾重	乾物重	10a	稈長	葉色	LAI	茎乾重	葉乾重	実乾重
4月下旬	6	0.40	0.03	-0.69	0.09	0.56	0.34	0.50	0.24	-0.28	-0.43	0.28	0.31	0.33	0.45
5月中旬	6	0.72*	0.73*	0.06	0.92**	0.77*	0.88**	0.84**	0.70	0.89**	0.91**	0.53	0.92**	-0.11	0.55
6月上旬	6	0.64	0.93**	0.63	0.82**	0.61	0.51	0.57	0.89**	-0.70	0.81*	0.63	0.89**	-0.12	0.33
全体	22	0.37	0.49*	0.18	0.70**	0.67**	0.59**	0.66**	0.40*	0.04	0.72**	0.45*	0.78**	0.08	0.46*

*5%水準で有意 **1%水準で有意

表15 生育段階での生育要素と黄熟期乾物収量との回帰式に関するデータ

播種時期	生育ステージ	パラメータ	R ²	補正值	標準誤差	有意F	回帰式(黄熟期乾物収量;y)	式
5月中旬	絹糸抽出期	LAI	0.827	164	0.001		y = 7.362x - 2468	
		LAI; x ₁ 着穂高; x ₂	0.824	165	0.006		y = 6.285x ₁ + 6.609x ₂ - 2663	
	絹糸抽出期20日後	LAI	0.793	179	0.002		y = 4.196x - 272	
		LAI; x ₁ 稈長; x ₂	0.754	195	0.013		y = 3.961x ₁ + 1.926x ₂ - 716	
6月上旬	絹糸抽出期	LAI	0.61	175	0.014		y = 4.456x - 830	
		着穂高	0.848	109	0.0007		y = 27.58075x - 1965.4	
	LAI; x ₁ 着穂高; x ₂	0.82	118	0.006		y = -0.87911x ₁ + 31.8903x ₂ - 2036.5		
	絹糸抽出期20日後	LAI	0.6	177.5	0.015		y = 3.689x - 161	
稈長		0.75	140	0.003		y = 10.03544x - 1314.56		
		LAI; x ₁ 稈長; x ₂	0.8	124	0.007		y = 1.696x ₁ + 7.096x ₂ - 1298	

表16 5月中旬播種の回帰式推定値と実測値

	実測値	式推定値	式誤差	式推定値	式誤差	式推定値	式誤差	式推定値	式誤差
2003-1	1597	1615	-18	1617	-20	1861	-264	1840	-243
2003-2	1595	1678	-84	1680	-86	1523	71	1509	85
2002-1	1782	1772	11	1772	10	1580	203	1605	178
2002-2	1635	1607	28	1703	-68	1837	-202	1853	-219
2001-1	2397	2598	-201	2596	-200	2444	-47	2460	-63
2001-2	2651	2338	313	2393	258	2475	177	2461	190
2000-1	1834	1777	57	1703	132	1826	8	1832	3
2000-2	1831	1937	-106	1857	-25	1777	54	1759	72
2004-1	1938	1294	644	1487	451	1851	87	1887	51
2004-2	2179	2317	-138	2354	-175	2187	-8	2187	-8
2004平均	2059	1809	250	1920	139	2019	40	2038	21
標準偏差			252		201		149		147

表17 6月上旬播種の回帰式推定値と実測値

	式			式			式			式			式		
	実測値	推測値	誤差	推測値	誤差	推測値	誤差	推測値	誤差	推測値	誤差	推測値	誤差		
2003-1	1310	1471	-161	1488	-178	1502	-193	1542	-232	1475	-165	1397	-87		
2003-2	1615	1513	102	1471	144	1475	140	1623	-8	1489	126	1444	171		
2002-1	1575	1583	-9	1570	4	1576	-1	1486	89	1839	-265	1621	-46		
2002-2	1844	1679	165	1730	114	1742	102	1631	213	1986	-142	1788	56		
2001-1	2214	1953	261	2177	37	2204	10	2149	65	2171	43	2152	61		
2001-2	2039	2074	-34	2089	-50	2079	-39	1867	173	2100	-61	1975	65		
2000-1	1723	1885	-163	1764	-41	1739	-17	1904	-182	1928	-206	1874	-152		
2000-2	1783	1942	-159	1813	-30	1786	-3	1904	-121	1895	-112	1851	-68		
2004-1	1898	1897	1	1786	112	1763	135	2045	-147	1864	34	1895	3		
2004-2	2030	1968	62	1868	162	1844	186	2193	-163	1750	280	1885	145		
2004平均	1964	1933	31	1841	123	1819.3	145	2119	-155	1812	152	1893	71		
標準偏差			145		107		111		159		167		104		

(2) 33G26、36A43の収量予測の可能性

33G26、36A43は在庫販売のみで種子製造が中止されたため、今後収量予測のための試験に供試することはできないが、それぞれに早生・極早生品種として、中晩生32K61と比べた場合の収量予測の可能性を検討することにした。そのため、33G26および36A43の絹糸抽出期、および絹糸抽出期20日後の生育要素と乾物収量との相関をそれぞれ表18、表19に示した。

播種期別では、2品種において、32K61と同様に、4月上旬播種時点での生育要素における乾物収量との相関が低く、5月中旬播種以降で高くなった。

絹糸抽出期段階では、乾物収量との相関が最も高いものは2品種とも着穂高であり、葉面積との相関は、RMが小さくなるほど低くなる傾向がみられた。絹糸抽出期20日後は葉面積が

最も相関が高く、続いて稈長の相関が高くなった。これらのことから、早生・極早生の収量予測に関しても、5月中旬播種以降に関しては、ある程度の精度で予測が可能であり、絹糸抽出期段階では着穂高の単回帰もしくは着穂高と葉面積の重回帰で、また、絹糸抽出期20日後では葉面積と稈長の重回帰で収量予測ができる可能性が高いと考えられる。

残された課題としては、RMが異なっても、絹糸抽出期では着穂高と葉面積が、絹糸抽出期20日後では葉面積と稈長で乾物収量との相関が高くなっていることから、異なるRMの収量予測の回帰式を併合できることができれば、RMの違いによらず、生育途中の生育要素で乾物収量予測の可能性があり、検討の余地がある。

表18 33G26の絹糸抽出期・絹糸抽出期20日後の生育要素と乾物収量との相関

播種時期	自由度	絹糸抽出期							絹糸抽出期20日後						
		10a							10a						
		稈長	着穂高	葉齢	LAI	茎乾重	葉乾重	乾物重	稈長	葉色	LAI	茎乾重	葉乾重	実乾重	乾物重
4月下旬	6	0.56*	0.43	-0.35	-0.11	0.24	-0.10	0.03	0.62	-0.57	-0.06	0.20	-0.07	0.20	0.26
5月中旬	6	0.82*	0.86**	0.18	0.59	0.36	0.72*	0.93**	0.73*	0.60	0.86**	0.92**	0.83*	0.21	0.53
6月上旬	5	0.67*	0.74*	0.70	0.80*	0.72	0.81*	0.79*	0.80*	-0.64	0.97**	0.71	0.95**	-0.34	0.10
全体	21	0.51*	0.50	0.27	0.40	0.38	0.46*	0.53**	0.45*	0.10	0.71**	0.54**	0.46*	0.21	0.39

* 5%水準で有意 ** 1%水準で有意

表19 36A43の絹糸抽出期・絹糸抽出期20日後の生育要素と乾物収量との相関

播種時期	自由度	絹糸抽出期							絹糸抽出期20日後						
		稈長	着穂高	葉齢	LAI	茎乾重	葉乾重	乾物重 ^{10a}	稈長	葉色	LAI	茎乾重	葉乾重	実乾重	乾物重 ^{10a}
4月下旬	6	-0.10	0.65	-0.53	0.41	0.14	0.52	0.74	0.09	0.76	0.61	0.71*	0.58	0.88*	0.82*
5月中旬	6	0.49	0.89**	-0.01	0.42	0.27	0.06	0.13	0.96**	0.34	0.93**	0.88**	0.88**	0.19	0.39
6月上旬	6	0.53	0.75*	-0.19	0.63	0.52	0.66	0.53	0.58	-0.01	0.77*	0.55	0.66	-0.27	0.04
全体	22	-0.07	0.61**	0.22	0.51*	0.16	0.37	0.33	0.36	0.48*	0.80**	0.65**	0.73**	0.32	0.48*

* 5%水準で有意 ** 1%水準で有意

参考文献

- 1) コンピューター利用による収量予測と生産安定技術の確立
 - (1) 飼料用トウモロコシの生育・収量予測(第4報・完了)(1994)
 - 熊本県農業研究センター畜産研究所試験成績書 206~210
 - (2) サイレージ用トウモロコシの好適生育相の解明と生育診断技術の確立
 - (2) 黄熟期、収量予測モデルの作成(1995)青森県畜産試験場試験研究成績書 63~67
 - (3) 飼料用トウモロコシの収量予測試験(2000)茨城県畜産試験場研究報告 7~11
 - (4) 飼料用トウモロコシの生育予測法の確立(2000)
 - 栃木県酪農試験場研究報告 第124号 11~19
 - (5) トウモロコシ発育動態の定量的解析とそのモデル化(1987)
 - 農業研究センター研究報告 第7号 41~68
 - (6) Danneberger, T.K and Vargas, J.M.Jr (1984) Annual bluegrass seedhead as predicted by degree-day accumulation. Agron.J., 76 756~758
 - (7) Daynard, J.B. and Kannenberg, L.W (1976): Relationship between length of the actual and effective grain filling periods and the grain yield of corn. Can.J.Plant Sci., 56 237~242

Examine of weather influence of corn

Summary

It analyzed that the relation between weather and plant-growth of corn by planted 3-kinds(extreme-early,early,rate)at our examination room in 3-seeding-time for five years. And the prediction of the dry matter yield was tried about 32K61.

Without the damage of folding loss, a dry matter yield of leaves and stems is about equal to dry matter at silk thread extraction term. And it was recognized as the temperature and daylight of the rapid-growth-term(from 30-days before to 10-days before the silk thread extraction term)is influential in the dry matter yield of leaves and stems. Particularly, high-correlation was recognized between the daylight and dry matter at silk thread extraction term in early June seeding.

On the other hand, correlation with the dry matter of ears and the growth element at the silk thread extraction term was taken to examine the factor which the dry matter of

ears was decided as. Correlation with each growth element showed a tendency of rising as much as seeding term became late. And especially, expensive correlation was recognized by the leaf area, ear height from the ground, and the dry matter at silk thread extraction term.

The above-mentioned facts are that forage maize in early June seeding often takes the influence of a change in the weather of the rapid-growth-term, and it is suggested that the possibility that the dry matter yield is almost decided again at the silk thread extraction term.

Next, a growth element that had a high correlation with dry matter yield(the silk thread extraction term ; leaf area and ear height from the ground , the silk thread extraction term 20-days rest ; leaf area and stem height) was made a parameter, and the prediction of dry matter yield by recurrence was done.

As a result, an error with the measurement yield and estimated yield was predicted in the degree that it was within about less than 10% after mid May seeding.

In the same way as 32K61, the correlation with the growth element and dry matter yield is low at the kind of extreme-early(36A43) and early(33G26) in rate April seeding, and the growth element made high correlation with dry matter yield is same of that of 32K61 after mid May seeding.

But, the leaf area's correlation of extream-early kind at the silk thread extraction term tend to fall.