

# 飼料作物の選定と栽培技術の確立—トウモロコシ二期作栽培技術の確立—

九石寛之<sup>1)</sup>、増山秀人<sup>2)</sup>、佐田竜一

1) 現 那須農業振興事務所 2) 現 農業大学校

## 要 約

飼料用トウモロコシ二期作を想定し、一期作でKD500、二期作で3470と30D44の作期移動試験を行い、2次元ノンパラメトリックDVR法で生育進度を算出し、実到達日と差の平均を比較したところ、±3日以内となった。また、可能地域判定を行ったところ、現状の気象では二期作はほとんど困難であるが、日平均気温が1℃上昇した場合は、県南の一部で可能になる。

## 目 的

近年、原油価格の高騰、バイオエタノールや食糧確保のため穀物価格の高騰等により、飼料価格が高騰している。このため、自給飼料の生産拡大による飼料の自給率向上が大きな課題となっている。県内では、土地生産性に優れた飼料作物作付体系として主にトウモロコシ—イタリアンライグラスの一年二毛作が主流であるが、現在の二毛作よりもさらに多収となる作付体系が求められている。また、温暖化による環境変化に対応した作付体系として、トウモロコシ二期作が注目されている。今後、温暖化が進行した場合、現在のイタリアンライグラスの栽培期間の短縮、収量は横ばいになると考えられ、新たな作付体系を検討する必要性があった。

トウモロコシ二期作は、九州での作付体系と考えられてきたが、近年では岡山県、静岡県、神奈川県、そして本県でも一部の地域で行われてきており、将来的には本県でも作付体系の一つとして位置づけられていくと考えられる。

そのため、本県でのトウモロコシ二期作における最適な品種の組み合わせ、収量性を明らかにするとともに、生育予測モデルを二期作用に改良し、本県におけるトウモロコシ二期作の有用性を検討した。

なお、本試験は独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所、同機構九州沖縄農業研究センター、神奈川県農業技術センター畜産技術所、鹿児島県農業開発総合センター畜産試験場との共同研究の一部について記載している。

## 材料及び方法

### 1 飼料用トウモロコシの作期移動試験

栽培試験は、栃木県那須塩原市の場内ほ場（表層腐植質黒ボク土）で2009年から2011年まで実施した。

一期作に用いた飼料用トウモロコシの品種は、38H20

(RM95)、KD500 (RM100)、LG3457 (RM100) の3品種を用いて、2010～2011年にかけて、4月8日、4月23日、5月8日を基準日とし3回播種を行った。他の試験地との整合性をとるため、KD500を共通品種とした。

二期作に用いた飼料用トウモロコシの品種は、KD640 (RM114)、31P41 (RM120)、3470 (RM127)、30D44 (RM135) の4品種で、2009年は8月3日、12日、17日に3回播種を行った。2010～2011年にかけては、7月1日、7月15日、7月30日を基準日とし3回播種を行った。他の試験地との整合性をとるため、3470と30D44を共通品種とした。

一期作と二期作の栽植密度は10aあたり6,667本（畝間75cm×株間20cm）で、各播種期1品種2区設定し、播種後の出芽、出穂、絹糸抽出期、黄熟期等の生育ステージの経過を確認した。施肥は高度化成（オール14）を10aあたりN-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:10-10-10kgになるように播種前に散布した。また、トウモロコシ4～5葉期に、高度化成（オール14）を10aあたりN-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O:10-10-10kgになるように追肥を行った。黄熟期に達した時点で収量調査を行った。黄熟期まで達しなかったものについては、生育及び登熟が止まった時点で収量調査を行った。

### 2 ノンパラメトリックDVR法による生育予測手法

得られた共通品種（一期作KD500、二期作3470、二期作30D44）の生育データをもとに、日平均気温と天文日長による二次元ノンパラメトリックDVR法で生育進度を算出した。併せて、畜産草地研究所現地試験ほ場（栃木県小山市）と神奈川県農業技術センター畜産技術所（神奈川県海老名市）のデータも活用した。計算には「対話型ノンパラメトリックDVR法プログラム」（P第7672号-1）を用いた。そのデータを元に生育予測を行い、実際の生育ステージとの差を確認した。

## 結 果

### 1 気象の概要

#### (1) 2009年の気象

4月は、上中旬で気温は高く、下旬で低くなった。月の後半は大雨の日があり、降水量は多くなった。また日照時間は上中旬に晴れの日が多かったため、平年よりも多くなった。5～7月にかけて気温は高く推移し、降水量も少なくなったが、7月は上・下旬で前線の停滞により降水量が多くなった。8月は、太平洋高気圧の張り出しが弱く、気温は低くなった。台風9号では大雨、11号の影響で強風が吹いた。9月は秋雨前線の活動が弱かったため、晴れて日照時間は多くなり、降水量は記録的に少なかった。10月には台風18号の影響で大雨と強風があった。降水量は多くなった。11月は気温は高かったものの、上旬と下旬で寒気の影響で低くなるなど、寒暖の差が激しくなった。低気圧や前線の影響で降水量は多くなり、日照時間は少なくなった。12月も気温の変動が大きかったが、全般的に高く推移した。

#### (2) 2010年の気象

4月は低気圧や前線の通過により、気温は低く、降水量は多くなった。5月は気温は高くなったが、低気圧や前線の通過に伴い、降水量は多くなった。6月は上旬に高気圧に覆われ晴れの日が多くなった。中旬以降は梅雨前線の停滞があり、降水量は平年並であった。月を通して気温はかなり高く、日照時間も多くなった。7月は梅雨前線の停滞があったが、梅雨明け後は高気圧に覆われ、晴れの日が多くなった。気温はかなり高く、降水量、日照時間も多くなった。8月は高気圧に覆われて晴れの暑い日が続いた。気温はかなり高く、降水量は少なく、日照時間は平年並であった。9月は高気圧に覆われて晴れの暑い日が続いた。また、台風9、12号が本州付近を通過した。気温はかなり高く、降水量は平年並、日照時間は多くなった。10月も高気圧に覆われて晴れの暑い日が続いた。後半は低気圧や前線の影響で曇りや雨の日が多くなった。台風14号が関東の東海上を通過し、まとまった雨となった。気温はかなり高く、降水量は多く、日照時間はかなり少なくなった。11月は天気の周期的な変化があった。気温は高く、降水量は平年並、日照時間は多くなった。12月は短い周期で低気圧が通過し、天気も周期的に変わった。気温はかなり高く、降水量もかなり多く、日照時間は平年並であった。

#### (3) 2011年の気象

4月から5月にかけて気温は平年並であったが、5月は降水量が多く、日照時間は少なくなった。6月は

気温は高くなったが、梅雨前線や寒気の影響で中旬までは平年並か低く、高気圧が張り出した下旬はかなり高くなった。降水量は平年並であった。7月は梅雨明け後高気圧に覆われて晴れの日が多くなった。中旬に台風6号が接近し、通過後も湿った空気の影響で雨が多かった。気温は高く、降水量はかなり多く、日照時間も多くなった。8月は高気圧の勢力が弱く、前線の停滞もあった。また下旬には、台風12号による降雨もあった。気温、降水量ともに平年並で日照時間は多くなった。9月は上旬は前線の影響で曇りや雨の日が多くなったが、中旬以降は高気圧に覆われて晴れの日が多くなった。また、台風15号の影響で降雨が多くなった。気温はかなり高く、降水量は多く、日照時間はかなり多くなった。10月は天気が周期的に変化した。気温は高く、降水量は平年並、日照時間は少なくなった。11月も天気は周期的に変化した。前半は暖気、後半は寒気が流れ込んだため、気温の変動は大きくなった。降水量は多く、日照時間は平年並であった。12月は気温は低く、降水量、日照時間は平年並であった。

なお、気象ではないが、自然災害として3月11日に東日本大震災が発生し、その後も余震が続いたが、本試験を実施するに当たり影響は見られなかった。

### 2 飼料用トウモロコシの作期移動試験

#### (1) 一作目トウモロコシ作期移動試験

2カ年において、冷夏や洪水等の生育を大きく左右する気象変動はみられなかった。発芽期は2010年よりも2011年が早くなった。絹糸抽出期では年次間において大きな差はみられなかったものの、5/8基準の播種期で気象の影響から5日程度早くなった。2011年では、2010年より播種から黄熟期まで、播種が遅くなるほど生育期間は短くなった。登熟日数では、年次間の差はみられたものの品種間の差は少なかった。(表1)

収量調査結果では、品種間差はあるものの、播種が遅くなるほど稈長は高く、着雌穂高は高く、稈径は太くなる傾向がみられた。乾物収量については、2010年では播種が遅いほど多くなったが、2011年は播種が早いほど多くなった。折損・倒伏や病害虫はその栽培期間の気象に左右されるので、特に傾向はみられなかった。(表2)

#### (2) 二作目トウモロコシ作期移動試験

2009年に実施した試験では、8/12と8/17播種で絹糸抽出期まで生育ステージが達しなかったため、2010年以降は播種を早めて生育データを確実に収集することとした。発芽期における品種間差はほとんど見られ

なかったが、雄穂開花期、絹糸抽出期、黄熟期の到達は品種の早晩生順になった。播種から絹糸抽出期、播種から黄熟期までの生育期間は、平均気温がだんだん下がっていくため、播種が遅くなるほど長くなる傾向がみられた。(表3)

収量調査結果では、品種間差はあるものの、播種が遅くなるほど稈長と着雌穂高は低く、稈径は細くなる傾向がみられた。ただし、生育期間において、2011年の7/1播種のように台風や大雨の影響を受けた場合は、この傾向から外れた。乾物収量については、2009年

は播種が早いほど多くなったが、2010年は特に傾向はみられなかった。2011年は2グループに分けられ、早生グループ(KD640、31P41)は7/14が最大となったが、晩生グループ(3470、30D44)では播種が早いほど多くなった。同じ播種日の中で、早生グループでは31P41が、晩生グループでは30D44が収量が高かった。折損・倒伏や病害虫はその栽培期間の気象に左右されるので、特に傾向はみられなかったが、すす紋病の発病程度は、播種時期や品種間を問わず高かった。(表4)

表1 一作目トウモロコシ生育ステージ結果 (2010~2011年)

試験年	播種日	品種名	RM	発芽期	雄穂開花期	絹糸抽出期	黄熟期	播種～黄熟日	播種～絹糸抽出日	絹糸抽出～黄熟日
2010	4月8日	38H20	95	5月3日	7月8日	7月9日	8月20日	134	92	42
		KD500	100	5月3日	7月9日	7月10日	8月20日	134	93	41
		LG3457	100	5月4日	7月7日	7月8日	8月18日	132	91	41
	4月26日	38H20	95	5月9日	7月10日	7月11日	8月20日	116	76	40
		KD500	100	5月7日	7月10日	7月11日	8月20日	116	76	40
		LG3457	100	5月8日	7月13日	7月15日	8月22日	118	80	38
	5月7日	38H20	95	5月21日	7月15日	7月16日	8月24日	109	70	39
		KD500	100	5月19日	7月15日	7月16日	8月24日	109	70	39
		LG3457	100	5月19日	7月17日	7月18日	8月26日	111	72	39
2011	4月8日	38H20	95	4月25日	7月8日	7月8日	8月16日	130	91	39
		KD500	100	4月28日	7月9日	7月9日	8月16日	130	92	38
		LG3457	100	4月29日	7月10日	7月10日	8月16日	130	93	37
	4月22日	38H20	95	5月8日	7月9日	7月9日	8月16日	116	78	38
		KD500	100	5月10日	7月10日	7月10日	8月16日	116	79	37
		LG3457	100	5月9日	7月13日	7月13日	8月18日	118	82	36
	5月6日	38H20	95	5月15日	7月12日	7月11日	8月18日	104	66	38
		KD500	100	5月16日	7月12日	7月11日	8月18日	104	66	38
		LG3457	100	5月16日	7月13日	7月13日	8月20日	106	68	38

表2 一作目トウモロコシ収量調査結果 (2010~2011年)

試験年	播種日	品種名	RM	稈長 cm	着雌穂高 cm	稈径 mm	乾物収量 kg/10a	乾物率 %	折損 %	倒伏 %	ごま葉枯 無0~甚9	すす紋 無0~甚9	虫害 %
2010	4月8日	38H20	95	258	115	18.9	1,401	34.1	13.3	0.0	4.0	0.0	6.7
		KD500	100	255	104	19.7	1,265	33.2	30.0	0.0	3.0	0.0	0.0
		LG3457	100	241	108	19.8	1,407	35.8	20.0	0.0	3.0	1.0	10.0
	4月26日	38H20	95	244	117	18.7	1,162	36.5	30.0	0.0	5.0	0.0	10.0
		KD500	100	251	123	20.6	1,510	34.6	13.3	0.0	4.0	0.0	3.3
		LG3457	100	284	121	21.8	1,528	30.9	6.7	0.0	5.0	0.0	0.0
	5月7日	38H20	95	255	114	20.9	1,299	37.7	26.7	33.3	5.0	0.0	6.7
		KD500	100	254	113	21.7	1,523	35.2	23.3	0.3	4.0	0.0	13.3
		LG3457	100	283	117	21.7	1,798	33.6	10.0	0.0	5.0	0.0	0.0
2011	4月8日	38H20	95	246	117	21.0	1,560	37.1	46.6	0.0	0.5	3.0	0.0
		KD500	100	247	119	22.1	1,606	33.8	43.3	0.0	0.5	3.0	0.0
		LG3457	100	276	114	21.0	1,766	30.6	13.3	0.0	1.0	1.0	0.0
	4月22日	38H20	95	252	118	21.4	1,385	31.1	56.6	0.0	0.5	2.0	0.0
		KD500	100	247	128	24.3	1,461	28.9	26.6	0.0	2.0	1.0	0.0
		LG3457	100	280	125	22.2	1,412	25.6	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	5月6日	38H20	95	260	120	21.6	1,368	35.8	43.3	0.0	2.5	5.0	0.0
		KD500	100	249	128	24.5	1,447	31.4	26.6	0.0	2.0	3.0	0.0
		LG3457	100	287	129	24.1	1,795	29.9	23.3	0.0	2.5	5.0	0.0

表3 二作目トウモロコシ生育ステージ結果 (2009~2011年)

試験年	播種日	品種名	RM	発芽期	雄穂 開花期	絹糸 抽出期	黄熟期	播種 ~黄熟 日	播種~ 絹糸抽出 日	絹糸抽出 ~黄熟 日
2009	8月3日	KD640	115	8月8日	10月2日	10月4日	未達(乳)	-	62	-
		31P41	120	8月8日	10月10日	10月12日	未達(未乳)	-	70	-
		3470	127	8月8日	10月13日	10月14日	未達(未乳)	-	72	-
		30D44	135	8月8日	10月19日	10月20日	未達(未乳)	-	78	-
	8月12日	KD640	115	8月16日	10月29日	未達	未達(生)	-	-	-
		31P41	120	8月16日	11月2日	未達	未達(生)	-	-	-
		3470	127	8月16日	11月5日	未達	未達(生)	-	-	-
		30D44	135	8月16日	11月12日	未達	未達(生)	-	-	-
	8月17日	KD640	115	8月21日	未達	未達	未達(生)	-	-	-
		31P41	120	8月21日	未達	未達	未達(生)	-	-	-
		3470	127	8月21日	未達	未達	未達(生)	-	-	-
		30D44	135	8月22日	未達	未達	未達(生)	-	-	-
2010	7月5日	KD640	115	7月9日	8月15日	8月16日	10月1日	88	42	46
		31P41	120	7月8日	8月20日	8月21日	10月8日	95	47	48
		3470	127	7月9日	8月27日	8月28日	10月15日	102	54	48
		30D44	135	7月9日	8月30日	9月2日	10月20日	107	59	48
	7月16日	KD640	115	7月20日	8月30日	9月2日	10月18日	94	48	46
		31P41	120	7月20日	9月2日	9月4日	10月25日	101	50	51
		3470	127	7月20日	9月5日	9月6日	10月28日	104	52	52
		30D44	135	7月20日	9月7日	9月8日	10月31日	107	54	53
	7月29日	KD640	115	8月1日	9月14日	9月15日	未達(糊)	-	45	-
		31P41	120	8月1日	9月17日	9月18日	未達(糊)	-	51	-
		3470	127	8月1日	9月19日	9月20日	未達(糊)	-	53	-
		30D44	135	8月1日	9月23日	9月24日	未達(乳)	-	57	-
2011	7月1日	KD640	115	7月5日	8月24日	8月25日	10月25日	116	55	61
		31P41	120	7月5日	8月26日	8月27日	10月26日	117	57	60
		3470	127	7月5日	8月30日	8月30日	10月27日	118	60	58
		30D44	135	7月5日	9月2日	9月2日	10月29日	120	63	57
	7月14日	KD640	115	7月18日	9月10日	9月9日	11月21日	130	57	73
		31P41	120	7月18日	9月11日	9月10日	11月21日	130	58	72
		3470	127	7月18日	9月12日	9月11日	未達(糊)	-	59	-
		30D44	135	7月18日	9月12日	9月12日	未達(糊)	-	60	-
	8月2日	KD640	115	8月6日	9月22日	9月24日	未達(乳)	-	53	-
		31P41	120	8月6日	9月27日	9月28日	未達(乳)	-	57	-
		3470	127	8月6日	9月29日	9月30日	未達(乳)	-	59	-
		30D44	135	8月6日	10月3日	10月5日	未達(乳)	-	64	-

\*黄熟期の未達(生)は生育期、未達(乳)は乳熟期、未達(糊)は糊熟期を表す。

表4 二作目トウモロコシ収量調査結果 (2009~2011年)

試験年	播種日	品種名	RM	稈長 cm	着雌穂高 cm	稈径 mm	乾物収量 kg/10a	乾物率 %	折損 %	倒伏 %	ごま葉枯 無0~基9	すす紋 無0~基9	虫害 %
2009	8月3日	KD640	115	220	85	18.3	537	23.0	0.0	11.1	0.0	9.0	0.0
		31P41	120	209	108	20.8	620	22.3	0.0	22.3	0.0	9.0	0.0
		3470	127	190	104	20.9	618	20.2	0.0	11.1	0.0	9.0	0.0
		30D44	135	198	119	22.6	788	21.4	0.0	44.4	0.0	9.0	0.0
	8月12日	KD640	115	146	-	16.3	270	19.7	3.3	44.4	0.0	9.0	0.0
		31P41	120	154	-	19.3	327	18.0	0.0	66.7	0.0	9.0	0.0
		3470	127	148	-	19.4	394	18.4	6.7	22.3	0.0	9.0	0.0
		30D44	135	157	-	22.0	458	16.6	3.3	44.4	0.0	9.0	0.0
	8月17日	KD640	115	153	-	16.3	208	16.9	0.0	22.3	0.0	9.0	0.0
		31P41	120	146	-	18.0	216	15.6	0.0	22.3	0.0	9.0	0.0
		3470	127	154	-	17.9	276	16.0	0.0	11.1	0.0	9.0	0.0
		30D44	135	167	-	20.6	375	15.4	0.0	22.3	0.0	9.0	0.0
2010	7月5日	KD640	115	-	123	21.6	617	28.3	100.0	100.0	0.0	9.0	0.0
		31P41	120	-	125	22.6	897	36.7	100.0	36.6	0.0	8.0	0.0
		3470	127	-	134	22.2	1,345	32.0	100.0	0.0	0.0	7.5	0.0
		30D44	135	-	133	22.7	892	31.3	100.0	90.0	0.0	8.0	0.0
	7月16日	KD640	115	267	113	20.7	942	31.9	96.0	30.0	0.0	9.0	0.0
		31P41	120	255	113	22.8	957	32.0	96.0	10.0	0.0	9.0	0.0
		3470	127	230	121	22.5	1,219	30.7	96.0	0.0	0.0	6.5	0.0
		30D44	135	267	136	23.5	1,353	31.6	90.0	0.0	0.0	6.5	0.0
	7月29日	KD640	115	256	116	16.5	892	27.9	67.0	0.0	0.0	9.0	0.0
		31P41	120	257	125	17.8	806	22.7	53.0	0.0	0.0	8.0	0.0
		3470	127	235	121	19.2	1,094	22.8	13.3	0.0	0.0	4.5	0.0
		30D44	135	265	135	18.1	1,364	23.9	16.6	0.0	0.0	5.0	0.0
7月1日	KD640	115	233	100	16.6	1,111	35.9	26.6	0.0	8.0	8.0	0.0	
	31P41	120	232	102	18.8	1,762	41.3	26.6	0.0	7.0	7.0	0.0	
	3470	127	227	113	17.6	1,535	33.6	40.0	0.0	7.0	7.0	0.0	
	30D44	135	240	130	19.0	1,861	34.7	6.6	0.0	7.0	7.0	0.0	
7月14日	KD640	115	237	108	20.5	1,484	43.6	26.6	0.0	8.0	8.0	0.0	
	31P41	120	250	122	22.7	1,781	40.6	26.6	0.0	7.0	7.0	0.0	
	3470	127	223	110	22.1	1,407	32.1	33.3	0.0	7.0	7.0	0.0	
	30D44	135	258	133	23.6	1,777	32.0	33.3	0.0	7.0	7.0	0.0	
8月2日	KD640	115	183	99	15.3	625	29.1	43.3	0.0	5.5	5.5	0.0	
	31P41	120	199	104	17.6	1,155	29.6	6.6	3.3	2.5	5.5	0.0	
	3470	127	173	97	16.5	1,027	29.2	13.3	0.0	2.0	3.0	0.0	
	30D44	135	190	102	17.8	1,303	30.2	16.6	40.0	2.0	2.0	0.0	

### 3 飼料用トウモロコシにおけるノンパラメトリック DVR 法による生育予測手法

過去2ないし3カ年分のデータを整理し、一作目のKD500と二作目の3470と30D44について、気温と日長による二次元ノンパラメトリック DVR 法により、DVR 値を計算した。生育期間を播種から絹糸抽出期と絹糸抽出期から黄熟期までの2つに分けて算出した結果、播種から絹糸抽出期において、3品種とも生育進度に気温が大きく影響しているが、KD500は右肩上がりの値を示し、3470は26°Cでピークを、30D44は25°C以降はほとんど一定となった。一方で、3品種ともに日長は抑制の値を示したが、30D44は13時間までは一定であった。(図1)。

一方、絹糸抽出期から黄熟期において、同様に3品種とも生育進度に気温が大きく影響しており、右肩上がりの値を示しているが、KD500は他の2品種よりも依存度は低くなった。KD500は日長の影響も大きく、日長も登熟に関与していることが示された。3470と30D44について、日長は抑制の値を示した。(図2)

今回の算出した DVR を元に、栃木県、神奈川県、熊本県、鹿児島県の各試験地における試験実施当該年の日平均気温と天文日長のデータ提供を受けて、絹糸抽出期と黄熟期の予測到達日をもとめ、実到達日との差

を比べた。(表5、6)

ただし、九州では差が大きくなることが示されたので、九州のデータセットのみを用いて DVR を再計算した。

関東では、播種から絹糸抽出期まではどの品種でも±1日以内であったが、絹糸抽出期から黄熟期までは神奈川県の3470で5日の差があった。それ以外では3日以内と予測可能な範囲であった。播種から黄熟期までの差は、神奈川県の3470で5日の差があったものそれ以外は3日以内であった。

九州では、2年5作を想定したため、二期作だけでなく遅まきの3470も DVR を作成し、差を調べた。播種から熊本県の30D44と鹿児島県南九州市の3470で4日の差があったものの、それ以外は3日以内であった。絹糸抽出期から黄熟期(二期作は実情に合わせて糊熟期)では、熊本県の遅まき3470と二作目30D44、鹿児島県霧島市の二作目30D44、鹿児島県南九州市の遅まき3470が4日の差があった。ただし、播種から黄熟期までの差で見ると、熊本県の遅まき3470で4日の差があったものの、それ以外では3日以内であった。

以上のことから、今回算出した DVR モデルについて、一作目を KD500、二作目を 30D44 とした場合、3日以内で関東から九州まで適応できることが示された。

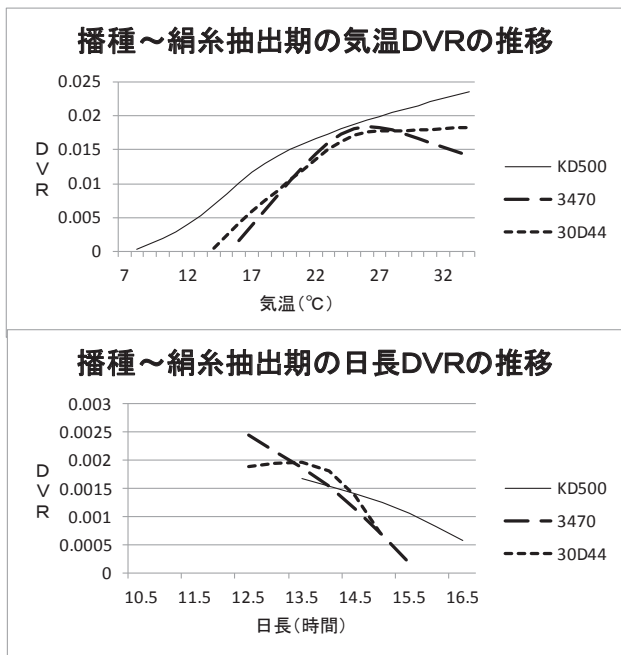


図1 播種～絹糸抽出期のDVRの推移

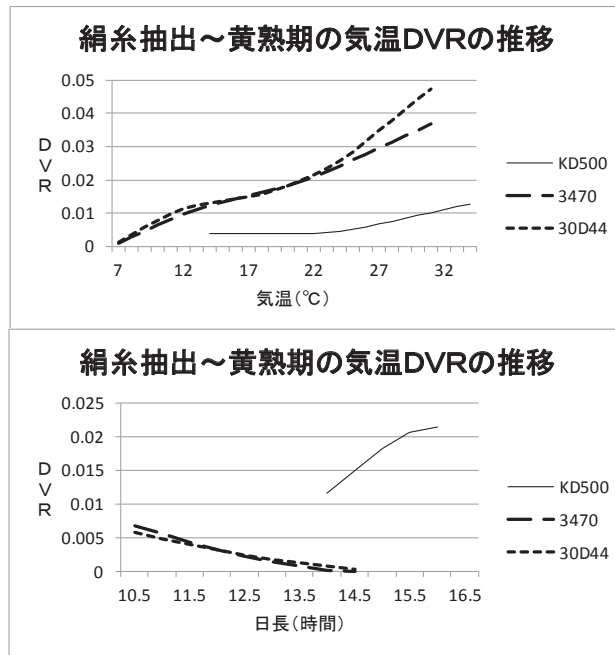


図2 絹糸抽出期～黄熟期の推移

表5 関東における予測到達日と実到達日の差

試験場所	品種	播種年	播種日	絹糸抽出期			差の平均	黄熟期			生育期間の 差の平均	
				実到達日	予測到達日	差の平均		実到達日	予測到達日	差の平均		
畜草研 (那須塩原市)	KD500	2009	4月16日	7月3日	7月4日		8月11日	8月11日		1	1	
		2010	4月14日	7月7日	7月9日		8月14日	8月14日				
		2011	4月21日	7月7日	7月8日		8月14日	8月14日				
	3470	2009	7月15日	9月14日	9月16日		11月13日	-		0	-1	
		2010	6月28日	8月23日	8月22日		10月8日	10月8日				
		2011	7月14日	9月4日	9月5日		11月8日	11月1日				
	30D44	2009	7月15日	9月20日	9月20日		11月13日	-		0	-1	
		2010	6月28日	8月26日	8月26日		10月8日	10月9日				
		2011	7月14日	9月6日	9月7日		11月8日	11月2日				
	栃木県 那須塩原市	KD500	2010	4月8日	7月9日	7月7日		8月20日	8月16日		-1	-2
			2010	4月26日	7月11日	7月10日		8月20日	8月18日			
			2011	5月7日	7月16日	7月15日		8月24日	8月24日			
3470		2009	8月3日	10月14日	-		-	-		-1	0	
		2010	7月5日	8月28日	8月28日		10月15日	10月16日				
		2011	7月16日	9月6日	9月5日		10月28日	11月4日				
30D44		2009	8月3日	10月20日	-		-	-		-1	0	
		2010	7月5日	9月2日	8月31日		10月20日	10月21日				
		2011	7月16日	9月8日	9月8日		10月31日	11月7日				
神奈川県 海老名市		KD500	2009	4月6日	6月18日	6月16日		7月27日	7月24日		0	0
			2010	4月1日	6月20日	6月22日		7月28日	7月29日			
			2011	4月8日	6月24日	6月24日		7月28日	8月1日			
	3470	2009	8月3日	9月27日	9月26日		12月2日	11月27日		-1	-5	
		2010	8月2日	9月24日	9月24日		11月21日	11月16日				
		2011	8月4日	9月30日	9月29日		12月11日	12月9日				
	30D44	2009	8月3日	9月29日	9月28日		12月2日	11月29日		0	-3	
		2010	8月4日	9月26日	9月27日		11月11日	-				
		2011	8月11日	10月7日	10月6日		11月11日	-				

※差のマイナスの値は予測到達日を実到達日より早いことを示す。  
 ※神奈川のグレー部分は平塚市での栽培結果。

表6 九州における予測到達日と実到達日の差

試験場所	品種	播種年	播種日	絹糸抽出期			差の平均	黄熟期(二期作は糊熟期)			生育期間の 差の平均
				実到達日	予測到達日	差の平均		実到達日	予測到達日	差の平均	
九沖農研 (熊本県合志市)	KD500	2009	4月1日	6月18日	6月18日		7月23日	7月22日		-1	-1
		2010	4月5日	6月24日	6月24日		7月27日	7月28日			
		2011	4月5日	6月27日	6月25日		7月30日	7月29日			
	3470	2009	5月26日	8月1日	7月30日		9月2日	8月29日		0	-4
		2010	6月4日	8月5日	8月8日		9月8日	9月1日			
		2011	6月3日	8月8日	8月7日		9月10日	9月8日			
	3470	2009	8月7日	10月2日	10月2日		11月18日	11月19日		-3	-1
		2010	8月5日	9月30日	9月26日		11月15日	11月18日			
		2011	8月5日	10月4日	9月28日		11月17日	11月21日			
	30D44	2009	8月7日	10月4日	10月1日		11月18日	11月24日		-4	0
		2010	8月5日	9月30日	9月26日		11月15日	11月20日			
		2011	8月5日	10月4日	9月28日		11月17日	11月18日			
鹿児島県 霧島市	KD500	2010	4月8日	6月28日	6月25日		7月29日	7月30日		-3	-3
		2011	4月11日	6月28日	6月25日		8月1日	7月31日			
	3470	2009	6月1日	8月4日	8月7日		9月8日	9月7日		0	0
		2010	6月7日	8月16日	8月13日		9月21日	9月23日			
		2011	5月31日	8月6日	8月6日		9月13日	9月12日			
	3470	2009	8月3日	9月27日	9月29日		11月25日	11月18日		0	-3
		2010	8月13日	10月4日	10月4日		11月25日	11月25日			
		2011	8月12日	10月13日	10月10日		11月28日	11月28日			
	30D44	2009	8月3日	9月27日	9月28日		11月25日	11月15日		1	-4
		2010	8月13日	10月5日	10月8日		11月25日	11月24日			
		2011	8月12日	10月10日	10月8日		11月28日	11月27日			
	鹿児島県 南九州市	KD500	2010	3月31日	6月19日	6月20日		7月23日	7月21日		3
2011			4月6日	6月20日	6月24日		7月22日	7月22日			
3470		2010	6月11日	8月10日	8月16日		8月24日	-		-1	4
		2011	5月20日	8月1日	7月25日		8月24日	8月28日			
		2009	8月11日	9月29日	10月4日		11月18日	11月19日			
3470		2010	8月7日	9月25日	9月28日		10月26日	-		4	-2
		2011	8月11日	10月1日	10月4日		11月24日	11月20日			
		2009	8月11日	9月28日	10月4日		11月18日	11月17日			
30D44		2010	8月7日	9月24日	9月28日		10月26日	10月26日		3	-1
		2011	8月11日	10月3日	10月3日		11月24日	11月22日			

注) マイナスは実到達日より予測到達日が早いことを示す。

これらの結果をもとに、関東地方における二期作の適地判定を行った。まずは、一作目 KD500 を4月1日播種、二作目 30D44 を8月5日播種という設定で、気温は1999～2008年までの日平均気温を用いた。すると、一作目は県南の栃木、小山、佐野、足利で7月31日までに黄熟期に達したものの(図3)、二作目はほとんど黄熟期に達しなかった(図4)。そこで二作目の播種日を8月1日に設定し直したところ、県南の渡良瀬川流域を中心とした栃木、小山、佐野、足利の一部で黄熟期まで達する地域が出た(図5)。



図3 一作目 KD500 の黄熟期判定



図4 二作目 30D44 の黄熟期判定



図5 二作目の播種が8月1日の黄熟期判定

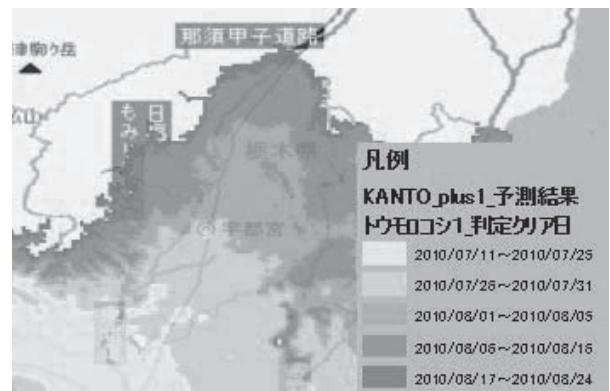


図6 気温が1°C上昇した場合の一作目黄熟期判定



図7 気温が1°C上昇した場合の二作目黄熟期判定

また、今後温暖化が進むことを想定し、日平均気温が1°C上昇した場合のシミュレーションを行った。すると、一作目は県南から県央にかけての広い地域で7月31日までに黄熟期に達し(図6)、二作目も栃木、小山、佐野、足利の一部で黄熟期まで達する地域が出た(図7)。

これらのことから、現在では一作目と二作目で黄熟期に達するような二期作は難しいが、日平均気温が1°C上昇した場合は、県南の一部で可能になることが示唆された。

## 考 察

今回の試験では、二期作ができない当センター内のほ場でデータを収集したため、実際の二期作栽培地帯で適応できるかが懸念されたが、神奈川県や九州のデータを用いることにより、実用できるレベルになった。これから温暖化が進行していくと広い地域で二期作が可能になると想定されるが、C<sub>4</sub>植物であるトウモロコシは、温暖化が進んでも収量増になるとは限らないことが報告されている。今回試験で用いた品種の他にも、収量性の良い品種がある可能性があるので、特に二作目に用いる品種については今後試験を行っていく必要がある。

また、二期作を実施する場合に、品種の組み合わせも重要になってくる。一作目は、二作目の栽培期間を確保するために、RM100以下の極早生品種を用いて栽培期間を短縮することになる。このとき、極端にRMの小さい品種を選択しても生育期間はさほど短縮できない。むしろRM100に近いほうが、乾物収量を確保しやすい。二作目は利用者の好みが変わるところで、子実割合を高めてサイレージの栄養価を求めるならRM115~120の早生中生を、乾物収量を求めるならRM130以上の極晩生を作付けするとよいと思われる。

現在、栃木県内でもごく一部の地域で二期作が行われており、従来のトウモロコシ・イタリアンライグラスの一年二毛作体系とTDN収量を比較すると約8%増収することが別の調査で明らかにされているが、増収部分だけでないメリットもある。それは、機械体系がトウモロコシだけに整理できることと、作業遅延による収量およびサイレージの品質低下を防ぐことができるようになるからである。二毛作では春作業（イタリアンライグラスの収穫とトウモロコシの播種）と秋作業（トウモロコシの収穫とイタ

リアンライグラスの播種）の作業競合が一年に2回発生するため、遅れやすくなる。二期作では、夏作業（トウモロコシの収穫と播種）の年一回だけであり、理論上は遅れにくいと言える。ただし、実際は降雨による遅延や、夏に収穫調整するという過重労働があり、作業が遅れるだけでなく、疲労による事故の発生も懸念される。また、二作目の生育が不安定で、黄熟期に達しなかったり、台風の影響を受けやすいというリスクもある。それを理解した上で取り組んで欲しい。

自給飼料生産を取り巻く環境について、穀物相場の高騰という追い風があったものの、現在は放射性物質に怯える毎日である。今後を考えると、放射性物質の影響は少なからず残るものの、穀物相場の高騰は続くであろうし、海上運賃の値上げや、円高から円安に移行するとの予想もある。そうなる自給飼料生産としてのトウモロコシは重要になってくるであろうし、中心作物として位置づけられるであろう。そのようなときに本研究を参考としていただければ幸いである。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、当センターの技術員各位には、ほ場作業から各種調査についてご協力いただいた。特に試験担当として、黒木光一郎氏には試験設計から運営及び取りまとめまで事細やかにサポートをいただいた。

また、畜産草地研究所の菅野首席研究員、九州沖縄農業研究センターの西村研究員、加藤研究員、神奈川県農業技術センター畜産技術所の折原主任研究員、鹿児島県農業開発総合センター畜産試験場の原田主任研究員に多大なるご指導及びご助言をいただいた。併せて御礼申し上げる。

## 参考文献

- 1) Atsushi MARUYAMA et al (2010). Modeling of phenological development in winter wheat to estimate the timing of heading and maturity based on daiary mean air temperature and photoperiod. *J. Agric. Meteorol.* 66(1):41-50.
- 2) 原田直人・松野愛子・加藤直樹・西村和志 (2012) 鹿児島県におけるトウモロコシ二期作を基幹とする2年5作栽培体系の検討. 日草誌 58 (別): 36
- 3) 星一好・百武友紀子 (2000) 飼料用トウモロコシの生育予測手法の確立. 栃木県酪農試研場研究報告. No. 124:11-19.
- 4) 星一好・百武友紀子 (2005) 飼料用トウモロコシ生育ステージ予測法の現場適用. 日本草地学会誌. Vol. 51. No. 2:209-212.
- 5) 菅野 勉・森田聡一郎・佐藤節郎・黒川俊二・九石寛之・島田 研 (2011) 関東北部のサイレージ用トウモロコシ二期作栽培における乾物収量および乾物率. 日草誌 57(1): 43-46
- 6) Kanno T, Morita S, Sato S, Kurokawa S, Sazarashi H, Mashiyama H, Shimada K (2012) Determination of the effective cumulative temperature required for second cropping of corn (*Zea mays L.*) at the northern boundary



- for the double-cropping system. Proceedings of the 4th Japan-China-Korea Joint Symposium on Grassland Agriculture and Livestock Production, p64-65
- 7) 加藤直樹・服部育男・吉川好文・村木正則・山田明央・佐藤健次 (2011) 極早生品種を利用した九州中北部向けサイレージ用トウモロコシ2期作栽培技術.  
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2010/konarc10-02.html>
  - 8) 西村和志 (2012) ArcGIS上で利用可能な飼料作物・作型適地判定・マップ化システム  
[http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2011/114c0\\_10\\_09.html](http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2011/114c0_10_09.html)
  - 9) 大槻和夫 (2001) 飼料のTDNの推定. 改訂粗飼料の品質ガイドブック (自給飼料研究会編). 日本草地種子協会. p77-83
  - 10) 折原健太郎 (2010) 神奈川県におけるトウモロコシ二期作栽培体系の検討. 日草誌 56 (別) : 20
  - 11) 折原健太郎 (2011) 神奈川県におけるトウモロコシ二期作の品種の組み合わせ及び播種期の検討. 日草誌 57 (別) : 151
  - 12) 折原健太郎 (2012) トウモロコシ二期作の経済性の検討.  
<http://www.agri-kanagawa.jp/tikugi/jyouho/201202/jyouho-k201202.html>
  - 13) 九石寛之・天野祐敏・宮原雅明・鮎田直子・菅沼京子・神辺佳弘 (2009) 我が国3地点における飼料用とうもろこしの作期と生育パターン. 日本草地学会誌. Vol. 55. 別:157
  - 14) 九石寛之・鮎田直子・増山秀人 (2010) 栃木県における飼料用トウモロコシの生育予測と実測値の差. 日本草地学会誌. Vol. 56. 別:153
  - 15) 九石寛之・田丸直子・増山秀人・菅沼京子・前田綾子 (2011) 大規模飼料作物栽培における草種品種の組み合わせ技術の開発. 栃木県畜産酪農研究センター研究報告. No. 1:28-33.
  - 16) 竹澤邦夫・田村良文・小野祐幸 (1987). 作物の発育ステージのノンパラメトリック推定の有効性. 農業気象. Vol. 45. No. 3:151-154
  - 17) 竹澤邦夫 (2002) B-スプラインを用いたノンパラメトリック DVR 法. システム農学. Vol. 19. No. 2:121-129
  - 18) 農業技術大系 畜産編 7 飼料作物

Establishment of a cultivation system for double cropping of silage corn in Tochigi prefecture.

This study was accuracy of growth prediction using a non-parametric method based on developmental rate (DVR) for double cropping of silage corn (*Zea mays L.*) cultivated in Tochigi prefecture.

“KD500” was used for the first crop, “3470” and “30D44” were used for second crop. Difference was within  $\pm 3$  days between calculated DVR and the practical development.

It is determined double cropping of silage corn was impossible because current temperature condition is low in most area of Tochigi prefecture.

If mean temperature rises 1°C/day, double cropping of silage corn will be enabled in a part of south area in Tochigi prefecture.