

2. 飼料用とうもろこし

1) 目的

地球温暖化が飼料用とうもろこし（ホールクロップサイレージ用）の生育や収量に及ぼす影響を予測する。

2) 方法

(1) 気象要因と収量の関係解析

各試験場（畜試、十勝農試、北見農試、根釧農試）における栽培品種の中から比較的栽培年数が長い品種を選定し、その生育・収穫調査データの主要項目（絹糸抽出期、部位別乾物収量）と播種から収穫までの期間（以下「生産期間」という）および5月～9月の試験場の近隣アメダスポイント月別気象データ（表V-2-1、気温、降水量、日照時間の平均値）との関係を解析した。

なお、生育・収穫調査項目から、生産期間中の1日当たり平均乾物生産量（以下、「乾物生産量」、乾物生産量＝総乾物収量÷生産期間の日数）等を算出して解析に用いた（表V-2-2）。

表V-2-1 気象要素（気温）の概要

地域	集計期間	平均 気温※1 (°C)	標準 偏差	5-9月 積算気温 (°C)	標準 偏差	5-9月 平均気温 (°C)	標準 偏差
畜試	S56 ~ H19	16.7	±1.2	2426	±137	15.9	±0.9
十勝	S62 ~ H16	16.5	±1.2	2420	±146	15.8	±1.0
北見	H2 ~ H13	16.4	±1.3	2353	±157	15.4	±1.0
根釧※2	H13 ~ H22	15.3	±1.7	2186	±162	14.3	±1.1

※1 生産期間（播種～収穫）中の1日当たり平均。

※2 H18、H21年データは低温多雨による極端な初期生育遅れにより除外。

表V-2-2 解析に用いた生育データ等の概要

地域	品種	栽培 年数	総乾物 収量 (kg/10a)	乾物 生産量 (kg/10a/日)	播種 (月日)	絹糸 抽出 (月日)	収穫 (月日)
畜試	ワセホマレ	27年間	1,063	8.1	5/15	8/3	9/26
十勝	ヘイゲンミナリ ダイヘイゲン	18年間	1,232 1,163	9.1 8.6	5/11	8/4 8/1	9/23
北見	ダイヘイゲン	12年間	1,273	9.9	5/19	8/7	9/25
根釧	ばびりか	8年間	1,196	9.0	5/22	8/12	10/3

(2) 温暖化に伴う収量変化

2030年代の飼料用とうもろこしの収量について、前節の解析で得られた一次回帰式から計算する方法（方法①）と品種変更による方法（方法②）との、二つの手法を用いて推定する。

①一次回帰式による収量予測

前節の解析により、各場・各品種ごとに得られた生産期間中の平均気温と乾物生産量との一次回帰式（表V-2-3）から、将来（2030年代）の飼料用と

うもろこしの収量を推定した。

表V-2-3 気温と乾物生産量の一次回帰式

地域	一次回帰式※1	相関係数※2
畜試	$y = 1.0641x - 9.6954$	0.857 **
十勝	$y = 0.6079x - 0.8762$	0.474 *
北見	$y = 0.8256x - 3.6446$	0.789 **
根釧	$y = 0.8582x - 4.1983$	0.914 **

※1 y : 乾物生産量、 x : 生産期間中の平均気温

※2 *は5%水準で、**は1%水準で有意である

現在の平均気温データには、対象地点近隣のアメダスポイントの平年値を用いた。2030年代の気象データには、II章で整備したCCSRおよびCGCM1による2030年代予測値と現在の「メッシュ気候値2000」との差を対象地点のアメダス平年値に加算し、これを当該地点の2030年代に予想される生産期間中の平均気温として用いた（表V-2-4）。

表V-2-4 将来（2030年代）の平均気温予測値

地域	2030年代予測 方法	各月の予測平均気温（°C）					予測積算 気温 (°C)	差※1 (°C)	5-9月 予測平均 気温	差※2 (°C)
		5月	6月	7月	8月	9月				
札幌市	(CCSR)	14.9	17.1	22.4	22.9	19.6	2967	+205	19.4	+1.3
	(CGCM1)	14.4	17.7	23.0	23.6	19.9	3019	+257	19.7	+1.7
訓子府町	(CCSR)	12.5	15.5	19.4	20.1	16.2	2563	+239	16.8	+1.6
	(CGCM1)	12.8	16.4	20.3	21.0	16.7	2670	+346	17.5	+2.3
芽室町	(CCSR)	12.5	15.2	19.3	20.5	17.4	2599	+196	17.0	+1.3
	(CGCM1)	12.4	15.9	20.0	21.2	17.8	2673	+269	17.5	+1.8
新得町	(CCSR)	13.2	16.0	19.9	21.1	17.4	2682	+269	17.5	+1.8
	(CGCM1)	13.2	16.7	20.6	21.9	17.9	2765	+352	18.1	+2.3
中標津町	(CCSR)	10.9	13.7	17.6	19.3	16.8	2397	+291	15.7	+1.9
	(CGCM1)	11.3	14.8	18.6	20.3	17.4	2522	+416	16.5	+2.7

※1 アメダスポイント2000年平年値から算出した積算気温との差

※2 アメダスポイント2000年平年値における5-9月平均気温との差

なお、II章では、2030年代の晩霜日が現在よりも早まる（平均値：全道13日、内陸部12日、沿岸部14日）と予測されており、全ての地域で播種期は5月上旬になると考えられるため、将来のとうもろこしの生産期間（播種～収穫）は、5-9月農耕期間とほぼ一致すると仮定した。

②品種変更による収量予測

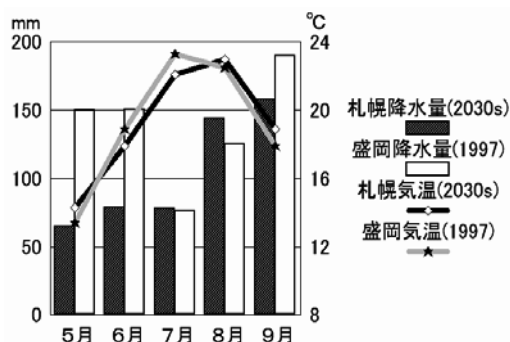
生産期間や積算気温の変動に対応した品種変更に伴う収量予測については、積算気温が概ね平年並かやや高い2005年（平成17年）における各試験場の品種比較試験結果から各熟期の標準品種収量（2試験場の平均値）を算出し検討した（表V-2-5）。

表V-2-5 標準品種の平均収量(2005年)

5-9月積算 気温(°C)	根釧	天北	畜試	北見	十勝	滝川	上川	平均 (kg/ 10a)
2159	2255	2322	2415	2452	2590	2385		
平均(°C)	2102	2153	2290	2324	2396	2527	2478	
品種	熟期	2005年(H17)の総乾物収量(kg/10a)						
エマ	早早	1299	1329					1314
チベリウス	早中			1626	1819			1723
ネオ85	早晩				1565	1774		1670
TH9861	中早					1843	1791	1817
おおぞら	中中						1672 2245	1959
36B808	中早						1973 2414	2194

また、現在の本州地方並みの気温になると予測される札幌(道央)地域の収量については、現在の北海道向け品種群(中生, 晩生)での増収は困難と考えられたので、II章で整備された2030年代の札幌の予想気象データセットに近似する気象経過(図V-2-1)をたどった1997年の盛岡(岩手県)で栽培された中生と晩生の品種の収量を、2030年代の札幌地域における暫定的な予測値とした(表V-2-6)。

収量および気象データについては、全国の奨励品種決定試験等結果(家畜畜改良センター茨城牧場長野支場データベース)を用いた。



図V-2-1 2030年代札幌の予想気象と1997年盛岡の気象経過

表V-2-6 2030年代の暫定収量予測値

品種名	熟期	乾物収量 (kg/10a)	平均収量 (kg/10a)
札幌の栽培品種 (1997年の値)	3845	中晩	1890
DK474	晩早	2045	1968
* 2030年代、札幌で作付可能と仮定した品種の収量			
(1997年、盛岡で栽培した品種の値を暫定使用)	セシリア	中生	2393
G4742	晩生	2241	2317

3) 結果

(1) 気象要因と収量の関係解析

十勝の1品種を除いて生産期間中の平均気温と乾物生産量は高い正の相関を示した。また、全ての品種において、播種～絹糸抽出までの日数とは有意な負の相関を示した(表V-2-7)。

表V-2-7 各収量項目と気象要素との相関係数

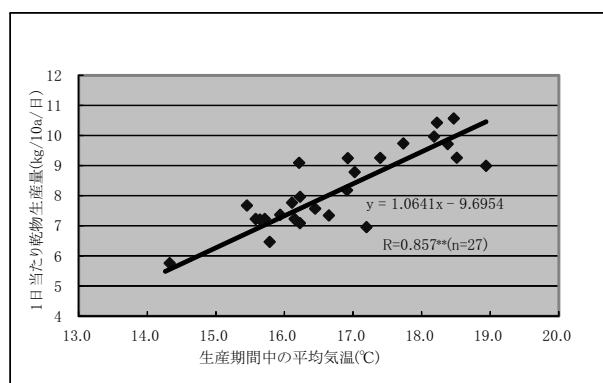
地域	品種	収量項目	生産期間中の気象要素 ^{※1}		
			平均気温	平均降水	平均日照
畜試	ワセホマレ (n=27)	乾物生産量	0.857 **	-0.341 ns	0.276 ns
		雌穂乾物重	0.768 **	-0.266 ns	0.347 ns
		播種～絹糸の日数	-0.859 **	0.302 ns	-0.149 ns
十勝	ヘイゲンミ ノ (n=18)	乾物生産量	0.474 *	-0.340 ns	0.244 ns
		雌穂乾物重	0.537 *	-0.318 ns	0.265 ns
		播種～絹糸の日数	-0.818 **	0.442 ns	-0.465 ns
北見	ダイヘイゲ ン (n=12)	乾物生産量	0.432 ns	-0.376 ns	0.282 ns
		雌穂乾物重	0.384 ns	-0.265 ns	0.280 ns
		播種～絹糸の日数	-0.820 **	0.453 ns	-0.487 *
根釧	ぱびりか (n=8)	乾物生産量	0.789 **	-0.191 ns	-0.095 ns
		雌穂乾物重	0.803 **	-0.087 ns	0.083 ns
		播種～絹糸の日数	-0.773 **	0.120 ns	0.265 ns
		乾物生産量	0.914 **	-0.664 ns	0.831 *
		雌穂乾物重	0.669 ns	-0.575 ns	0.940 **
		播種～絹糸の日数	-0.950 **	0.619 ns	-0.632 ns

※1 気象要素は1日当たり平均、気温(°C)、降水量(mm/日)、日照時間(hr/日)

*は5%、**は1%水準で有意、nsは有意でない。

このことから、1日当たりの乾物生産量は生産期間中の平均気温と相関が高く、一方で降水量や日照時間との相関は根釧地域を除いて小さいことが明らかとなった。

よって、飼料用とうもろこしの収量については、生産期間中の平均気温と1日当たりの乾物生産量との一次回帰式によって概ね予測できると判断した(図V-2-2)。



図V-2-2 とうもろこし乾物生産量と平均気温の関係 畜試(S56～H19, 27年間データ)

なお、根釧地域の解析において、将来の気象条件を予想させるような高温年であった本年(2010年)のデータを加えても、有意な相関が得られたことから、一次回帰式による将来予測の妥当性が確認できた(図V-2-3)。

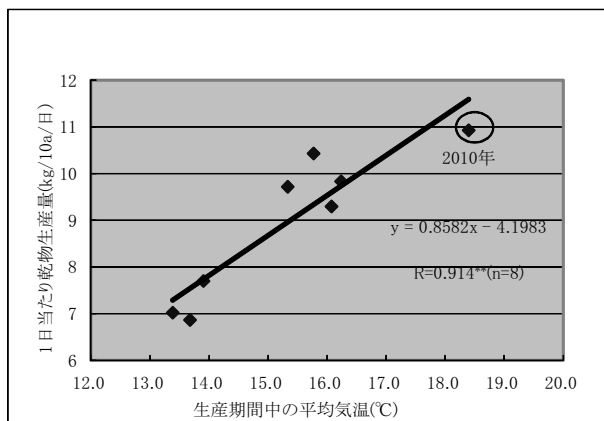


図 V-2-3 高温年(2010年)を加味したとうもろこし乾物生産量と平均気温の関係
根釧(H13～H22 ※H18, H21年は除く)

(2) 温暖化に伴う収量変化収量予測

①一次回帰式による収量予測

2030年代の飼料用とうもろこしの収量は、現在の道内向け品種では増収に限界があると考えられた道南・道央地域(増加量0と仮定)を除き、すべての地域で増加(48～350kg/10a)すると見積もられた(表V-2-8)。

表 V-2-8 2030年代における飼料用とうもろこしの収量予測(方法①一次回帰式)

地域 区分	予測 方法	平均 気温 (°C)	2030年代の予測乾物収量		
			1日当	期間 合計	増加量 (kg/10a)
道央・道南	(CCSR)	19.4	—	—	0※1
	(CGCM1)	19.7	—	—	0※1
十勝中部	(CCSR)	17.0	9.5	1280	48
	(CGCM1)	17.5	9.7	1319	87
十勝山麓・沿海	(CCSR)	17.5	9.0	1176	113
	(CGCM1)	18.1	9.5	1251	188
オホーツク網走	(CCSR)	16.8	10.2	1337	274
	(CGCM1)	17.5	10.8	1413	350
根釧・天北	(CCSR)	15.7	9.2	1226	33
	(CGCM1)	16.5	9.9	1319	126
全道※2	(CCSR)予測における増加率				+10%
	(CGCM1)予測における増加率				+14%

※1 現行の北海道向け品種では増収しないと仮定。

※2 地域の作付面積割合を考慮して算出。

②品種変更による収量予測

また、品種変更による収量予測においても収量増加(94～524kg/10a)の可能性を示した(表V-2-9)。

表 V-2-9 2030年代における飼料用とうもろこしの収量予測(方法②品種置換)

地域 区分	現代		2030年代		増加量 (kg/10a)
	熟期	品種	熟期	品種	
道央・道南	中中 以上	3845 DK475	本州型	セシリア G4742	503 196
	中早	TH9861	中中 中晩	おおぞら 36B08	142 377
十勝山麓・沿海	早中	チベリウス	中早 中中	TH9861 おおぞら	94 236
	早晩	ネオ85	中中 中晩	おおぞら 36B08	289 524
根釧・天北	早早	エマ	早晩 中早	ネオ85 TH9861	356 503
全道	(CCSR)予測における増加率				+14%
	(CGCM1)予測における増加率				+23%

これらの結果を踏まえ、北海道全体で各地域の作付面積を考慮した上で収量増加割合を推定すると、方法①では、+10%(CCSR予測)～14%(CGCM1予測)となり、方法②では、+14%(CCSR予測)～23%(CGCM1予測)となった。

以上のことから、飼料用とうもろこしにおいては、温暖化による気温上昇に伴い収量が増加傾向となり、品種ごとの収量限界に近づいたところで、高温条件により適合した品種を選択することによって収量増加を継続させる可能性があることがわかった。

4) 技術的対応方向

これまで述べてきた2030年代の飼料用とうもろこしの収量予測に基づき、将来予想される問題点と技術上の対応方向は以下のとおりである。

(1) とうもろこし播種の早期化

晩霜日が全道平均で約2週間早まることに対応して、全ての地域で播種作業を5月上旬に終了させることが、生育期間を確保し、期待される収量を得る上で重要となる。播種の早期化に合わせた計画的な耕起作業が求められる。

(2) 適正な施肥と雑草防除の実施

収量増加に対応した適正な施肥量を投入することが重要となる。特に、初期生育における濃度障害と昇温効果による生育速度の上昇による肥料切れ回避のため、追肥が重要である。生産者が実践しやすい省力的な追肥作業の体系化が求められる。

また、高温多雨により雑草の繁茂が懸念されるので、適期防除を励行する必要がある。

（３）適期収穫の実施

生育速度の上昇に応じた収穫適期（黄熟期，乾物率30%前後）の判定を的確に行い，栄養収量が最大となる時期に収穫することが重要となる。特に，記録的な夏季高温となった2010年，一部に見られた枯れ上がりの早期化とすす紋病多発に対応した作業受委託組織の整備など，機動的収穫体系の構築が求められる。また，子実の過熟によるデンプンの消化吸収率の低下が懸念されるため収穫時の破碎処理は必須な技術と考えられる。

（４）飼料給与技術の改善

飼料用とうもろこしの収量増加による給与量の増加は飼料自給率を向上させるが，タンパク質をはじめとする栄養バランスの維持が重要となる。効率的な乳肉生産を行うためには併給する牧草や濃厚飼料のCP（粗タンパク質）レベルの確保が求められる。

（５）気温条件に適合した品種の開発

北海道の飼料用とうもろこし品種群の第一の育種目標であった耐冷性の向上に加えて，昇温傾向に対

応した生育持続性を有する品種の開発が重要となる。

また，気温上昇により雌穂の熟度の進行や乾物重量の増加が期待できることから，子実用とうもろこし栽培（現在，戦略研究課題で試験中）に適した品種の開発も念頭に置いて，現在の本州地域向け遺伝資源の導入なども検討する必要がある。

５）まとめ

（１）各試験場の飼料用とうもろこしの収量データに基づき，2030年代の北海道における飼料用とうもろこしの収量について予測した。

（２）作付面積が現在並とすると，全道の年間収量は，気温上昇により現在から10～14%，昇温程度に合わせた熟期の遅い品種への変更により14～23%程度の増加が見込める。

（３）今後の対応策としては，2030年代の気象条件に対応した栽培・飼料給与技術の実践と新しい視点からの品種開発が求められる。

（寺見 裕）