

地球温暖化が道内主要作物に及ぼす影響とその対応方向 (2030年代の予測)(3)

誌名	北農
ISSN	00183490
著者	竹内, 晴信 谷藤, 健 梶山, 努 松永, 浩 三好, 智明 佐藤, 仁
巻/号	79巻2号
掲載ページ	p. 142-153
発行年月	2012年4月

<特 集>

地球温暖化が道内主要作物に及ぼす影響と その対応方向 (2030年代の予測)

3. 畑作物における影響予測

竹内 晴信* 谷藤 健* 梶山 努*
松永 浩* 三好 智明* 佐藤 仁*

要 約

2030年代に予測される畑作物の生育・収量・品質と今後の技術的対応について検討した。秋まき小麦では、干ばつ地帯を除き減収傾向で生育が前進する。てんさいの根重は約10%増大し根中糖分が低下し高温病害の発生が増える。ばれいしょの収量は約15%減少し、植付け期の前進効果は小さく晩生品種でも収穫期が早まる。大豆の熟期は早まり、中生品種は増収傾向となって安定栽培地域が拡大する。小豆でも熟期が早まり、道央を除き増収傾向となるが、百粒重や規格内歩留の低下が懸念される。

1. はじめに

前報 (中辻ら2011) では、将来予想される地球温暖化によって、道内の気候がどのように変化するかを2つのモデル (CCSR, CGCM1) によって予測した。本報では、これまでに蓄積された作物の生育、収量データと過去の気象条件を基に、両者の関連性を明らかにするとともに、既往の作物モデル等も活用して、2030年代に予測される気候条件下で、主要畑作物の生育や収量性、病虫害発生にどのような影響が生じるのかについて予測した。同時に、今後の育種や栽培技術などの対応方向について検討した。

Impact of global warming on agricultural productivity in Hokkaido and adaptation strategies: Projections for the decades 2030s. 3. Predicting the effects on several arable crops

* 道総研 十勝農業試験場 Harunobu TAKEUCHI,
Ken TANIFUJI, Tsutomu KAJIYAMA,
Hiroshi MATSUNAGA, Tomoaki MIYOSHI,
Hitoshi SATOH

2. 秋まき小麦

1) 方法

(1) 気象要因と収量の関係解析

1990~2010収穫年の道内4農試における奨励品種決定基本調査の「ホクシン」収量および収量構成要素と、同年次の5~7月気象要素との関係を検討した。

(2) 作物モデルWOFOSTによる生育予測

気象データおよび土壌タイプに基づく作物生育シミュレーションモデルWOFOST (志賀2003) を用いて収量予測を行った。気象データの現在値は「メッシュ気候値2000」を、2030年代予測値は前報 (中辻ら2011) で示したCCSRおよびCGCM1による予測値を用いた (以下、各作物も同様)。計算開始日 (起生期) は融雪日に7日を加えた日、2030年代の融雪日には予測された長期積雪終日を充てた。土壌条件は地点ごとに代表的な2タイプを設定し、有効土層深は40cm (一部30cm) とした。また、水分制限のないポテンシャル収量 (PY1) と水分不足の影響を考慮した収量 (PY2) を算出した。

(3) 播種適期の予測

WOFOSTでは越冬前の条件は考慮されていな

いが、温暖化により秋季の条件も変化することから、2030年代の播種適期について検討した。「きたほなみ」の播種適期は、1997～2006年平年値を基に11月15日までの積算気温により算出される(北海道農政部2008)。

2) 結果と考察

(1) 気象要因と収量の関係解析

農試別および全場における「ホクシン」の生育、収量と5～7月の平均気象データとの相関を検討したところ、収量および収量構成要素と各月の気象要素の間には明瞭な関連性を見出すことはできなかった。そこで、月別の各気象要素を説明変数、収量を目的変数とした重回帰分析(ステップワイズ法)を行った結果、4場込みでは6月日照時間と7月最低気温が選択され、いずれも収量と有意な偏相関係数を示し、有意な重回帰式が得られた。このことから、秋まき小麦では、出穂・開花期前後の日照時間が長いことと、それ以降の気温は低く推移することが収量向上の要因であると推察された。しかし、2030年代の各地点の平均は、6月日射量が現在の0.80～0.87倍、7月最低気温が+1.16～1.64℃であり、いずれも収量の上ではマイナス方向への変化である。このため、図2-1に示すように、2030年代には推定収量が低収域に近い分布を示し、「ホクシン」においては、将来的には収量ポテンシャルの低下が推測された。

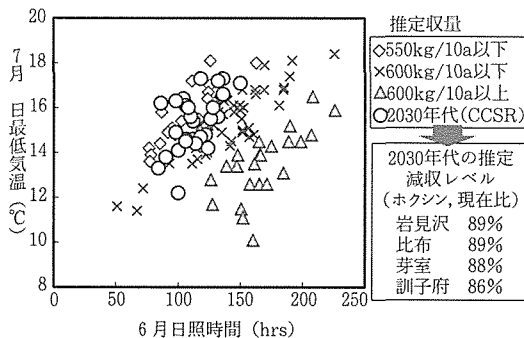


図2-1 収量レベル別にみた年・場所別の6月日照時間と7月最低気温の関係および2030年代予測気象による収量性の位置づけ

(注) 収量レベルは各気象要素を重回帰式にあてはめた推定値による。

(2) WOFOSTによる生育予測

各地点のPY1および土壌別のPY2を算出し、

代表的な4か所を表2-1に示した。2030年代予測気候では、全地域においてPY1は現在よりも減少した。さらにPY2は、水分不足ストレスが少ない道東の火山性土ではPY1に近いレベルを維持したものの、PY1そのものの低下に伴い現在よりも低収になると見積もられた。一方、道央転換畑など現在において水分不足ストレスを強く受ける地域では、2030年代はPY1こそ低下するものの、降水量の増加により収量は増加した。ただし2030年代には、開花～成熟に至る6、7月の降水量の増加が特に顕著であり、倒伏のリスクが増すとともに、現在の熟期の品種では穂発芽、低アミロのリスクも大幅に増加する。

一方、「ホクシン」の生育期節の予測では、2030年代には融雪期の早まりと春季以降の昇温によって起生期と成熟期は6～11日前進するが、登熟日数は大きく変わらないことが明らかとなった(表2-2)。

表2-1 作物モデルWOFOSTによる秋まき小麦のポテンシャル収量

(単位kg/10a)

地点(土壌)	水分条件	現在	2030年代
岩見沢(低地土)	PY1	784	719
	PY2	514	705
富良野(台地土)	PY1	764	690
	PY2	532	672
網走(火山性土)	PY1	863	771
	PY2	829	765
芽室(火山性土)	PY1	758	659
	PY2	755	645

PY1: 水分不足を考慮しない, PY2: 水分不足を考慮

(3) 播種適期の予測

2030年代気温予測値では、播種適期は現在より6～10日遅くなり、中でも道東の播種晩限は、最寒年を考慮した期日との比較では大幅に(11～13日)遅くなる(日平均気温3℃以上の日はすべて積算に加えた)(表2-2)。秋季の気温上昇は根雪始期の後退も意味しており、春季の融雪の前進とも合わせ、雪腐病被害のリスクを低減させる一方、凍害のリスクが増加する可能性もあることから、実際の播種適期については、こうした要因も加味して決定する必要がある。

表 2-2 積算気温に基づく「きたほなみ」の播種適期と WOFOST により予測した「ホクシン」の生育期節および登熟日数

地点	モデル	(月/日)				
		きたほなみ 播種適期	起生期	ホクシン 開花期		登熟日数
倶知安	現在	9/5~13	4/25	6/19	7/29	40
	2030年代	9/18~26	4/19	6/10	7/20	40
岩見沢	現在	9/16~24	4/13	6/8	7/18	40
	2030年代	9/26~10/4	4/3	5/29	7/8	40
旭川 (富良野)	現在	9/11~19	4/16	6/14	7/24	40
	2030年代	9/19~27	4/5	6/4	7/15	41
網走	現在	9/21~10/4	4/11	6/14	7/27	43
	2030年代	9/27~10/11	4/1	6/5	7/19	44
芽室	現在	9/15~28	4/6	6/11	7/24	43
	2030年代	9/23~10/6	3/26	6/2	7/15	43

注1) 現代は、「メッシュ気候値2000」の値、2030年代はCCSR予測値による。
 注2) 2030年代の播種適期は、11/15以降も日平均気温3℃以上の日を加えて算出した。
 注3) 播種適期は旭川、生育期節は富良野での値。

(4) 今後の対応方向

WOFOSTによるシミュレーション結果から、「ホクシン」と同等の特性をもつ品種の栽培は困難と予想される。既に、穂発芽耐性の高い「きたほなみ」が基幹品種に置き換わっており、今後は、品種開発面で各種湿害・雨害耐性のさらなる向上が必須となるほか、適正熟期の見直しの可能性もある。栽培面では特に排水不良圃場の改善が必要である。

なお、夏季高温であった2004、2010年の生育経過、収量の実態比較から、出穂以降の登熟日数が確保されれば、収量性や子実の充実へのダメージは抑制されると考えられた。突出した高温年においても安定生産を維持するためにはこの点が特に重要であり、将来的に予測される積雪期間の短縮、晩霜期の前進に合わせた生育確保の方策（播性の改変、起生期以降の速やかな養分吸収など）を今後検討していく必要がある。

3. てんさい

1) 方法

(1) 気象要因と収量・品質の関係解析

てんさいは他の作物より品種の置き換えが早く、地域による品種の変遷の違いや、圃場の排水性などの影響も大きいことから、1986~2010年の全道生産実績における収量、根中糖分の平均値を用い

て解析した。また、移植栽培、直播栽培は区別していない。気象データは、各製糖工場における作付面積に基づき、近傍のアメダス値を加重平均して全道平均気象データとした。

(2) 温暖化気候データによる収量と根中糖分の予測

上記の解析結果に基づき、根重および根中糖分と相関が最も高かった気象要因との回帰式を用いて2030年代の根重と根中糖分を予測した。なお、2030年代の気象データについ

ては、予測値と現在との差を上記の全道平均気象データの1986~2000年平均値に加算した値とした。

(3) 作物モデルWOFOSTによる生育予測

秋まき小麦と同様に、WOFOSTを用いて収量の変化を予測した。解析条件は直播栽培とし、対象地点は芽室、気象データはアメダス値を用いた。生育期節の計算に用いる有効積算温度は、日最高最低平均気温から換算した。出芽期は、日別の有効温度の播種からの積算値が55℃を越えた日とし、出芽期からの有効積算温度が650℃を越えた日から収穫部位への同化産物の分配が始まるものとした。計算開始日となる播種期の現在値は4月25日とした。2030年代の播種期は、現在と同様および現在の播種期と同じ気温の日まで前進した場合の二通りを設定した。WOFOSTによる収量は乾物で算出されるため、収穫部位乾物重を0.7倍して糖量とし、ポテンシャル収量とした。

2) 結果と考察

(1) 気象要因と収量・品質の関係解析

各気象要因と根重、根中糖分との関係について、旬別に各期間の相関を検討した結果、根重では4月中旬から6月下旬の積算最高気温と正の相関が、根中糖分については7月上旬から10月上旬の積算最低気温と負の相関が、それぞれ最も強く認められた。一方、降水量や日照時間の影響は判然としなかった。以上のことから、てんさいでは、春~

初夏が温暖化すると多収となり，夏～秋の温暖化で根中糖分が低下すると考えられた。

(2) 温暖化気候データによる収量と根中糖分の予測

各品種の「モノホマレ」に対する百分比を品種の作付面積で加重平均した値を収量補正值として実数値とともに気温条件と収量，根中糖分の関係を見た。しかし，両者の差は小さかったため，実数値より算出した回帰式を用いて，2030年代の生育期間は現在と同様と仮定し，道内の935メッシュについて根重，根中糖分，糖量を推定した。

その結果，根重は全道各地で増収する予測となり，全道平均では，根重が現在の55.7 t/haから61.6～62.2 t/haに増収し，根中糖分が17.0%から15.8～16.2%に低下し，糖量は9.46 t/haから9.73～10.1 t/haへと増加すると推定された (図3-1)。

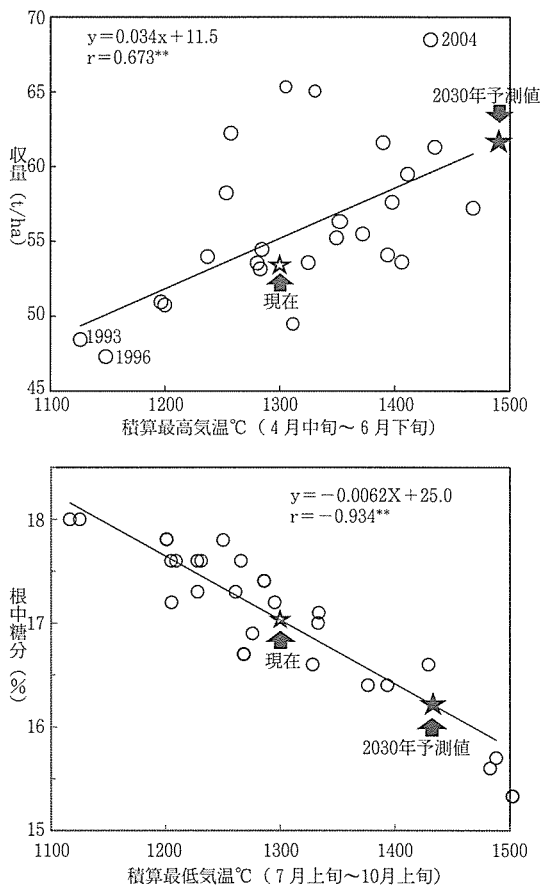


図3-1 てんさいの収量・根中糖分の気温に対する反応 (現在：1986～2000年の平均値)

(3) WOFOSTによる生育予測

WOFOSTによる生育予測の結果，現在における出芽から肥大停止までの生育日数は180日，最大可能収量としての糖量 (以下，単に糖量) は11.0 t/haと推定された。異常高温年となった2010年における生育日数は182日で平年並みであったが，最大LAIは平年を大きく下回った。糖量の平年 (現在) 比は88%であった。2010年の気温で，日射量を平年値とした場合の糖量現在比は85%となり，2010年における減収要因は気温の上昇が主因であると推定された。2030年代において，播種期を現在と同様とした場合の生育日数は196日となり，現在より16日長い。糖量現在比は92%と推定された。一方，気温上昇のみを考慮した場合の糖量現在比は105%で，2030年代における減収要因は日射量の減少にあると推定された。2030年代において，播種期を気温の上昇分だけ前進させた場合の生育日数は199日，糖量現在比は94%となった。播種期の前進が5日程度の範囲では，生育および糖量への影響は限定的であった。

生育予測値における収穫日と糖量の関係を図3-2に示す。2030年には最大糖量に達する時期が11月上旬にずれこむと予想され，10月下旬に収穫を行った場合には糖量がさらに低下する可能性があるため，収穫開始時期を遅らせることが必要である。

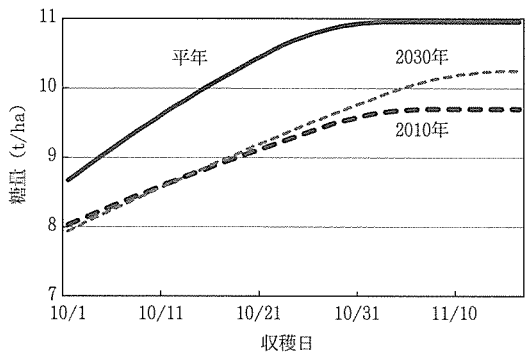


図3-2 WOFOSTにより予測したてんさい 収穫日と糖量の関係 (直播を想定，対象地点芽室，2030年代の気象はCCSRによる)

(4) 病害虫発生に対する影響

てんさいの重要病害であるテンサイ褐斑病は，

高温年の2000、2010年に多発し、その被害面積は6月中旬～8月下旬の積算最低気温と最も相関が高かった。今後の予測では、温暖化に加えて7月が多雨となる傾向のため、適期防除が困難となって本病の発生増加が予想される。近年は抵抗性品種の作付が増えてきているが、今後、初発時期の予測法確立が求められる。

高温性の病害であるテンサイ葉腐病は、特に夜温が高い年には早期に初発し、その後のまん延にも好適な条件となる。また、9月以降に高温多雨傾向が継続すると病勢が衰えない。このため、1次病斑をなるべく早い時期に見つけて薬剤散布を行う事が重要である。

てんさいの根部腐敗については、主にテンサイ根腐病、テンサイ黒根病と生理的な腐敗によって生じる。高温年に多発した過去の発生状況から、テンサイ根腐病(黒根病含む)の被害面積は6月中旬～8月下旬の積算最低気温と最も相関が高かったが、降水量との有意な相関は認められなかった。今後の気象変化により根腐症状の拡大が推測されるが、その対策としては、薬剤防除の他に抵抗性品種の作付けと排水対策が重要である。

一方、夏季が高温に経過した年にはヨトウガの発生が多く、摂食行動の活発化によって被害が増える。本害虫には薬剤防除の効果が高いが、幼虫の摂食行動が活発化すると要防除水準が変わると想定されるため、散布開始時期や回数の検討が必要であろう。

なお、2010年には、道内各地で南方からの飛来性害虫であるシロオビノメイガが発生し、著しい食害を受けた圃場も散見されたが、現在のところ、てんさいで本害虫に登録のある薬剤はない。

4. ばれいしょ

1) 方法

(1) 気象要因と収量・品質の関係解析

1990～2009年の作況調査における上いも収量、でん粉価、でん粉収量データを用いた。供試品種は「農林1号」「コナフブキ」「男爵薯」(十勝農試)、および「男爵薯」(中央・上川・北見農試)

である。気象データはアメダス値を用いた。

(2) 作物モデルWOFOSTによる生育予測

秋まき小麦と同様に、WOFOSTを用いて生育期節および収量の変化を予測した。解析地点として、十勝農試(芽室)および北見農試(訓子府)における各年の作況データ等を用いた。気象データはアメダス値を用いた。生育期節の計算に用いる有効積算温度は、ばれいしょの既定値を使用し、日最高最低平均気温から換算した。萌芽期は、植付からの日別の有効温度の積算値が170℃を越えた日とし、萌芽期からの有効積算温度が150℃を越えた日から塊茎への同化産物の分配が始まるものとした。塊茎肥大開始から枯凋期までの有効積算温度は、「紅丸」の熟期に相当する値として1675℃を設定した。植付期の現在の値は、芽室では5月9日、訓子府では5月13日とし、植付期の平均気温平年値はそれぞれ9.8℃および9.5℃とした。2030年代の植付期は、現在と同様および気温上昇に伴って現在の植付期と同じ気温の日まで前進した場合の二通りを設定した。また、WOFOSTによる収量(塊茎の全乾物重)を、乾物率を20%の生重に換算した。

(3) ジャガイモ疫病の初発期予測

ジャガイモ疫病発生予察システム(FLABS)(中央農試1991)における発病好適基準から、2008年の気象条件および2030年代の予測値により、初発期の変化を芽室町を例に予測した。

2) 結果と考察

(1) 気象要因と収量・品質の関係解析

十勝農試の「コナフブキ」および「農林1号」の収量、でん粉価、でん粉収量と月別の平均気温との関係(図4-1)を見たところ、収量と気温との間には全般に低い負の相関が認められ、両品種でほぼ同様の傾向であった。でん粉価も気温と有意な負の相関が認められる例が多く、特に生育後半の8、9月で相関係数が高かった。でん粉収量では、特に生育後半の8、9月の気温と有意な負の相関があった。また、両品種とも高温で生育期間が短くなる傾向であった。「男爵薯」では、でん粉価との間に有意な負の相関が見られた。降

水量、日射量との関係で有意な相関が認められたのは、6月の降水量と「農林1号」のでん粉価、7月の日照時間と「コナフブキ」の収量のみであった。これらのことから、今後の温暖化傾向はばれいしょの収量、品質を低下させると推測されるが、バラツキが大きいことから、その低下程度を予測することは困難と思われた。

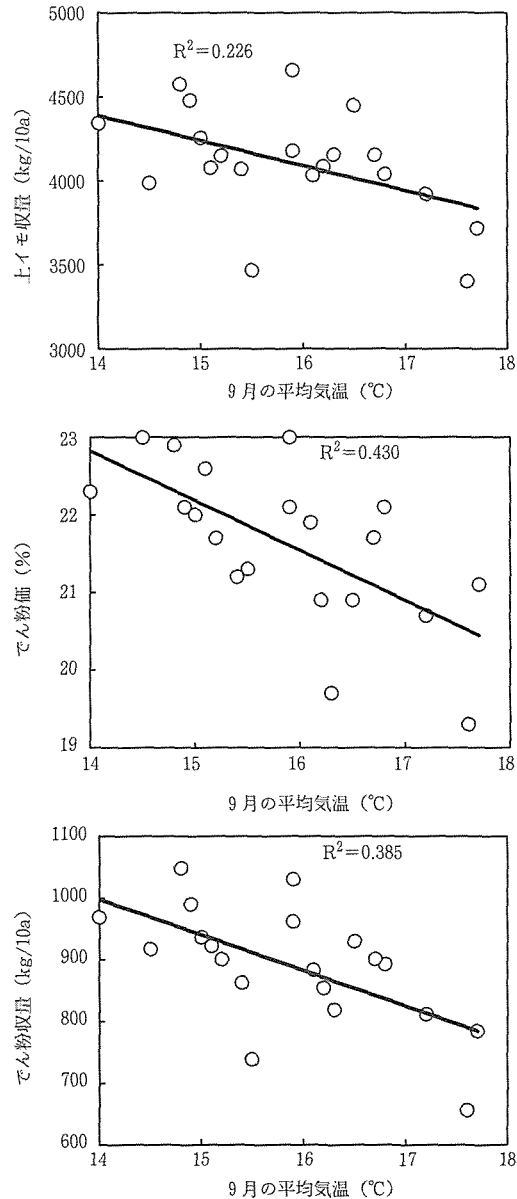


図4-1 ばれいしょ「コナフブキ」における9月の平均気温と上イモ収量、でん粉価、でん粉収量との関係 (十勝農試)

既往の報告(中央農試2004)では、概ね6月までの気温が高く夏季の気温が低い年は多収であったが、年間を通じて気温が高かった年の収量は平年を下回った。また、でん粉価は、夏季高温年で低く、夏季低温年で高い傾向がある。このように、ばれいしょに対する高温の影響は、初期生育の時期だと収量増加に寄与する場合もあるが、収量、でん粉価に対してマイナスの影響が大きい。

(2) WOFOSTによる生育予測

WOFOSTによる生育予測の結果を表4-1に示す。芽室と訓子府の結果は概ね類似していた。気象平年値による生育期節の予測日を2001年の作況平年値と比較すると概ね良く適合していた。異常高温年となった2010年における生育日数(萌芽期から枯凋期までの日数)は、芽室では(以下同)101日となり、平年より21日短かった。2010年における収量予測値は、50 t/haで、平年比では77%に相当した。気温を2010年、日射量を平年値とした場合の収量平年比は77%となり、2010年における減収要因は気温の上昇による生育日数の短縮が主因であり、日射量の寄与は小さいものと推定された。

2030年代において、植付期を現在と同様とした場合の生育日数は、114日、収量現在比は85%と推定された。気温の変化のみを考慮した場合の収量現在比は94%となり、2030年代における収量低下の主因は日射量の減少にあると推定された。植付期を気温の上昇分だけ前進させた場合の生育日数は115日となり、植付期を現在同様とした場合よりも1日長い程度で、収量平年比もほぼ同じであった。また、この場合の枯凋期は、9月13日まで早まると推定された。秋まき小麦の播種晩限が遅くなることを考慮すると、秋まき小麦の前作として利用できるばれいしょの熟期の選択肢が広がることが予想される。

(3) ジャガイモ疫病の初発期予測

芽室での2008年の発病危険期到達期は6月20日であったが、温暖化後では4日早く危険期に到達した。降水量がやや増加することから、初発後の病害の罹病程度は高まる可能性もある一方で、気

表4-1 WOFOSTによるばれいしょ生育予測結果

入力設定			計算結果					
地点	年代	気象要素	植付期	萌芽期	生育停止	生育日数	収量 t/ha	収量 現在比
芽室	現在	平年値	5/9 (5/10)	5/30 (5/27)	9/29 (9/27)	122	65	100
		気温 気温・日射	5/9	5/31	9/9	101	50 50	77 77
	2030 CCSR	気温	5/9	5/27	9/18	114	61	94
		気温・日射					55	85
		気温	5/1	5/21	9/13	115	62	95
		気温・日射					55	85
訓子府 (境野)	現在	平年値	5/13 (5/13)	6/4 (6/1)	10/12 (10/6)	130	70	100
		気温 気温・日射	5/13	6/2	9/14	104	55 53	79 76
	2030 CCSR	気温	5/13	5/31	9/27	119	65	93
		気温・日射					59	84
		気温	4/30	5/21	9/18	120	67	96
		気温・日射					60	86

- ・生育日数は萌芽期から生育停止まで
- ・平年値は2000年のもの、気象要素が「気温」のみの場合の日射量は平年値を仮定
- ・訓子府の気象データは、アメダス境野で代用
- ・収量（塊茎全重）は、乾物重での計算結果を乾物率20%と仮定して生重に換算
- ・カッコ内は、2001年における作況平年値（生育停止の欄には枯凋期を記載）

温上昇が疫病菌の生育適温を上回り、発病が抑制されることも考えられる。このため、疫病の被害としては変化が少ないと推定される。

(4) 今後の対応方向

温暖化によって予想されるでん粉価の低下は、下限値が設定されている加工用やでん粉原料用では影響が大きいことから、温暖化してもでん粉価に影響を受けにくい品種、あるいは現在よりでん粉価の高い品種の育成が必要である。また、気温の年次変動も大きくなると考えられることから、温度、土壌水分の変動によるストレスで生じる中心空洞や褐色心腐等の生理障害の発生が少なく、収量の安定性も高い品種の育成が重要である。

5. 大 豆

1) 方法

(1) 気象要因と生育・収量等の関係解析

生育・収量データとして、「ユキホマレ」(やや早)は1998~2010年、「トヨムスメ」(中生)は1985~2010年の道立各農試における奨励品種決定調査の値を用いた。気象データは、各年次における6~9月のアメダス値を用いた。

(2) 気温による生育期節等の推定

生育予測は、岩手県における大豆の生育予測(高橋・作山1998)を参考に行った。開花期予測には、堀江らの発育指数(DVI)を用いた。

$$\text{発育指数 DVI} = \sum \text{DVR}$$

$$\text{発育速度 DVR} = (1 + \exp(-A(T - T_h))) / G$$

ここで、G、A、T_hは品種固有のパラメーターで、Tは日平均気温である。これにより、播種日のDVIは0、開花期のDVIは1となる。播種期を5月20日、1971~2000年のアメダス平均気温を現在値とし、2030年予測気温を用いて主要地点の開花期の予測を行った。また、開花~成熟期の積算日平均気温と登熟期間中の気温特性により成熟期を予測した。

(3) 子実重の予測

上記の子実重と気象条件との関係解析結果から収量予測回帰式を導き、これに2030年代温暖化気候データを入力し、2030年代の子実重を予測した。

2) 結果と考察

(1) 気象要因と生育・収量等の関係解析

開花期および成熟期は、「ユキホマレ」「トヨムスメ」とも6~9月の気温と有意な負の相関が認

められた。また、成熟期は8月の日照時間と有意な負の相関が認められたが、相関係数は高くはなかった。子実重は、「ユキホマレ」では6～8月、「トヨムスメ」では6～9月の気温と有意な相関が認められた。

(2) 気温による生育期節等の推定

DVIによる開花期予測は、両品種とも比較的精度が高く、誤差も概ね3日程度と小さかった。

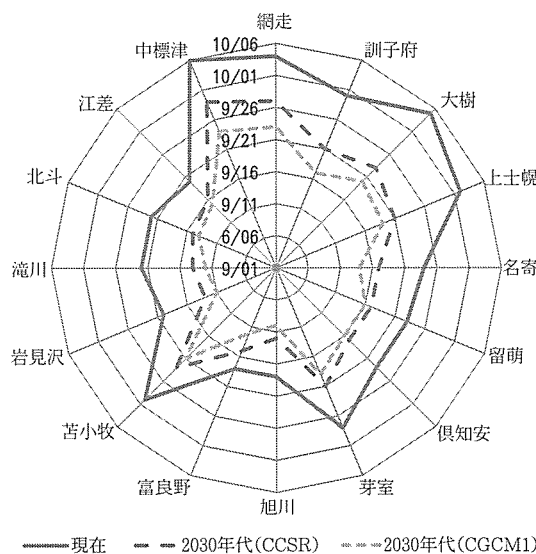
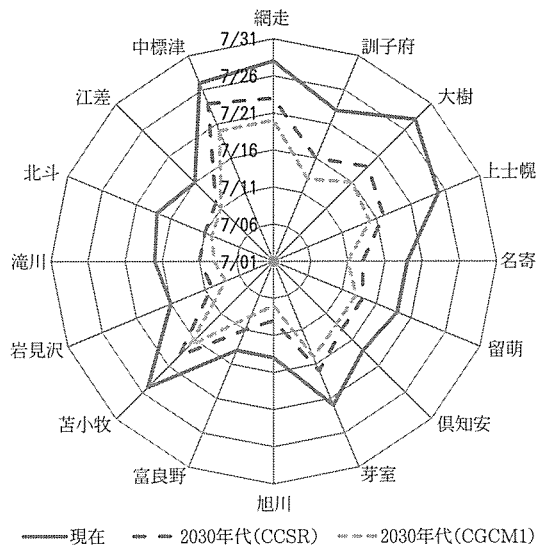


図5-1 大豆「ユキホマレ」の開花期および成熟期の予測値

開花～成熟期の積算日平均気温は、開花21～55または60日目の平均気温と相関が高く、この関係から成熟期の予測が可能であった。

予測した「ユキホマレ」の開花期は、現在より平均5.7～7.8日、成熟期は、平均7.3～9.8日、それぞれ早くなった(図5-1)。「トヨムスメ」の開花期は、平均7.0～9.2日、成熟期は平均8.7～10.9日、それぞれ早まった。このように、2030年代には「トヨムスメ」の成熟期が現在の「ユキホマレ」の成熟期とほぼ同等となり、やや早品種栽培地帯が中生品種栽培地帯に変化することが予想された。また、岩手県における開花期、成熟期の生育予測式で、5月20日を播種日として北斗市の2030年予測気温により計算すると、東北地方の品種が栽培できる可能性が示唆された。

一方、大豆栽培地帯区分における播種期は、旬平均気温が概ね10℃を超えた頃に設定されている。2030年の旬平均気温が10℃を超える時期を抽出すると、多くの地域で現在より播種期が10日程度早くなる可能性が示された。現在の大豆栽培地帯区分は、6～9月の積算平均気温及び無霜期間を主に、開花期前後の低温による障害、登熟期の霜害および収穫時期の降水確率を考慮して6つの地帯に分類されている。2030年代の気候予測値から地帯区分と播種可能時期を推定したところ、全ての地点で地帯区分が1～2ランク上がり、現在、大豆の栽培が困難な中標津町でも大豆栽培が可能になると考えられるなど、全道的な栽培地帯区分の見直しが必要と考えられた。

(3) 子実重の予測

子実重は夏季における各月の気温と有意な相関が認められたことから、6～8の平均気温から2030年代の子実重を予測した(図5-2)。「ユキホマレ」の最大収量は6～8月の平均気温が19.4℃の時であり、道東以外では2030年代の予測平均気温がこの温度を超えることから、十勝、オホーツクでは増収し、その他の地点では同等または減収すると予測された(表5-1)。「トヨムスメ」では一部を除き5～35%の増収となり、最大収量は6～9月の平均気温が19.8℃の時であった。し

たがって、予想される気温の上昇範囲内では、中生品種は増収するものの、一部地域では収量が頭打ちになると推察された。以上のことから、「ユキホマレ」は、現在の6～8月の平均気温が18℃以下の地点では増収が期待され、全道平均収量は365kg/10aと現在より16%増収すると推定されたが、その他の地域では増収が期待できる中生品種への変更が必要と考えられた。

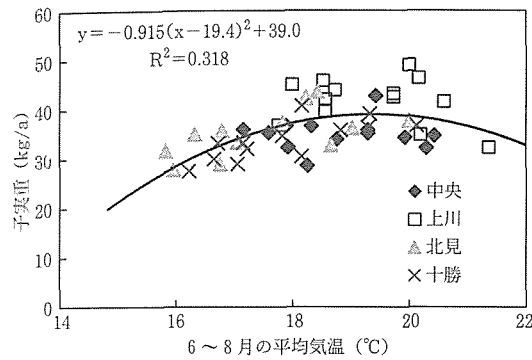


図5-2 大豆「ユキホマレ」の子実重と6～8月日平均気温の関係

表5-1 大豆「ユキホマレ」の子実重予測値

市町村	地帯区分	現代		2030年代 (CCSR)		現代比 (%)
		平均気温 (°C)	子実重 (kg/a)	平均気温 (°C)	子実重 (kg/a)	
網走市	I	16.5	31.1	17.3	35.0	(113)
訓子府町	I	17.1	34.2	18.4	38.1	(111)
名寄市	II	18.1	37.3	19.3	39.0	(104)
留萌市	II	18.3	37.8	19.4	39.0	(103)
大樹町	II	16.1	29.3	18.2	37.7	(129)
上士幌町	II	16.5	31.5	18.4	38.0	(121)
倶知安町	II	18.3	37.8	19.3	39.0	(103)
旭川市	III	19.2	38.9	20.5	37.8	(97)
富良野市	III	19.0	38.8	20.0	38.6	(99)
芽室町	III	17.4	35.3	18.4	38.1	(108)
岩見沢市	IV	18.9	38.8	20.6	37.7	(97)
滝川市	IV	18.6	38.4	20.1	38.6	(100)
北斗市	V	18.6	38.4	20.3	38.3	(100)
江刺町	VI	19.4	39.0	20.4	38.0	(97)
平均		18.0	36.2	19.3	38.0	(105)

(4) 2010年の高温年との比較

6～9月が著しい高温となった2010年における予測値と実績値を比較したところ、「ユキホマレ」では、各地点とも予測値より6～10日早く成熟期に達しており、登熟期間が短くなったことで子実重も予測より低下したと考えられる。中生の「ト

ヨムスメ」も同様に予測値より4～7日早く成熟期に達しているが、子実重はほぼ予測値どおりであった。

(5) 2030年代の予測に基づく技術的対応方向

① 中生～晩生品種導入による収量・品質の確保

2030年代には各地で中生品種の栽培が中心になると考えられるが、「ユキホマレ」並の機械収穫適性、複合障害抵抗性を持った中生品種は「トヨハルカ」のみで、耐湿性に劣るという欠点もある。また、「トヨムスメ」では開花19～33日後が高温となることで裂皮が激発することが報告されており（鴻坂ら2007）、裂皮のリスクが高くなると考えられる。今後は、中生～晩生で、複合障害抵抗性、機械収穫適性に優れた、高温下でも品質低下の少ない品種の開発が必要と考えられる。

② 病虫害への対応

2010年に十勝農試で多発した菌核病や、道南地方で多発した紫斑病は、高温多湿条件下で発生しやすく被害も大きいことから、今後の温暖化によりその発生拡大に注意が必要である。また、2010年は食葉性害虫やカメムシの発生が多く、ここ数年はマメシクイガの被害が増える傾向にあり、今後も被害が頻発する可能性がある。このような病虫害に対しては適切な防除対策を行うことが基本であるが、抵抗性品種の育成など長期的な取り組みも必要である。

6. 小豆

1) 方法

(1) 気象要因と生育・収量等の関係解析

十勝農試における1989～2010年の作況データより「エリモショウズ」の生育期節、収量、主茎長、収量構成要素を供試し、対応する芽室アメダスの気象データとの相関について検討した。

(2) 生育期節の予測

村田（1998）によれば、小豆の生育期節は、DVR法により大豆で示した式から予測することができる。これにより、出芽始、開花始、成熟期を推定した。また、1982～2009年の十勝農試の「エリモショウズ」の開花始と日平均気温の関係

式から開花期を予測した。

(3) 子実重の予測

地区別に小豆収量と生育期間の気象要素から回帰式を導き、これに2030年代の気候予測データを代入して子実重の予測を行なった。子実重は、農林水産統計1983～2009年の値を用いた。生育期間の気温は1983～2009年の6～9月のアメダス地点日平均気温を用いた。

(4) 品質の予測

登熟期間（開花始～成熟期）のアメダス地点日平均気温の平均値と、道立各農試における1989～2009年の生産力検定試験等による「エリモショウズ」の百粒重、規格内歩留（4.9mm篩別）の値から両者の関係を推定し、粒大の低下と規格内歩留の低下を予測した。

2) 結果と考察

(1) 気象要因と生育・収量等の関係

12年間の十勝農試作況収量と有意な相関が認められたのは、6月および6～9月の降水量である（負の相関）。一方、同時期の十勝地域における平均収量は、6～8月あるいは6～9月の平均気温との相関が最も高かった。また、生育期間および登熟日数は6～8月、6～9月の平均気温との相関が、播種期～開花始日数は6～7月の平均気温との相関が、それぞれ高かった。百粒重は特に登熟期間の気温と高い負の相関が見られた。

(2) 生育期節の予測

予測式を用いて推定した開花期、成熟期を実測値と比べると、高い確率でおよそ3日以内の誤差で予測することができた。この推定式を用いて、現在（1971～2000年）と2030年代について、日平均気温から道内15か所の開花始および成熟期を算出し、その生育期間および登熟期間の平均気温を推定した（表6-1）。播種期は5月20日を想定した。その結果、成熟期は現在よりも5～19日（CCSR）あるいは8～23日（CGCM1）早まった。地域別では、現在の6～9月の気温が低い地域において成熟期の前進が著しかった。

表6-1 2030年代（CCSR）の小豆生育予測

場 所	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	生育日数 (日)	現 代 との差	登熟平均 気温(°C)	6-9月平均 気温(°C)
北斗市	7/12	9/2	835	8	22.3	20.0
倶知安町	7/15	9/4	837	7	21.3	18.9
岩見沢市	7/9	8/29	831	8	22.4	20.1
滝川市	7/11	8/31	833	8	22.6	19.5
旭川市	7/9	8/29	831	8	21.1	19.8
富良野市	7/11	8/31	833	5	21.7	19.4
名寄市	7/13	9/2	835	8	20.8	18.7
留萌市	7/15	9/3	836	7	21.6	19.2
網走市	7/21	9/13	846	8	19.5	17.4
訓子府町	7/15	9/6	839	11	19.8	17.9
苫小牧市	7/19	9/7	840	7	21.0	18.6
大樹町	7/18	9/8	841	16	20.1	18.0
芽室町	7/17	9/7	840	8	20.3	18.2
上士幌町	7/16	9/7	840	15	20.1	18.0
中標津町	7/21	9/15	848	19	18.8	16.9
平均値	7/15	9/5	838	10	20.9	18.7

※播種日を5/20と想定した場合。

(3) 2010年における小豆の生育

2010年は小豆の生育期間を通して、予想される2030年代以上の高温条件であった。このため、小豆の成熟期は、各農試ともに推定式による予測日より7～12日早かった。また、百粒重は予測値より小さかった。さらに子実重は各農試ともに平年に比べ大きく減収しており、モデルで推定された気温以上に高温となる年ではより減収する可能性も示唆される。

(4) 子実重の予測

小豆の収量は生育期間の平均気温の2次式で表わすことができる（村田1987）。そこで、1983～2009年の6～8月平均気温と地区平均子実重の関係式（図6-1）から現在と2030年代の気象条件での収量を推定した。その結果、道央～道北では現在より減収し、後志以南では同水準、胆振と道東では増収が見込まれた（表6-2）。なお、道央では決定係数が比較的低かったが、これは、排水不良による湿害や干ばつの発生、短期輪作による病害の発生、収穫前の長雨などによる製品歩留低下などの影響と考えられた。

次に、2009年における全道各地の小豆栽培面積を用いて2030年代の全道小豆生産量を予測したところ、全道平均ではおよそ12%程度増収すると予想された。ただし、2030年代の気候予測は平均的

な値として予測しており、冷害の発生は少なくなるものの、温暖化と共に気象変動が拡大する懸念があり、収量変動を大きくすることが予想される。

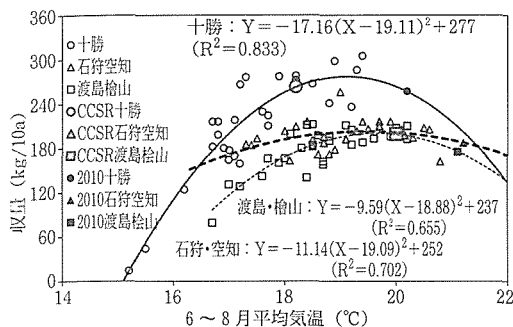


図 6-1 6～8月平均気温による小豆の地区平均収量の予測（1983～2009年）

表 6-2 6～8月の平均気温による2030年代の各地域の収量予測

地域	現在 (1971-2000年)		2030年代 (CCSR)		期間対比 (%)
	6-8月平均気温 (°C)	地域収量 (kg/10a)	6-8月平均気温 (°C)	地域収量 (kg/10a)	
石狩・空知	18.9	201	20.6	196	98
上川・留萌	19.2	201	20.5	192	96
後志	18.3	231	19.3	230	100
渡島・檜山	18.6	187	20.3	195	104
胆振	17.2	210	18.6	236	112
十勝	17.4	226	18.4	268	119
オホーツク	17.1	208	18.4	246	118
全道					112

(5) 品質の予測

作況データによる小豆の百粒重は、登熟期間の気温が高くなるにしたがって低下し、低下割合も大きくなっていった（図 6-2）。また、登熟期間の気温が21.0°Cを超えるとおよそ80%以下に低下する傾向が認められた。一方、中央農試における1999～2004年の「エリモショウズ」の粒度分布は、登熟期間の気温の上昇により小さい規格の子実割合が多くなり、特に登熟期間が21°C以上では流通規格（4.3mm 篩目上）に満たない子実の割合が著しく増えた。加えて、温暖化で粒色が濃くなることも知られており、外観品質の低下も懸念される。また、成熟期前後の気温が高いため、この時期の長雨により雨害粒が発生する可能性も高まるなど、品質低下に対するリスクが増大するものと考えられる。

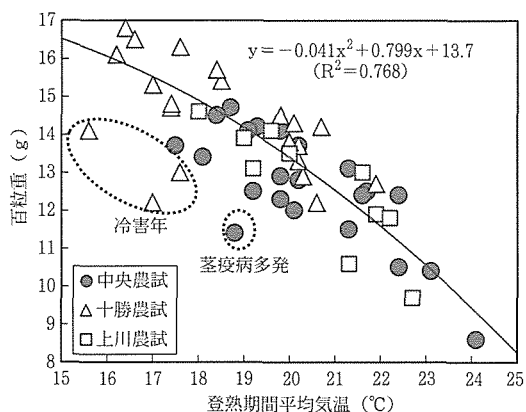


図 6-2 小豆の登熟期間の気温と百粒重の関係（1989～2009年）

(6) 病害虫の予測

6～7月の気温上昇と降水量増加に伴い、排水不良畑ではアズキ茎疫病の発生が増える可能性がある。同様にこれまで上川、空知地域を中心に発生がみられたアズキ萎凋病が他地域に広がる懸念もある。また、小豆の生育が良好になり、繁茂・倒伏するとアズキ菌核病やアズキ灰色かび病の被害が多くなると考えられる。これまで道央・道南地域に限定されたアズキさび病の被害が道東にも広がったり、本州を中心に被害がみられるモザイク病が道央や道南で広がる可能性もある。

害虫では、メイガやカメムシによる食虫害や、冬期の温暖化によるアズキゾウムシなどの貯穀害虫の発生・被害の増加が懸念される。

(7) 2030年代の予測に基づく技術的対応方向

①栽培による対策

晩霜の早期化によって播種期を現在よりも早くした場合、初期生育は現在と変わらず、登熟期間の高温化で百粒重が低下し減収すると予測されるため、播種期を早めるメリットは少ないと考えられる。一方、成熟予測式を用いて初霜害を受けないように成熟期を初霜日から15日前に設定すると、初期生育が高温下になるため早熟化する可能性がある。また、6月下旬以降の播種では、短日条件によって早期に花芽分化することも考えられ、播種期後退に適した品種の育成が必要となろう。

②品種による対策

高温化によって生育期間や登熟期間が短縮することを想定すると、これまでの中生より晩生の品種が必要となる。また、高温登熟条件でも粒色が濃くならない「きたあすか」のような品種が望まれる。道央や道南など温暖化の著しい地域では、短日要求性を持つ本州型の品種が必要とされる可能性もある。

③生産地の移動による対策

これまで小豆栽培が少なかったオホーツクや上川北部、根釧地域などでは、気象条件的に小豆の栽培が可能になると予想されたことから、今後、導入が進む可能性がある。輪作体系上、豆類の割合が少ない地域であるだけに、今後の小豆の安定供給には重要な地域となるかもしれない。

7. まとめ

1) 秋まき小麦：融雪期の早まりと春季以降の昇温で起生期と成熟期は前進するが、登熟日数は現在と大差ない。収量は5月以降の日射量の減少で現在より10～20%低下する。開花期～成熟期の降水量の増大により、水分ストレスが緩和される一方で倒伏や穂発芽の増加が懸念される。播種適期は6～12日遅くなる。

2) てんさい：生育期間が現在並であれば、気温の上昇により根重は増大する（現在平均56 t/ha → 62 t/ha）が、根中糖分は低下する（同17% → 16%）。高温病害の初発が早まり発生量も多くなる。

3) ばれいしょ：収量は現在より約15%減少し、減収要因は気温の上昇よりも日射量の減少にある。気温上昇に伴って植付期を前進させても収量の変化は小さいが、紅丸相当の熟期でも収穫期は9月中旬まで早まる。

4) 大豆：播種期を現在並とすると開花期、成熟期は6～9日程度早まる。地帯別栽培指針での地帯区分は現在から1～2ランク上がり、安定栽培地域が拡大する。「ユキホマレ」の収量は6～8

月の平均気温が18℃以下の地域では増収するがそれ以上では減収し、中生品種の選定が必要となる。

5) 小豆：開花期と成熟期は3～19日早まり、栽培可能地域が根室管内にまで拡大する。主産地の十勝・オホーツクで増収、後志・渡島で変化なし、上川で減収となり、現状の作付面積で試算すると道内全体では15%の増収となる。登熟期間の昇温で百粒重が低下し、道南、道央の一部で規格内歩留の低下が懸念される。

引用文献

- 1) 中央農試 (2004)：平成15年夏季の低温とその後の気象が農作物に及ぼした影響に関する調査報告書、道農試資料33
- 2) 中央農試 (1991)：アメダスを利用したジャガイモ疫病の高精度発生予察システムの確立、平成3年普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部、69-74
- 3) 中央農試ほか (2008)：めん用秋まき小麦「きたほなみ」の高品質安定栽培法、平成20年普及奨励ならびに指導参考事項、北海道農政部、67-69
- 4) 鴻坂扶美子・大西志全・田中義則 (2007)：開花期以降の気象条件からみたダイズ裂皮発生要因、日本育種学会・日本作物学会北海道談話会会報、48、97-98
- 5) 村田吉平 (1998)：北海道における作物育種、(株)北海道協同組合通信社、148-152.
- 6) 村田吉平 (1987)：我が国におけるマメ類の育種、(株)明文書房、364-373.
- 7) 中辻敏郎ら (2011)：地球温暖化が道内主要作物に及ぼす影響とその対応方向 (2030年代の予測)
 1. 2030年代の気候予測および技術的対応方向 (総論)、北農、78(4)、75-83
- 8) 志賀弘行 (2003)：作物モデルを活用した秋まき小麦の収量変動評価・予測法、土肥誌、74(6)、835-838
- 9) 高橋智宏、作山一夫 (1998)：岩手県における大豆の生育予測と作期策定、1. 大豆の生育予測、日作東北支部報、41、41-42
- 10) 高橋 亨、伊藤美和、鈴木 武 (1991)：大豆百粒重の生長関数からみた低下要因、東北農業研究、44、117-118