

## IV 2010年の北海道の特異的な気象がテンサイ収量および病害発生におよぼした影響

高橋宙之・田口和憲・岡崎和之・黒田洋輔  
寒地バイオマス研究チーム(現 畑作研究領域)

### 1. はじめに

テンサイ (*Beta vulgaris* L.) は、日本国内では北海道のみで栽培されている製糖原料作物で、国内で消費される砂糖の約3割を担っている。テンサイの栽培面積は62,559ha (2010年) で、北海道ではコムギ (116,300ha) に次ぐ面積を占め、畑輪作体系を維持する上で欠かせない重要な作目である。また、道内8ヶ所の工場で操業する製糖業は、畑作地帯における雇用・産業収入創出の場として重要な地位を占める。ところが2010年は、春先の低温による生育遅延、そして、夏季の高温・多雨による褐斑病および黒根病の甚大な発生の影響を受け(写真1)、1986年の糖分取引開始以降、四半世紀が経過する中で最低の根中糖分(15.3%) および産糖量(466,487t) を記録した。その結果、テンサイにかかる共済金の支払総額は96億6千万円と過去最高額となり、大きな損害を北海道農業に与えることになった。そこで

本稿では、2010年のテンサイの深刻な低収量の要因である気象条件の影響を解析するとともに、今後、同様の事態に備えるべく耐病性品種利用の有効性について検討した。

### 2. 材料および方法

2010年の気象条件がテンサイ栽培におよぼした影響を検討するために、まず気象データは、気象庁公表のアメダスデータ(気象庁 HP: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>) から気温、降水量および日射量を利用した。また、栽培データは農林水産省公表の作物統計資料(農林水産省 HP: <http://www.maff.go.jp/j/tokei/>) および社団法人北海道てん菜協会発行の「てん菜糖業年鑑」から栽培面積、収量(根重、根中糖分、製糖歩留り(歩留)および産糖量)、病害発生面積(褐斑病および根腐症状)の諸データを利用した。なお、根腐症状には、*Aphanomyces*



写真1 病害激発圃場(上:黒根病激発圃場、下:褐斑病激発圃場)

菌による黒根病, Rhizoctonia 菌による根腐病, 湿害による腐敗など根部腐敗を伴う症状全てが含まれる。いずれも糖分取引制度が始まった1986年から2010年までの25ヶ年のデータを利用したが, 病害データは1987年から2010年までの24ヶ年を利用した。また, 気象条件と収量性および病害発生との単相関分析を24ヶ年のデータを利用して実施した。

さらに, 北海道農業研究センターで育成した北海系統の2009年と2010年の全道5か所における生産力

検定試験データを利用して, 耐病性品種利用の有効性を検証した。

### 3. 結果および考察

#### 1) 2010年の気象経過

2010年の気象経過を表1に示す。気温の推移に関して, 十勝地方(帯広, 表1-1)と網走地方(網走, 表1-2)で地域差が若干認められるが, ともに生育初期にあたる5月下旬までは平年より2℃程

表1-1 十勝地方の2010年および平年の気象経過 (帯広測候所アメダスデータ)

月	旬	気温(℃)									降水量(mm)			日照時間(hr)		
		日平均			日最高			日最低			2010	平年	差	2010	平年	差
		2010	平年	差	2010	平年	差	2010	平年	差						
4月	上	4.5	3.3	1.2	11.0	8.9	2.1	-0.9	-1.6	0.7	11	17	-6	64	67	-3
	中	4.0	5.2	-1.2	8.9	11.2	-2.3	0.1	0.1	0.0	27	21	5	50	64	-14
	下	4.2	7.7	-3.5	9.6	13.9	-4.3	0.1	2.2	-2.1	48	23	25	42	66	-25
5月	上	11.1	9.3	1.8	17.6	15.7	1.9	5.0	3.7	1.3	21	26	-5	65	64	1
	中	9.5	11.3	-1.8	15.9	18.0	-2.1	5.3	5.5	-0.2	30	30	0	43	64	-21
	下	10.3	12.3	-2.0	16.0	18.9	-2.9	6.2	6.8	-0.6	97	25	72	47	72	-25
6月	上	12.9	13.4	-0.5	20.2	19.8	0.4	8.1	8.6	-0.5	6	33	-27	58	52	6
	中	18.1	14.5	3.6	24.8	20.3	4.5	13.4	10.0	3.4	28	27	1	68	48	20
	下	21.0	15.6	5.4	26.9	21.1	5.8	16.4	11.4	5.0	30	27	3	66	45	21
7月	上	20.3	16.8	3.5	24.4	22.2	2.2	17.7	12.7	5.0	60	32	28	15	42	-27
	中	21.0	18.0	3.0	27.0	23.0	4.0	16.3	14.3	2.0	37	40	-3	53	35	18
	下	20.7	20.3	0.4	25.6	25.6	0.0	17.2	16.3	0.9	95	23	72	25	46	-21
8月	上	24.0	20.8	3.2	29.9	26.3	3.6	19.2	16.7	2.5	18	34	-17	46	49	-3
	中	23.2	20.2	3.0	28.5	25.1	3.4	18.8	16.5	2.3	113	45	68	68	40	27
	下	23.0	19.1	3.9	29.2	24.0	5.2	19.1	15.5	3.6	48	60	-12	47	44	3
9月	上	22.5	17.8	4.7	28.5	22.5	6.0	17.6	14.0	3.6	18	49	-31	65	40	25
	中	18.5	16.0	2.5	23.5	21.0	2.5	15.0	11.7	3.3	35	52	-17	30	46	-16
	下	14.3	14.2	0.1	19.6	19.9	-0.3	9.4	9.2	0.2	11	38	-28	61	54	7
10月	上	14.1	11.9	2.2	18.5	17.8	0.7	10.4	6.6	3.8	90	28	62	43	57	-14
	中	11.3	9.7	1.6	16.0	15.7	0.3	7.5	4.3	3.2	24	30	-7	35	58	-23
	下	7.1	7.5	-0.4	13.2	13.1	0.1	2.0	2.3	-0.3	1	34	-33	69	61	8
総平均・総計		15.0	13.6	1.5	20.7	19.2	1.5	10.7	8.9	1.8	843	692	151	1,059	1,114	-55

1) 平年値は1971~2000年の30年平均値

表1-2 網走地方の2010年および平年の気象経過 (網走地方気象台アメダスデータ)

月	旬	気温(℃)									降水量(mm)			日照時間(hr)		
		日平均			日最高			日最低			2010	平年	差	2010	平年	差
		2010	平年	差	2010	平年	差	2010	平年	差						
4月	上	3.9	2.3	1.6	8.3	6.4	1.9	0.4	-1.3	1.7	21	20	1	48	58	-10
	中	3.7	3.8	-0.1	8.0	8.3	-0.3	0.1	0.1	0.0	3	14	-11	68	58	11
	下	3.5	6.1	-2.6	7.2	10.9	-3.7	0.6	2.0	-1.4	18	21	-3	51	60	-8
5月	上	8.3	7.5	0.8	12.9	12.3	0.6	4.6	3.5	1.1	25	20	5	39	58	-19
	中	8.5	9.5	-1.0	11.8	14.6	-2.8	5.4	5.3	0.1	27	22	5	48	58	-9
	下	7.9	10.5	-2.6	11.2	15.1	-3.9	5.1	6.4	-1.3	38	24	14	75	70	6
6月	上	12.2	12.0	0.2	16.5	16.4	0.1	8.5	8.4	0.1	6	20	-14	67	60	7
	中	17.8	12.7	5.1	22.5	16.7	5.8	14.0	9.3	4.7	30	23	7	105	56	48
	下	19.3	13.7	5.6	23.5	17.5	6.0	15.7	10.6	5.1	49	16	33	75	58	18
7月	上	17.4	15.5	1.9	20.1	19.3	0.8	15.8	12.3	3.5	30	22	8	15	60	-46
	中	17.4	16.6	0.8	20.7	20.3	0.4	15.1	13.7	1.4	51	29	21	44	51	-7
	下	20.3	19.3	1.0	24.1	23.3	0.8	17.3	16.1	1.2	19	27	-8	37	64	-27
8月	上	23.4	19.7	3.7	27.3	23.7	3.6	20.3	16.6	3.7	37	28	10	54	57	-3
	中	22.2	19.5	2.7	26.4	23.2	3.2	19.3	16.6	2.7	64	31	33	59	51	8
	下	22.2	19.0	3.2	26.0	22.6	3.4	19.0	15.9	3.1	15	40	-25	51	62	-11
9月	上	21.2	17.5	3.7	24.7	21.2	3.5	18.1	14.3	3.8	37	39	-2	58	50	8
	中	18.1	16.0	2.1	22.0	19.8	2.2	15.1	12.7	2.4	5	40	-35	58	56	2
	下	14.1	14.4	-0.3	18.5	18.6	-0.1	10.6	10.6	0.0	2	31	-29	54	57	-3
10月	上	14.0	12.4	1.6	17.9	16.6	1.3	10.5	8.4	2.1	45	22	23	57	58	-1
	中	11.2	10.5	0.7	15.0	14.7	0.3	7.9	6.4	1.5	10	25	-15	38	51	-13
	下	8.4	8.3	0.1	12.4	12.2	0.2	3.9	4.4	-0.5	13	29	-16	62	49	14
総平均・総計		14.0	12.7	1.3	18.0	16.8	1.1	10.8	9.2	1.7	540	541	-1	1,164	1,200	-36

1) 平年値は1971~2000年の30年平均値

度低温で推移し、6月中旬から収穫直前の9月中旬までは平年より3℃程度高温で推移した。特徴的なのは、両地方ともに9月に入っても最低気温が15℃以上あり、さらに10月上旬においても最低気温が10℃を上回った点である。

降水量は、十勝地方では5月下旬の総降水量が97mmと平年の約4倍あり、また、畦間被覆期を過ぎた7月下旬以降も断続的に集中的な降雨があったため、収穫期に至るまで畦間は常に湿気を帯びた状態が観察された。栽培期間（4月～10月）の総降水量は、平年と比べて約150mm多く、極めて多雨な条件となった。一方、網走地方の栽培期間（4月～10月）の降水量の総計は平年値と同等であり、十勝地方と比べて約300mm少なかった。しかし、6月から8月にかけて断続的に集中的な降雨が続き、同期間の総雨量は平年よりも約60mm多かった。

日照時間は十勝地方および網走地方共に、栽培期間（4月～10月）の総計ではそれぞれ平年よりわずかに少なかったが、移植時期にあたる4月下旬から5月中旬にかけては寡日照、初期生育期にあたる6月は平年より日照に恵まれた。7月以降、十勝地方は平年と比べて日照時間の変動が大きく（±25時間）、また、網走地方は7月以降寡日照に経過して、

特に7月は平年より80時間少なかった。

## 2) 2010年の病害発生状況

1987年から2010年までの病害発生状況を表2に示す。2010年の褐斑病発生面積は50.4千haで、2000年の54.9千haに次ぐが、作付面積に対する発生率は80.5%（2000年は79.3%）で糖分取引開始以降最大となった。また、被害面積21.0千ha（作付面積に対する被害面積率33.6%）も糖分取引開始以降最大であり、記録的な激発年となった。褐斑病は、甚発生時には収量および根中糖分ともに著しく低下させるが、軽発生時においても根中糖分への影響が大きく（斉藤・細川、1964年；成澤、1973年）、2010年は発生面積および被害面積ともに広域であったため、深刻な低糖分をまねくことになった。

2010年の根腐症状発生面積は27.7千ha（作付面積に対する発生率44.2%）、そして被害面積は8.3千ha（作付面積に対する被害面積率13.3%）と過去最大の被害となった。根腐症状は、主に糸状菌に属するAphanomyces菌の感染による黒根病とRhizoctonia菌の感染による根腐病によって引き起こされるが、特に甚大な被害をもたらすのは前者の黒根病である（梶山・田中、2001年）。1996年、1999年および2000年の収量低下は、黒根病が多発したことが原因とさ

表2 テンサイ病害発生状況（1987～2010年）

年次	褐斑病					根腐症状				
	発生面積		被害面積		発生量	発生面積		被害面積		発生量
	(千ha)	率(%)	(千ha)	率(%)		(千ha)	率(%)	(千ha)	率(%)	
1987	18.4	26.0	1.3	2.0		14.5	20.0	1.2	2.0	
1988	23.7	33.0	0.6	1.0		13.7	19.0	0.7	1.0	
1989	18.3	25.5	1.0	1.4		15.6	21.7	0.6	0.9	
1990	38.3	53.1	5.9	8.2		19.4	27.0	3.0	4.1	
1991	35.0	48.6	3.1	4.3	並	11.1	15.4	1.3	1.9	やや少
1992	38.3	54.3	4.3	6.0	やや多	13.5	19.1	0.4	0.6	少
1993	24.3	34.7	0.4	0.5	やや少	11.6	16.5	0.1	0.1	少
1994	35.7	51.1	5.3	7.7	やや多	12.1	17.4	0.0	0.1	並
1995	31.8	46.1	2.0	2.9	並	14.9	21.5	0.9	1.3	並
1996	27.9	40.0	3.6	5.1	並	14.0	20.0	1.1	1.6	並
1997	25.3	37.0	1.0	1.5	並	10.1	14.7	0.1	0.2	やや少
1998	29.0	41.3	0.7	0.9	やや少	12.8	18.2	0.5	0.8	並
1999	27.1	38.7	2.5	3.5	並	17.2	24.5	4.8	6.8	多
2000	<b>54.9</b>	79.3	18.6	26.8	多	20.7	29.9	4.9	7.2	多
2001	17.8	27.0	0.5	0.7	少	11.1	16.9	1.2	1.8	やや少
2002	12.7	19.0	0.0	0.1	少	6.5	9.7	0.1	0.1	少
2003	4.6	6.7	0.0	0.0	少	4.3	6.3	0.0	0.0	少
2004	7.3	10.8	0.3	0.4	やや少	5.1	7.5	0.4	0.6	やや少
2005	10.8	16.0	1.2	1.8	並	5.6	8.3	0.4	0.5	やや少
2006	32.6	48.4	5.0	7.5	やや多	6.6	9.8	0.5	0.8	やや少
2007	30.4	45.7	5.2	7.9	やや多	6.4	9.6	0.3	0.4	やや少
2008	24.8	37.6	2.6	4.0	並	6.3	9.5	0.0	0.0	少
2009	17.9	27.7	1.4	2.2	やや少	8.5	13.1	0.3	0.4	並
2010	50.4	<b>80.5</b>	<b>21.0</b>	<b>33.6</b>	多	<b>27.7</b>	<b>44.2</b>	<b>8.3</b>	<b>13.3</b>	多
平均	26.5	38.7	3.6	5.4		12.0	17.5	1.3	1.9	
最大	<b>54.9</b>	<b>80.5</b>	<b>21.0</b>	<b>33.6</b>		<b>27.7</b>	<b>44.2</b>	<b>8.3</b>	<b>13.3</b>	
最少	4.6	6.7	0.0	0.0		4.3	6.3	0.0	0.0	

れ、2010年の深刻な低収化も黒根病の激発によることが確認されている（農林水産統計・平成22年産てんさいの作付面積および収穫量（北海道）、2011年1月13日農林水産省公表）。

### 3) 2010年のテンサイ生産実績

1986年から2010年までの生産実績を表3に示す。

作付面積は、産糖量調整のため作付指標面積が2003年以降68千haに定められてから漸減傾向にあったが、2010年は、糖分取引制度開始以降最低の栽培面積を記録した前年2009年（64.4千ha）をさらに約1.8千ha下回る62.6千haとなり、作付指標面積を大きく下回った。作付面積が減少した原因としては、2009年の黒根病の激発で局地的に深刻な低収量になったため（田口ら、2010年）生産者の耕作意欲が低下したことに加えて、新たな農業政策（農業の担い手に対する経営安定化のための交付金の交付に関する法律）の施行やWTO農業交渉等国際交渉の動向など見通しの不安定さに起因していると考えられる。

根重は49.4t/haで、1986年の糖分取引制度開始以降、1996年の47.3t/haおよび1993年の48.3t/haに次

表3 テンサイ生産実績（1986～2010年）

年次	全道				
	作付面積 (千ha)	根重 (t/ha)	根中糖分 (%)	歩留 (%)	産糖量 (万t)
1986	72.1	53.5	17.2	16.32	63.0
1987	71.4	53.6	16.9	16.36	62.6
1988	71.8	53.6	17.3	16.85	64.9
1989	71.9	51.0	17.0	16.77	61.4
1990	72.0	55.5	16.4	16.12	64.4
1991	71.9	57.2	17.6	17.47	71.9
1992	70.6	50.8	17.6	17.49	62.6
1993	70.1	48.3	18.0	17.78	60.2
1994	69.8	55.2	15.6	15.14	58.3
1995	70.0	54.5	17.3	17.07	65.1
1996	69.7	<b>47.3</b>	17.6	17.39	57.3
1997	68.3	54.0	17.6	17.47	64.4
1998	70.0	59.5	16.6	16.32	68.0
1999	70.0	54.1	16.6	16.29	61.7
2000	69.1	53.2	15.7	15.50	56.9
2001	65.9	57.6	17.6	17.49	66.4
2002	66.5	61.6	17.8	17.63	72.3
2003	67.9	61.3	18.0	17.89	74.4
2004	68.0	68.5	17.2	16.87	78.6
2005	67.5	62.2	17.1	18.86	70.8
2006	67.4	58.2	16.4	16.20	63.6
2007	66.6	64.6	16.7	16.50	70.9
2008	66.0	64.4	17.4	17.24	73.2
2009	64.4	56.6	17.8	17.54	64.0
2010	<b>62.6</b>	49.4	<b>15.3</b>	<b>15.09</b>	<b>46.6</b>
平均	68.8	56.2	17.1	16.87	64.9
最高	72.1	68.5	18.0	18.86	78.6
最低	<b>62.6</b>	<b>47.3</b>	<b>15.3</b>	<b>15.09</b>	<b>46.6</b>

ぐ低水準であり、直近10ヶ年（平均66.9t/ha）と比較しても、異例の値である。低収量になった要因は、1996年の場合は、生育初期の低温と地域的に多発した湿害および根腐症状であり（手塚ら、1998；妹尾ら、1998）、また、1993年の場合は、生育初期の低温と多雨の影響であった（手塚ら、1995；梶山ら、1995）。2010年の低収量に関しては、生育初期の低温と生育盛期の高温と多雨による病害多発が原因と考えられた。

根中糖分は15.3%で、糖分取引制度開始以降の最低値を記録した。根中糖分が16%以下となったのは、1994年の15.6%および2000年の15.7%で、1994年は夏季の高温・寡雨および褐斑病の多発生（吉村ら、1996）、2000年は夏季の高温・多雨および褐斑病・黒根病の多発生が要因である（梶山・田中、2001；工藤ら、2002；渡辺ら、2002）。また、歩留も15.09%で、根中糖分同様、糖分取引制度開始以降で最低の値を記録した。

産糖量は46.6万tで、交付金対象数量の64万tを大きく下回り、かつてない低産糖量を記録した。産糖量が40万t台を記録したのは、糖分取引制度開始前の1983年（46.8千t）が最後で、糖分取引制度開始以降で最低であった2000年の56.9千tを約10千t下回る深刻な事態となった。そのため、当初予定されていたバイオエタノールの実証試験生産（北海道バイオエタノール株式会社、清水町）に充てる原料が、2010年産原料からは全く生じなかった。

### 4) 気象条件と収量および病害発生との相互関係

気象条件、収量および病害発生は相互に関係していることは、作物一般に古くから知られている。テンサイにおいても種々の報告がなされているが、今回利用したデータについても新たな知見が得られた。なお、解析にあたって、病害データが全道集計データであるため、気象データはテンサイ主産地である十勝地方（2010年作付面積占有率44.0%）および網走地方（同42.1%）の平均値を算出して利用した。なお、日照時間との関係については、明確な傾向が得られなかったため省略した。

また、病害発生と気象条件の関係について、褐斑病および根腐症状ともに、発生面積率および被害面積率の双方で単相関分析したが、被害面積率でより明瞭な傾向が得られたため、ここでは被害面積率との関係を示す。

### (1) 根重と気象条件（降水量，気温）の関係

根重と気象条件の単相関分析結果を表4-①に示す。降水量との関係では、5～6月、4～6月および通年の合計降水量との間にそれぞれ5%水準で有意な負の相関が認められた。既報においても生育初期（特に6月）の降水量と根重には負の相関が認められるとされており（柘植ら，1983；松崎ら，1984），根圏が十分に発達していない生育初期に多雨に遭遇することで、水分過多によるストレスや地温低下によって生育が抑制されていると考えられた。また、栽培期間を通じて負の関係にあることから、多雨条件はテンサイ栽培には不適であることが明らかである。

根重と気温では、5月から6月の気温、10月の気温との間に有意な正の相関が認められた。松崎ら（1983）の指摘と同様に、特に5～6月の最高気温との相関が最も高く認められたことから（ $r = 0.62$ ，1%水準で有意），生育初期が温暖に経過することで初期生育が促される結果、根重が増大すると考えられた。また、10月の気温については、同時期の気温が高いほど生育期間が延長されるため、根重が増大すると考えられた。

### (2) 根中糖分と気象条件の関係

根中糖分と気象条件の単相関分析結果を表4-②に示す。降水量との関係は、5月および4～5月の合計降水量との間に負の相関が認められ、松崎ら（1984）の報告と一致した。この時期の降雨の影響として、移植栽培では移植期、直播栽培では圃場播種時期が遅れることによる生育遅延が考えられる。また、この時期は褐斑病および黒根病の一次感染時期と一致することから、多雨によって両病害の感染が増長された結果、根中糖分の低下に結びついていると想定されるが、この点はさらに詳細な検討が必要である。

気温に関しては、7月から9月までの平均気温、最高気温および最低気温のいずれとも高い負の相関が認められ、特に8月（ $r = -0.82$ ，0.1%水準），9月（ $r = -0.89$ ，0.1%水準），8～9月（ $r = -0.89$ ，0.1%水準），7～9月（ $r = -0.90$ ，0.1%水準）の最低気温との関係が強く、松崎ら（1984）の結果と一致した。最低気温との関係が特に強く認められた理由としては、次の二点が考えられる。一点目は、ショ糖蓄積との関係で、テンサイは9月以降根部肥大が停滞する頃から根中糖分の上昇率が高まるが、

同時期の夜温（＝最低気温）が高いと呼吸による減耗が大きく低糖分になりやすいことが知られており、このことを裏付ける結果と考えられる。二点目は、褐斑病との関係で、一般に褐斑病は8月から9月に発病盛期を迎えるが、9月以降の気温が高く発病が長期化した結果、枯死と新葉の再生を繰り返して光合成産物を消費するため、根中糖分が低下すると考えられる。

### (3) 褐斑病被害面積率と気象条件の関係

褐斑病被害面積率と気象条件の単相関分析結果を表4-③に示す。降水量との関係では、4月（ $r = 0.41$ ，5%水準）および5月（ $r = 0.53$ ，1%水準）の降水量と有意な正の相関が認められた。褐斑病の一次感染時期は5月中旬頃とされており、この時期に降雨が多いことで分生胞子が高頻度に飛散して感染が拡大すると考えられる。また、4月下旬や5月上旬の降雨による移植・播種作業の遅れ、過湿条件に起因するストレスによる生育遅延も感染に有利に働いていると考えられる。

気温との関係では、6月から9月にかけて有意な正の相関が認められ、特に7月を中心とする最低気温と強い関係（0.1%水準）が認められた。これは、褐斑病の分生胞子形成および感染成立には夜間気温が16℃以上であることが条件とされていることと一致し（POOL and MCKAY, 1916），同時期の最低気温が褐斑病の被害拡大に重要な影響をおよぼしていることを示している。また、褐斑病の発病盛期は8月から9月であり、感染してから発病までの潜伏期間は、30℃では7～8日、25℃では9～10日、15℃では19～21日とされ、最適気温である30℃以内の高温であるほど短時間で感染を繰り返すため被害がより拡大する。以上より、2010年は一次感染時期である5月の降雨が多く、感染拡大につながる二次感染時期の6月下旬から9月中旬までの最低気温が16℃以上で、平均気温も高く推移したため甚大な被害に至ったと考えられる。

### (4) 根腐症状被害面積率と気象条件の関係

根腐症状被害面積率と気象条件の単相関分析結果を表4-④に示す。降水量との関係では、5月の降水量と緩やかではあるが正の相関（ $r = 0.45$ ，5%水準）が認められた。根腐症状被害の多くを占めるとされる黒根病の一次感染時期は5月から6月とされており（内野・渡辺，1999），その感染には十分な土壤水分が必要なため、この時期の降雨で土壤が湿潤に

表4 収量 (①根重, ②根中糖分) および病害被害面積率 (③褐斑病, ④根腐症状) と気象要因 (降水量, 気温) の相関関係 (1987~2010年)

① 根重	月(4月~10月)							二ヶ月(4~10月)						三ヶ月(4~10月)					通年
	4	5	6	7	8	9	10	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	4~6	5~7	6~8	7~9	8~10	
降水量	-0.30	-0.18	-0.40	-0.04	-0.04	-0.13	-0.19	-0.30	<b>-0.46*</b>	-0.30	-0.07	-0.13	-0.20	<b>-0.46*</b>	-0.34	-0.28	-0.15	-0.19	<b>-0.44*</b>
平均気温	0.26	<b>0.45*</b>	<b>0.45*</b>	-0.11	0.07	0.18	<b>0.43*</b>	<b>0.41*</b>	<b>0.58**</b>	0.25	0.00	0.12	0.32	<b>0.56**</b>	<b>0.42*</b>	0.18	0.06	0.20	0.39
最高気温	0.25	<b>0.43*</b>	<b>0.48*</b>	-0.05	0.12	0.32	<b>0.49*</b>	0.39	<b>0.62**</b>	0.34	0.07	0.21	<b>0.42*</b>	<b>0.57**</b>	<b>0.54**</b>	0.26	0.15	0.28	<b>0.52**</b>
最低気温	0.22	<b>0.47*</b>	0.35	-0.11	0.04	0.02	<b>0.42*</b>	<b>0.43*</b>	<b>0.50**</b>	0.14	-0.02	0.04	0.24	<b>0.51*</b>	0.30	0.11	-0.01	0.16	0.29

  

② 根中糖分	月(4月~10月)							二ヶ月(4~10月)						三ヶ月(4~10月)					通年
	4	5	6	7	8	9	10	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	4~6	5~7	6~8	7~9	8~10	
降水量	-0.34	<b>-0.51*</b>	0.25	0.02	-0.12	-0.10	-0.12	<b>-0.50*</b>	-0.12	0.18	-0.08	-0.15	-0.14	-0.26	-0.07	0.08	-0.14	-0.18	-0.29
平均気温	0.22	-0.02	-0.35	<b>-0.61**</b>	<b>-0.79***</b>	<b>-0.78***</b>	-0.35	0.11	-0.25	<b>-0.60**</b>	<b>-0.83***</b>	<b>-0.82***</b>	<b>-0.67***</b>	-0.10	<b>-0.50*</b>	<b>-0.77***</b>	<b>-0.86***</b>	<b>-0.80***</b>	<b>-0.69***</b>
最高気温	0.24	0.06	-0.34	<b>-0.58**</b>	<b>-0.75***</b>	<b>-0.57**</b>	-0.25	0.18	-0.21	<b>-0.60**</b>	<b>-0.79***</b>	<b>-0.73***</b>	<b>-0.50*</b>	-0.03	<b>-0.46*</b>	<b>-0.73***</b>	<b>-0.79***</b>	<b>-0.71***</b>	<b>-0.59**</b>
最低気温	0.20	-0.15	-0.30	<b>-0.62**</b>	<b>-0.82***</b>	<b>-0.89***</b>	-0.31	0.01	-0.28	<b>-0.56**</b>	<b>-0.84***</b>	<b>-0.89***</b>	<b>-0.75***</b>	-0.16	<b>-0.49*</b>	<b>-0.78***</b>	<b>-0.90***</b>	<b>-0.85***</b>	<b>-0.75***</b>

  

③ 褐斑病 被害面積率	月(4月~10月)							二ヶ月(4~10月)						三ヶ月(4~10月)					通年
	4	5	6	7	8	9	10	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	4~6	5~7	6~8	7~9	8~10	
降水量	<b>0.41*</b>	<b>0.53**</b>	0.04	0.10	0.15	-0.04	0.02	<b>0.56**</b>	0.38	0.10	0.22	0.05	-0.03	<b>0.47*</b>	0.33	0.19	0.11	0.05	0.36
平均気温	-0.22	-0.20	0.34	<b>0.65***</b>	<b>0.50*</b>	<b>0.51*</b>	0.14	-0.24	0.12	<b>0.62**</b>	<b>0.65***</b>	<b>0.53**</b>	0.40	-0.01	0.40	<b>0.62**</b>	<b>0.64***</b>	<b>0.49*</b>	<b>0.45*</b>
最高気温	-0.27	-0.31	0.30	<b>0.56**</b>	<b>0.46*</b>	0.40	0.04	-0.34	0.01	<b>0.55**</b>	<b>0.58**</b>	<b>0.47*</b>	0.30	-0.13	0.28	<b>0.56**</b>	<b>0.57**</b>	<b>0.43*</b>	0.32
最低気温	-0.12	0.04	<b>0.44*</b>	<b>0.70***</b>	<b>0.52**</b>	<b>0.59**</b>	0.14	-0.03	0.31	<b>0.69***</b>	<b>0.68***</b>	<b>0.57**</b>	<b>0.46*</b>	0.21	<b>0.55**</b>	<b>0.70***</b>	<b>0.68***</b>	<b>0.53**</b>	<b>0.59**</b>

  

④ 根腐症状 被害面積率	月(4月~10月)							二ヶ月(4~10月)						三ヶ月(4~10月)					通年
	4	5	6	7	8	9	10	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	4~6	5~7	6~8	7~9	8~10	
降水量	0.22	<b>0.45*</b>	0.00	0.30	0.01	-0.14	0.12	0.39	0.30	0.23	0.27	-0.11	-0.05	0.31	<b>0.41*</b>	0.21	0.07	-0.04	0.27
平均気温	-0.12	-0.16	<b>0.42*</b>	<b>0.56**</b>	<b>0.50*</b>	<b>0.52**</b>	0.17	-0.16	0.20	<b>0.62**</b>	<b>0.60**</b>	<b>0.53**</b>	<b>0.42*</b>	0.10	<b>0.42*</b>	<b>0.63**</b>	<b>0.61**</b>	<b>0.51*</b>	<b>0.50*</b>
最高気温	-0.15	-0.26	<b>0.43*</b>	<b>0.43*</b>	<b>0.46*</b>	<b>0.49*</b>	0.05	-0.24	0.14	<b>0.58**</b>	<b>0.52**</b>	<b>0.50**</b>	0.36	0.02	0.33	<b>0.57**</b>	<b>0.56**</b>	<b>0.46*</b>	<b>0.40</b>
最低気温	-0.08	0.01	<b>0.45*</b>	<b>0.67***</b>	<b>0.52**</b>	<b>0.54**</b>	0.17	-0.04	0.29	<b>0.68***</b>	<b>0.67***</b>	<b>0.55**</b>	<b>0.45*</b>	0.21	<b>0.52**</b>	<b>0.69***</b>	<b>0.66***</b>	<b>0.52**</b>	<b>0.50**</b>

1) 気象データは、帯広と網走の平均値を算出して使用  
 2) 降水量は合計値、気温はそれぞれの期間平均値を算出して単相関を検定  
 3) 根腐症状には黒根病、根腐病および湿害など根部腐敗を伴う症状全てが含まれる  
 4) \*, \*\*および\*\*\*は、それぞれ5%, 1%および0.1%水準で有意な相関が認められたことを示す

なることで一次感染が成立して被害面積の拡大につながると思われる。

気温との関係では、6月から9月までの平均気温、最高気温および最低気温のいずれとも有意な正の相関が認められ、特に7月を中心とする最低気温と特に強い関係 (0.1%水準) が認められた。黒根病の発生は25℃が至適温度とされ、地温20℃以上で発病が激しくなる (築尾ら, 1995)。一次感染成立後、高温に経過することで二次感染を短期間に繰り返して病徴が拡大するとともに、障害を受けた組織に他の微生物が複合感染することで、被害が拡大する。2010年の場合、褐斑病と同様に、一次感染時期の降雨で感染が十分成立し、それ以降高温に推移したため甚大な被害に至ったと考えられる。

5) 複合病害抵抗性品種の利用

これまで述べたように2010年の極めて深刻なテンサイの低収量は、生育初期の低温による生育遅延に加えて、6月以降、収穫期近くまで続いた高温と多雨による生理的影響、さらに褐斑病および黒根病が大規模に激発したことが原因と考えられる。その中で褐斑病は、効果的な防除薬剤が普及していながらも断続的な降雨によって防除適期を逸したことで病害の進展を防ぐことができず、また、黒根病に対しては有効な薬剤もなく「北海90号」のような抵抗性品種も利用されていないため、全く対応することができなかった。北農研では、病害抵抗性品種の育成

を重点的に進めており、褐斑病、黒根病およびそう根病の三主要病害に対して複合的な抵抗性を示す「北海100号」および「北海101号」の2系統を品種認定に向けた各種試験に2009年から供試している (表5)。両北海系統の収量性は、2009年のやや低収量年においては主力品種と同程度だが、2010年の病害多発年においては、複合病害抵抗性が十分に発揮され、収量は明らかに主力品種平均よりも多く、また、病害の発生も明らかに主力品種より少ない安定した栽培結果を示した (表6)。

今後、温暖化に伴う北海道の気象変動を的確に予測することは困難であるが、製糖原料作物であるテンサイの栽培安定化を図る上で複合病害抵抗性品種の積極的な利用は不可欠と考えられる。また、複合病害抵抗性品種を利用することで、防除回数の軽減による省力・低コスト化も期待される。さらに、経営規模拡大に伴う作物間の管理作業の競合を回避する上でも、収量性のみならず、病害抵抗性などの安定性にも重点を置いた総合的な品種選定が重要であろう。

表5 北海系統の病害抵抗性一覧

品種・系統名	褐斑病抵抗性	根腐病抵抗性	黒根病抵抗性	そう根病抵抗性	普及率 (2010)
レミエル	弱	やや弱	中	×	20.7%
リッカ	やや強	やや弱	中	○	25.0%
かちまる	弱	やや弱	やや強	×	22.7%
北海100号	(強)	(弱)	(強)	(○)	-
北海101号	(強)	(中)	(強)	(○)	-

1) 北海系統の評価は暫定値

表6 複合病害抵抗性北海系統の生産力検定試験結果 (2009~2010年)

品種・ 系統名	収量性						耐病性			
	根重 (t/10a)		根中糖分 (%)		糖量 (kg/10a)		褐斑病発病指数 (0~5)		根腐症状株率 (%)	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
主力品種平均	7.41	6.69	17.96	14.57	1,331	974	0.6	2.8	0.2	5.6
北海100号	97	108	99	109	100	119	0.2	1.6	0.0	0.3
北海101号	100	106	96	103	96	110	0.2	1.5	0.0	0.0

1) 数値は5試験地平均値(北農研、北見農試、日甜、北糖、ホクレン)

2) 主力品種平均は「レミエル」、「リッカ」、「かちまる」の3品種平均値

3) 主力品種平均の生産力・耐病性、北海系統の耐病性は実数値、北海系統の生産力は主力品種平均に対する百分比

4) 褐斑病発病指数は『てんさいに関する調査基準および用語集』の「北海道法」に基づく6段階評価:0(健全)~5(枯死)

#### 4. 摘要

2010年のテンサイ収量は、1986年に糖分取引制度が開始されて四半世紀が経過する中で最低の根中糖分(15.3%)と産糖量(46.6万t)を記録した。低収量の要因は、6月上旬まで続いた生育初期の低温(平年差-2℃)による生育遅延と、その後6月中旬以降から収穫期まで続いた高温(平年差+3℃)および多雨による褐斑病と黒根病を中心とする根腐症状の大規模な発生である。褐斑病および根腐症状の発生面積率(それぞれ80.5%および44.2%)および被害面積率(それぞれ33.6%および13.3%)は、ともに糖分取引制度開始以降最大であった。気象条件と収量の単相関分析の結果、多雨は根重を減少させる傾向にあり、また、5月の多雨は根中糖分との間に有意な負の相関が認められた。気温に関して、6月までは根重との間に有意な正の相関が認められたが、7月以降は根中糖分と強い負の相関が認められた。褐斑病および根腐症状の被害面積率との関係では、6月までの多雨および7月以降の高温は褐斑病および根腐症状の被害を拡大させることが明らかとなった。特に7月を中心とする最低気温との相関が高く、この時期が高温に推移することで褐斑病および根腐症状の主因とされる黒根病の二次感染が繰り返されることで、両病害による被害が著しく拡大すると考えられた。以上、今回の解析において、特に最低気温と根中糖分および病害発生の関係が強く示されたことは興味深い。一方で、北農研で育成した複合病害抵抗性系統は、2010年の低収年においても病害発生が少なく、安定した収量を示した。今後の環境変動や大規模化、省力・低コスト化の観点からも、複合病害抵抗性品種の利用拡大を真摯に検討する必要がある。

#### 5. 引用文献

- 1) 築尾嘉章、内藤繁男、杉本利哉(1995): テンサイ黒根病の発生におよぼす土壌温度と水分の影響. 日植病報, 52(1), 142.
- 2) 梶山 努、大波正寿、松原一實、吉田俊幸(1995): 平成5年6月の多雨によるテンサイの湿害調査. てん菜研究会報, 36, 116-121.
- 3) 梶山 努、田中文夫(2001): 平成12年のてん菜低糖分を振り返って. 農家の友, 53(3), 76-79.
- 4) 梶山 努、田中文夫(2001): テンサイ黒根病がテンサイの収量、品質に及ぼす影響. てん菜研究会報, 42, 59-64.
- 5) 工藤裕子、成田正孝、秦泉寺 敦(2002): 2000年における褐斑病の多発について. てん菜研究会報, 43, 71-77.
- 6) 松崎康範、吉田俊幸、三分一 敬(1984): 気象要因とテンサイの生育および収量. てん菜研究会報, 25, 63-68.
- 7) 成澤信吉(1973): てん菜(サトウダイコン)褐斑病に関する研究. てん菜研究報告, 14, 106-110.
- 8) POOL, V. W. and MCKAY, M. B. (1916): Climatic condition as related to *Cercospora beticola*. J. Agri. Res., 4, 169-177.
- 9) 斉藤健一、細川定治(1964): てん菜褐斑病抵抗性品種育成上における問題点. 育種学雑誌, 14(4), 39-50.
- 10) 妹尾吉晃、菅原寿一、新妻真司、秦泉寺 敦(1998): 1996年における根腐症状テンサイの多発について. てん菜研究会報, 39, 80-87.
- 11) 田口和憲、丹羽勝久、岡崎和之、清野伸孝(2011): 2009年テンサイ湿害の発生実態に関する調査報告. 北農研研究資料, 68, 33-46.

- 12) 手塚光明、吉村康弘、阿部晴記 (1995) : 十勝管内における1993年産テンサイ収量の減収要因. てん菜研究会報, 36, 165-171.
- 13) 手塚光明、有田敬俊、吉村康弘 (1998) : 十勝農試における1996年テンサイの減収要因. てん菜研究会報, 39, 115-120.
- 14) 内野浩克、渡辺英樹 (2000) : テンサイの黒根病の発生推移と病原菌の部位別分離頻度. てん菜研究会報, 41, 67-72.
- 15) 柘植正徳、林 孝道、中島淳吉 (1983) : テンサイの収量と生育初期の気象条件との関係. てん菜研究会報, 24, 69-74.
- 16) 渡辺英樹、早坂昌志、船橋滋夫、川島 啓、中島昭吉 (2002) : 2000年の褐斑病防除実態と発生との関係. てん菜研究会報, 43, 78-85.
- 17) 吉村康弘、有田敬俊、手塚光明 (1996) : 1994年十勝地方の気象がテンサイの生育、収量に与えた影響 第1報 夏期の干ばつ被害が生育、収量に与えた影響. てん菜研究会報, 37, 135-142.

## IV Effect of Unusual Weather in Hokkaido in 2010 on Sugar Beet Production and Disease Damage

Hiroyuki TAKAHASHI, Kazunori TAGUCHI, Kazuyuki OKAZAKI and Yosuke KURODA  
(Upland Farming Research Division)

### Summary

Total sugar production in Hokkaido in 2010/11 campaign was 466,487 t from an average yield 49.4 t/ha roots with 15.3% sugar content cultivated in a total field area of 62,559 ha. This was the lowest yield in 25 years. Three factors were thought to have caused the low yield. The following three factors were thought as the reason that thought low yield.

The first factor is delayed growth caused by the low temperature (nearly 2°C lower than the normal for 1971-2000) at the early stage from the end of April to the beginning of May.

The second factor is widespread and severe outbreaks of two major diseases, *Cercospora* leaf spot and *Aphanomyces* root rot, caused by high temperatures (+3~5°C higher than normal for 1971-2000) from the middle of June to harvesting time (beginning of October) and a large amount of rainfall. In 2010, sugar beet fields of 20,993 ha (33.6% of the total field area) were damaged by *Cercospora* leaf spot, and fields of 8,296 ha (13.3%) were damaged by *Aphanomyces* root rot and other root rot diseases, and these ratios of damaged areas were the highest in the past 25 years.

The third factor is low sugar content caused by the high minimum temperature that continued to harvesting time. In sugar beet, translocation and accumulation of the photosynthetic product (sucrose) in the roots is activated by the temperature drop and the end of enlarging roots. However in 2010, sugar accumulation was not advanced because the minimum temperature did not fall under 10°C until harvesting time.

In addition, the effect of weather conditions (amount of rainfall and temperature) on yielding factors (root yield and sugar content) and ratio of area damaged by disease (*Cercospora* leaf spot and Root rot) were analyzed by correlation analysis. Yielding factors and weather conditions (large amount of rainfall in early growth stages) were negatively correlated to root yield and sugar content with 5% significance, respectively. Warm temperature until June was positively correlated to root yield with 5% significance, but a strong negative correlation was observed between higher temperature after July and sugar content. Moreover, concerning the correlation between weather conditions and disease-damaged areas, a large

amount of rainfall until June and higher temperature after June were strongly correlated to expansion of damaged areas caused by both diseases.

The new cultivars “Hokkai 100” and “Hokkai 101” bred in joint hybrid breeding programs between NARCH and foreign companies have resistance against *Cercospora* leaf spot, *Aphanomyces* root rot and Rizomania. Multi-disease resistance and stability of yield of these two cultivars were clearly shown in performance tests in 2010. To obtain stable production and prepare for future climate warning, general judgment for variety choice including disease resistance as well as yield performance will be necessary.