

寒地における 水田雑草の出葉の温度反応

農林水産省北海道農業試験場 村上利男

はじめに

近年、省エネルギー・環境汚染などの面から除草剤による雑草防除について新たな見直しが求められ、このため、適期散布の重要性は一段と増大した。水田除草剤の散布適期は、各雑草の生育ステージを基準として定めることが適切であるが、便宜上移植日を起点とした前後日数による表示も併せ採られている。しかし、寒地水田雑草の初期生育は温度とくに水温・地温によって強く影響され、温度が低くなると同じ生育進度を得るのに要する移植後の日数が増加することから、雑草の生育進度を推定するために移植からの日数を用いる方法は精度上問題があった。このため、温度条件から雑草の生育進度を推定する方法、つまり生育進度に関する温度指標が得られれば、雑草の生育stageの把握・予測に役立つのみでなく、気象変動をふまえた情報処理技術の利用による計画的防除あるいは広域的雑草防除指針の策定に甚だ有効と考えられた。

こうした見地から、筆者らは北海道における主要な水田雑草、タイヌビエ (*Echinochloa oryzicola* VASING.)、ヘラオモダカ (*Alisma canaliculatum* A. BR. et BOUCHE) およびイヌホタルイ (*Scirpus juncoides* ROXB. subsp. *juncoides* ROXB.) を対象とし、これらの出葉進度の温度反応について計量

的研究を行った。一連の解析結果から北海道における水田雑草の出葉の温度反応とこれに基づく発生生態の地域性を明らかにし得たので、ここに紹介し大方の御批判を仰ぎたい。

1. 雑草の生育進度の指標について

1. 播種以降の各積算値と生育進度との関係

1980年6月、タイヌビエ、ヘラオモダカ、イヌホタルイ（前年度北海道農試産の各種子を湿潤土と混和し、5℃の暗所に30日間保ち休眠覚醒処理を行ったもの¹⁰⁾）を、黒色火山灰性沖積水田土壌を充てんして標準量施肥(a 当たり N 0.8, P₂O₅ 1.0, K₂O 0.8 kg) した網目バット (34×24×7cm) に、それぞれ 0.2, 1.0, 2.0 および 3.0 cm の深さに播種、覆土した。これらのバットを北海道農試場内の水温調節田 (2.5×20.0m) の水田で、短辺の一端から11℃前後の冷水の常時掛け流しを行い、長辺の中央部で田面水を排水させるとともに、水尻の短辺側は完全押し水とし、レギュレーター付き電熱ヒーターを田面に付設した) 内の6地点に設置して6段階の水温条件区を設けた。

この水温調節田の6地点 (No.1 は水口側低水温区, No.6 は水尻側高水温区) におけるタイヌビエ (播種深度 0.2 cm) の播種後 2.0 葉期までに要した日数 (以下 ΣD と略記) は、

表 1. タイヌビエの播種期から 2.0 葉期までの各積算値

水温処理 区 番	ΣD	$\Sigma T_{\min}$	ΣT	$\Sigma T_{\max}$
	Days	°C	°C	°C
No. 1	32	370	417	464
2	27	315	433	552
3	21	225	341	457
4	16	200	313	427
5	11	174	256	338
6	8	187	228	268
平 均	19.2	245	331	417
標準偏差	9.3	79	83	101
c. v. %	48.4	32.3	25.1	24.1

注) 播種深度: 0.2cm ΣD : 日数 $\Sigma T_{\min}$: 日最低水温積算値 $\Sigma T_{\max}$: 日最高水温積算値
 ΣT : 日最高最低平均水温積算値

水温の高低によって 8~32 日で甚だ異なり、区間の変動係数は 48.4% と大きいことから、 ΣD は出葉進度の指標となり得ない(第 1 表)。 ΣD の代わりに日最低水温積算値($\Sigma T_{\min}$)を取り上げてみると、各水温区間の変動係数は ΣD の割合より小さくなり、出葉進度を表す指標として日数よりも温度要因が適していることを示しているが、その変動係数は 32.3% とかなり大きい(第 1 表)。日最高最低平均水温積算値(ΣT)についてみると、変動係数は 25.1% で、 $\Sigma T_{\min}$ の場合よりもさらに小さくなる。変動係数は日最高水温積算値($\Sigma T_{\max}$)の場合に一層小さくなるが、その値は 24.1% で、なおかなり大きいので、これは出葉進度を表す高精度の温度指標となり得ないことが分かる。表 1 の各積算値は、高水温側 (No. 6) から低水温側 (No. 1) に移るにつれて、いずれも増大している。この理由は、これらの積算温の場合、生長に無効な低い温度まで有効なものとして積算されるためと考えられるので、次に生長に有効な温度のみを積算する方法について検討した。

2. 有効積算水温と出葉進度

(1) 出葉に関する有効水温

葉数増加など、各生長現象にはそれぞれの好適温があり、同時にある温度階層の領域外の温度は生長に無効であることが知られている。生長に及ぼす温度の有効性は、その温度が好適温度階層より遠ざかり、生長に対する有効性が失われる温度階層に達するまで連続的に低下してゆくものとみなされる。表 1 でみられた低水温区における積算温の増大は、出葉に対する各階層温の有効性が、摂氏で示される階層値と正比例の関係になく、その比例係数は各温度階層によって変化するためと考えられる。

今、 $T_1, T_2, \dots, T_n$ の各定温条件の下で等量の生長量が得られるのに要した時間を $t_1, t_2, \dots, t_n$ とすると、 $\alpha_1 \cdot T_1 \cdot t_1 = \alpha_2 \cdot T_2 \cdot t_2 = \dots = \alpha_n \cdot T_n \cdot t_n$ を満足する $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ は各階層温 $T_1, T_2, \dots, T_n$ の生長に対する有効性の比例係数(有効温係数)であるが、この比例係数を各階層に乘じた $\alpha_i \cdot T_i$ は、階層温 T_i の成長速度に対する有効度を示すことから、これを有効温(θ)とみなすことが出来る。

この有効温を実験的に求めるため、1980 年 6 月、 $a/5,000$ ポットに黒色火山灰性沖積土を充てん、施肥したのち、タイヌビエ、ヘラオモダカ、イヌホタルイの休眠覚醒種子を 1 cm の深さに播種し、各草種が 2.3 葉期に達するまで戸外で養成したのち、10, 13, 16, 19, 21 および 30°C の各定水温槽内に設置し、48 時間後の増加葉数を求めた。これから 3 草種の 0.2 葉増加(葉数は第 2 葉長に対する第 3 葉長比)に要す

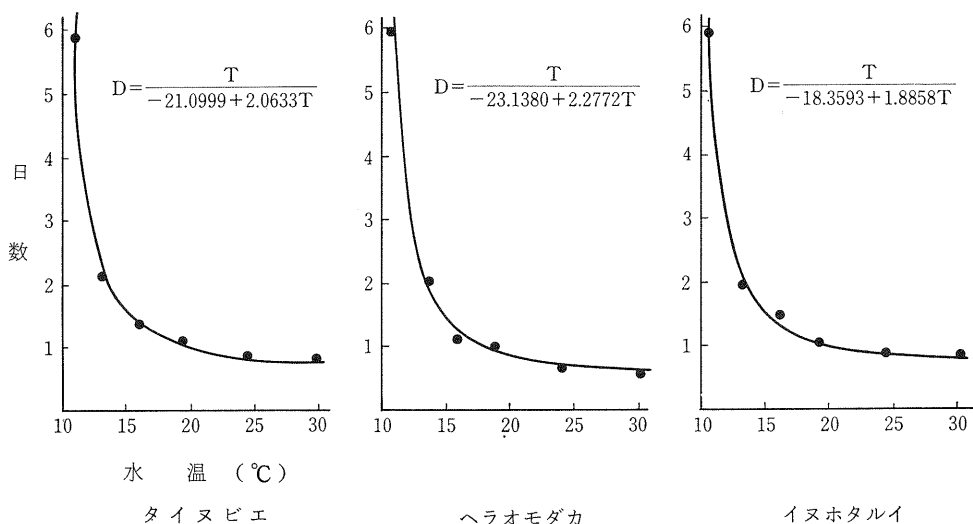


図 1. 水温と 0.2 葉増に要した日数との関係

る日数を求め、各定水温との関係を求めた結果が第 1 図である。

各定水温 (T) と 0.2 葉増に要した日数 (D) 間には、

タイヌビエ: $D = T / (-21.0999 + 2.0633T)$

ヘラオモダカ: $D = T / (-23.1380 + 2.2772T)$

イヌホタルイ: $D = T / (-18.3593 + 1.8858T)$

の関係式が得られた。これらの各関係式に 9, 11, 13°C……と、2°C 刻みの各階層値 (Ti) を代入して、対応するそれぞれの各 Di 値を得、Ti・Di 値が最小となるとき α を 1.00 として他の階層温の α_i を $\alpha_i = Ti \cdot Di / Ti \cdot Di$ (ただし Ti・Di は Ti・Di が最小となった時の値) より求めて、これを各 Ti に乗じた $\alpha_i \cdot Ti$ を θ_{wi} とすると、これが各雑草の有効水温となる。タイヌビエについての算出例を第 2 表に示した。

第 3 表にみられるように、草種によって

表 2. タイヌビエの有効水温の算出法

T	D	T・D	α	$\alpha \cdot T$ (θ_w)
°C	日			
9	—	—		
11	6.891	75.80	0.262	2.9
13	2.272	29.54	0.672	8.7
15	1.522	22.83	0.869	13.0
17	1.216	20.67	0.960	16.3
19	1.050	19.95	0.995	18.9
21	0.945	19.85	1.000	21.0
23	0.873	20.08	0.988	22.7
25	0.820	20.50	0.968	24.2
27	0.780	21.06	0.942	25.4
29	0.749	21.72	0.914	26.5
31	0.723	22.41	0.885	27.4
33	0.702	23.17	0.857	28.3
35	0.685	23.88	0.828	29.0
37	0.670	24.79	0.801	29.6

注) T: 水温 D: 播種から 2.0 葉期までの日数 α : 有効水温係数 θ_w : 有効水温

Ti に対応する θ_w に若干の相違がみられるが、その程度はごくわずかであることから、Ti に対応する θ_{wi} は 3 草種の平均値を用い、これを雑草の出葉に関する有効水温とした。

(2) 有効積算水温

有効積算水温 ($\Sigma \theta_w$) は前述の各階層温

表 3. タイヌビエ, ヘラオモダカ, イヌホタルイの有効水温

T (°C)	θw			
	タイヌビエ	ヘラオモダカ	イヌホタルイ	平 均
9	0	0	0	0
11	3	3	4	3
13	9	9	10	9
15	13	13	14	13
17	16	16	17	16
19	19	19	19	19
21	21	21	21	21
23	23	23	23	23
25	24	24	24	24
27	25	25	25	25
29	27	26	26	26
31	27	27	27	27
33	28	28	28	28
35	29	29	28	29
37	30	30	29	30

ごとに求めた有効水温に各階層温の出現時間(単位日)を乗じた総積和として得られる。一例として第1表のタイヌビエのNo.3地点における播種以降2.0葉期までの有効積算水温の求め方を第4表に示した(水温調節田内各地点の水温は, 毎日の気象の影響を受け, 多様に日変化するが, その推移を温度記録計で測定した。

表 4. タイヌビエの有効積算水温($\Sigma \theta w$)の算出例(表3のNo.3の場合)

水 温	レ ン ズ	D	θw	$\Sigma \theta w$ ($\theta w \cdot D$)
°C	°C	Days		
7	6.1~8.0	0	0	0
9	8.1~10.0	1.03	0	0
11	10.1~12.0	8.91	3	26.7
13	12.1~14.0	3.60	9	32.4
15	14.1~16.0	1.75	13	22.8
17	16.1~18.0	2.06	16	33.0
19	18.1~20.0	1.20	19	22.8
21	20.1~22.0	1.30	21	27.3
23	22.1~24.0	0.69	23	15.9
25	24.1~26.0	0.42	24	10.1
27	26.1~28.0	0.04	25	1.0
29	28.1~30.0	0	26	0
計		21.00		192.0

第5表には草種別, 播種深度別の播種後2葉または3葉期までに要した各種算値とその各水温処理区間における変動係数を示した。播種深度が2および3cmの場合は, 各草種を通じて出芽がみられないか, 出芽してもその個体数がごくわずかとなるため, 以下出葉進度の考察に当っては播種深度0.2および1.0cmの場合のみ取り上げた。同表

表 5. 3草種の播種から2および3葉期までに要した有効積算水温とその区間変異

草 種 播 種 深 度 葉 令	タイヌビエ				ヘラオモダカ				イヌホタルイ			
	0.2 cm		1.0		0.2		1.0		0.2		1.0	
	2 L	3 L	2 L	3 L	2 L	3 L	2 L	3 L	2 L	3 L	2 L	3 L
ΣD 平 均	19.2	24.7	24.2	29.7	20.2	26.0	24.5	29.5	20.0	25.8	24.7	29.3
c. v. (%)	48.4	45.7	44.2	39.3	47.5	42.4	42.7	38.8	45.2	43.4	41.7	39.8
$\Sigma T_{\max}$ 平 均	417.4	556.7	545.0	691.8	442.6	596.9	556.2	689.2	440.2	590.8	559.4	683.2
c. v. (%)	24.1	21.0	13.6	12.2	24.7	16.3	16.3	12.0	21.9	18.2	16.4	13.8
$\Sigma T_{\min}$ 平 均	244.9	319.7	316.4	397.5	257.7	340.9	319.6	395.3	256.6	339.8	324.6	392.3
c. v. (%)	32.3	30.0	29.4	23.1	31.2	26.9	26.7	22.2	28.3	26.2	25.2	22.9
ΣT 平 均	331.2	421.5	430.7	544.7	350.2	469.0	437.9	542.3	348.5	465.3	442.0	537.8
c. v. (%)	25.1	28.5	17.6	13.2	24.9	17.6	17.4	12.5	22.0	18.4	16.9	14.0
$\Sigma \theta$ 平 均	213.3	291.9	288.4	370.6	226.5	316.0	292.9	374.1	225.4	312.0	289.7	370.4
c. v. (%)	11.5	8.0	5.9	8.5	10.7	5.0	6.6	7.4	10.4	7.3	7.6	7.4

から ΣD , ΣT_{min} , ΣT , ΣT_{max} に比べて $\Sigma \theta w$ は水温処理区間の変動係数が $1/2 \sim 1/8$ で甚だ小さいことから、雑草の出葉進度を表す温度指標として甚だ有効であることが分かった。たとえば、多様な水温条件を通じて、タイヌビエの播種深度が 0.2 および 1.0 cm のときは、有効積算水温が 213 および 288 に達すると、それぞれ 2.0 葉期に達することになる。

草種間で比較すると、ヘラオモダカ、イヌホタルイはタイヌビエに比べて有効積算水温が小さく、出葉の遅いことが示された。また、播種深度が 1.0 cm の場合、2.0 葉期までに要する有効積算水温は、播種深度が 0.2 cm の場合の 3.0 葉期までに要する有効積算水温にほぼ匹敵することも分かった。

2. 水温条件と有効積算水温および出葉進度

1. 各種の水温条件と 1 日当り $\Sigma \theta w$ および出芽進度との関係

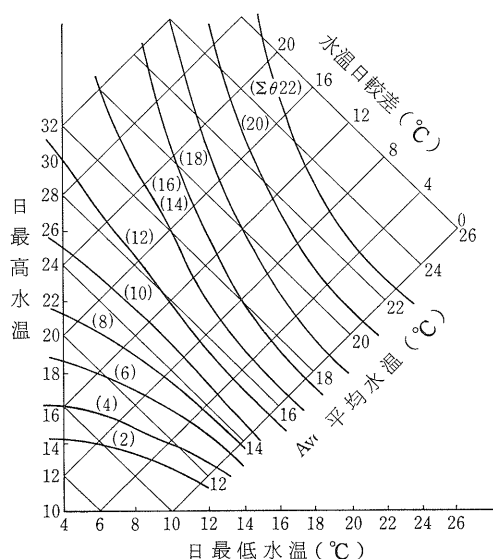


図 2. 日変水温と 1 日当り有効積算水温 (タイヌビエ・ヘラオモダカ・イヌホタルイ平均) との関係

(1) 水温条件と 1 日当り $\Sigma \theta w$

日最低、日最高各水温の組合わせによる各種の水温条件と 1 日当り $\Sigma \theta w$ との関係は第 2 図に示される。ただし、この場合、日最低水温と日最高水温間における水温の経時的变化のパターンは、羽生⁴⁾による気温の日変化のそれと同じとして $\Sigma \theta w$ を求めた。同図から各種の水温条件と雑草の出葉との関係を容易に推察することが出来る。

(2) 水温条件と出葉進度

各種の日変水温条件とタイヌビエの出葉進度との関係は第 3 図に示される。同図から種子深度が 0.2 cm の場合、15 日間で 2.0 葉期に達する水温条件は、水温日較差が 0 の場合、日最高最低平均水温で 17°C であるが、水温日較差が 20°C の場合は日最高最低平均水温で 19°C の水温条件となり、水温日較差の多少によって対応する各日最高最低平均水温値が変化することがみられる。すなわち、15 日以内で 2.0 葉期に達するよう

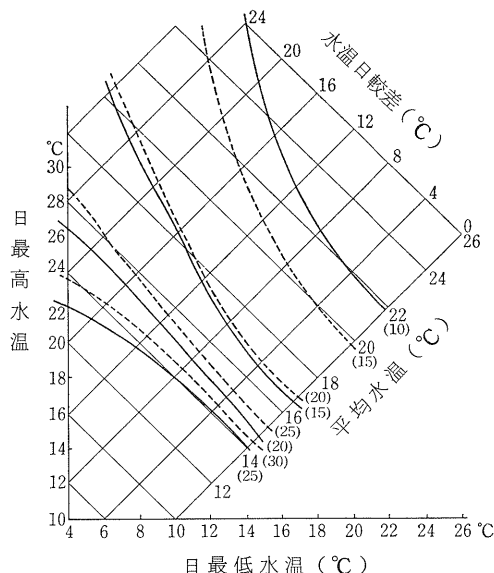


図 3. 日変水温とタイヌビエの出葉との関係

注) 括弧内数値は播種期より 2.0 葉期までの日数,
—: 播種深度 0.2 cm,: 同 1.0 cm

な場合、換言すれば日最高最低平均水温が17～18℃以上の場合、日最高最低平均水温が同じでも水温日較差が小さいほど出葉が早いことが分かる。これに対し、2.0葉期まで25日以上要するような水温条件、すなわち日最高最低平均水温が14℃以下の場合、日最高最低平均水温が同じでも水温日較差が大きいほど出葉に有利となること

表 6. 北海道の水田雑草発生期における日平均水温

月			5		6					
日			21～25	26～31	1～5	6～10	11～15	16～20	21～25	
旭 川	T_a	平 年	12.2℃	13.1	14.0	14.7	15.4	16.2		
	T_m	— 2℃※	15.6	16.8	18.0	18.0	18.9			
		+ 2℃※	14.1	15.3	16.5	16.5	17.4			
			17.0	18.3	19.5	19.6				
札 幌	T_a	平 年	12.3	13.1	13.9	14.5	15.0	15.8		
	T_m	— 2℃	14.8	15.9	16.6	17.6	18.6			
		+ 2℃	13.3	14.4	15.1	16.1	17.2			
			16.3	17.5	18.2	19.2	20.1			
網 走	T_a	平 年	9.6	10.0	10.6	11.1	11.8	12.8	13.8	
	T_m	— 2℃	13.1	13.5	15.7	15.8	16.8	18.1		
		+ 2℃	11.6	12.0	14.1	14.2	15.3	18.6		
			14.9	15.1	17.2	17.4	18.4			

注) T_a : 日平均気温 T_m : 日平均水温(無被覆) ※: 平年値よりの高低

表 7. 表 6 から試算された 1 日当り有効積算水温

月			5		6				
日			21～25	26～31	1～5	6～10	11～15	16～20	21～25
旭 川	平 年		11.7℃	14.0	16.0	16.0	17.3	—	—
	— 2℃		9.0	11.4	13.3	13.3	15.2	17.3	—
	+ 2℃		14.8	16.5	18.2	18.3	—	—	—
札 幌	平 年		10.3	12.3	13.5	15.5	16.8	—	—
	— 2℃		7.9	9.6	10.4	12.5	15.1	16.5	—
	+ 2℃		13.0	15.4	16.3	18.0	18.7	—	—
網 走	平 年		7.5	8.1	11.9	12.0	14.0	16.1	—
	— 2℃		5.6	6.2	9.0	9.2	11.4	13.5	13.8
	+ 2℃		10.4	11.0	15.1	15.2	16.5	—	—

注) 水温日較差10℃

0.2cmのものが2.0葉期となるのに15日要する日変水温条件は、種子深度が1.0cmのとき、ほぼ20日要することなども分かった。

3. 北海道における水田雑草の出葉進度の地域性

雑草出葉の温度反応に関する以上の解析結果から、北海道における水田雑草の出葉進度の地域性を明らかにしようとした。調査対象地点は

札幌は合計9地点であるが、雑草の出葉進度推定に必要な各地点の水溫値は次の方法⁷⁾により試算推定した。

$$T_m = T_a + \{ (s/h) - 2d \} / (1 + 2\phi)$$

T_m : 日平均水田水溫 $^{\circ}\text{C}$, T_a : 日平均気温 $^{\circ}\text{C}$, s : 日平均純放射 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$), h : 顕熱伝達係数 ($\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec} \cdot ^{\circ}\text{C}$), d : 飽差 (mmHg), ϕ : 飽和水蒸気圧の気温での溫度変化率 ($\text{mmHg}/^{\circ}\text{C}$)

各地点の半月別日平均水溫を平年気象の場合および日平均より 2°C 高い場合と低い場合について、その一部を第6表に示した。ただし、この場合の日平均水溫は無被覆の値であるので、稲体による田面被覆程度が小さいとみられる生育初期の値のみ掲げた。この日平均水溫から各地点の半月別1日当たり $\Sigma \theta w$ を試算した結果

が第7表である。ただし水溫日較差は 10°C とし、日最高・最低水溫間の経時的水溫変化のパターンは気温のそれ⁴⁾と同じとみなして試算した。

1. 植代時期と出葉進度

第5表に示された各雑草の種子深度別に求められた播種以降2.0葉期までの有効積算水溫値と、第6表、第7表の値から、植代時期とタイヌビエおよびイヌホタルイの各2.0葉期までの日数との関係を札幌の場合について種子深度別に示したものが第4図である。この場合本実験の播種日を植代日とみなし、平年気象値を用いたが、水溫日較差については平年値が得られなかったので、各水溫日較差別に示した。同図より植代時期から2.0葉期までの日数は、植代時期が遅くなるほど、種子深度が浅いほど、また、日平均水溫が同じ

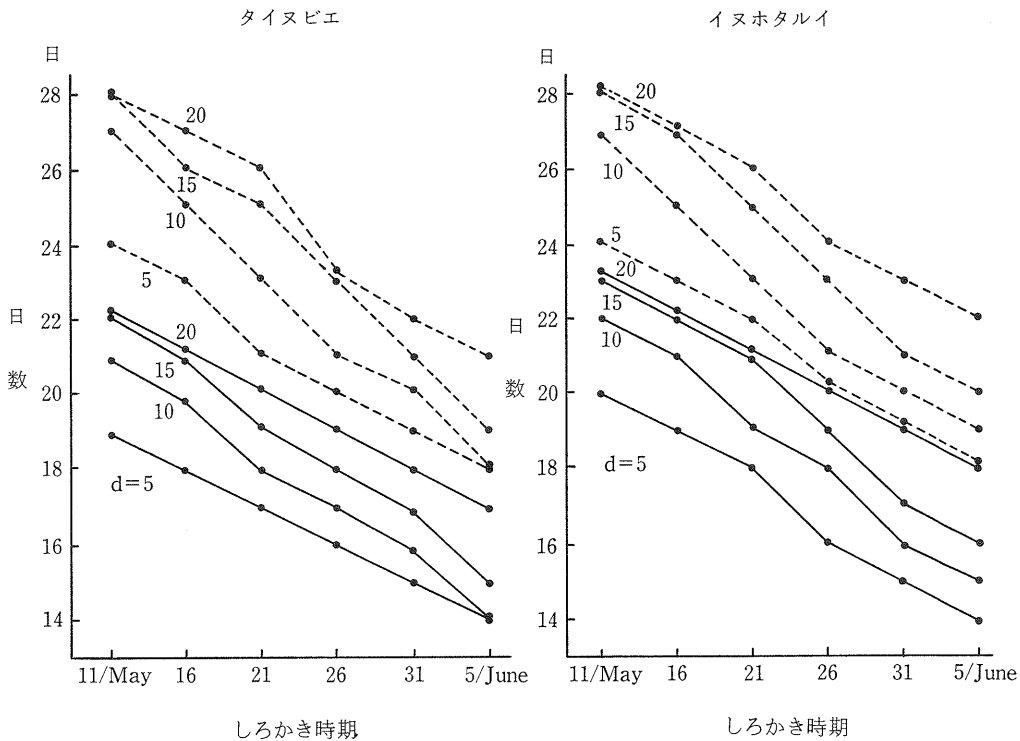


図4. 札幌におけるしろかき時期としろかき時期から2.0葉期までの日数との関係(日最高最低平均水溫は平年値)

注) d: 水溫日較差 $^{\circ}\text{C}$, —: 播種深度0.2 cm,: 同1.0 cm

であれば水温日較差が小さいほど少なくなる。草種間では大差なく、ヘラオモダカがタイヌビエより出芽や平均出葉日数が早いとする鈴木ら¹⁹⁾の報告と若干異なった。

2. 出葉進度の地域性

出葉進度の地域性を明らかにするため、北海道の9場所で5月21日植代の場合の平年における2.0葉期の歴日を各雑草の種子深度別に示したものが第5図である。ただし、この場合水温日較差は10℃として試算した。出葉進度を場所間で比較すると、旭川が最も早く、次いで函館・帯広・札幌・江差・留萌・浦河・浦河の順で、網走は最も遅い。平年気象下で植代日より2.0葉期に達する所要日数をタイヌビエの種子深度0.2cmの場合についてみると、旭川で14日、網走で20日で、6日の地域間差がみられる。次に、平年に比べて日平均気温が2℃高い場合の2.0葉期を平年のそれ

と比較すると、種子深度0.2cmの場合、旭川で2日、網走で3日早まるが、逆に2℃低い場合は旭川で3日、網走で4日遅れることが知られる。

また、種子深度が1.0cmの場合についてみると、平年気象下では各場所とも0.2cmの場合より5～6日多く要し、とくに気温が平年値より2℃低い場合は、2.0葉期に達するのに旭川で22日、網走で30日で非常に長期化する。このため、種子深度が0.2と1.0cmの場合の2.0葉期の差は、平年気象の旭川では5日であるが、平年より気温が2℃低い場合の網走では7日で、2.0葉期が遅れるだけでなく、不整化することが認められた。

4. 論 議

除草剤による雑草の効率的防除は適期散布がそのかなめとなる。この適期は雑草の生育st-

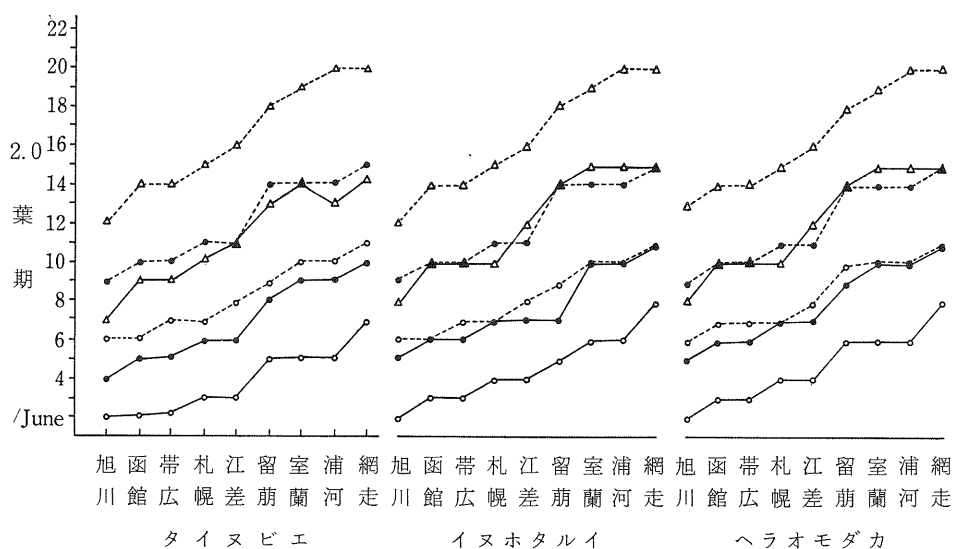


図5. 北海道各地の2葉期の比較(気温の年次変異および種子深度別)

注) ●: 平年気温 △: 平年気温より2℃低い条件 ○: 平年気温より2℃高い条件 — : 種子深度0.2cm
 : 種子深度1.0cm 水温日較差: 10℃ しろかき時期: 5月21日

age（葉数など）でとらえるのが最も望ましいが、この葉数の把握について実際の観察・採取調査によるよりも予測・推定をも可能とする一層簡易な把握方法が見いだせれば大変好都合である。寒冷な北海道では雑草の発生が長期化するのみならず不整一となるのを常とするが、これらは不順型気象で一層助長される。このため、歴日や植代日からの経過日数では雑草の生育 stage を正確に把握できないので、気象要因を考慮に入れた高精度の生育進捗指標の開発が強く望まれていた。

雑草の発生と温度条件との関係については、発生を発芽と幼芽の土壤中の伸長に分け、それぞれ温度との関係が詳しく調べられている^{1,2,3,11,13,14)}が、出葉進捗を積算温と関連づけて検討したものは畑雑草で松尾ら¹²⁾、水田の雑草で服部ら⁶⁾、中山ら¹⁷⁾、筆者ら¹⁵⁾の例があるのみで比較的少ない。さらにこれらも温度のとらえ方が日平均温積算値、あるいは日平均温より一定温を控除し積算する方法が用いられているため、日平均温が同じ場合でも日最高温、日最低温の違いによる生育への影響の相違を十分に表し得ないうらみがあった。本研究では雑草の初期生育に強い影響を及ぼす水温を温度要因として取り上げ、さらにそれらを2℃ごとの各階層温とその出現時間とからなる温度構成としてとらえ、各階層温を有効水温に読み替えるとともに、それと出現時間との総積和として有効積算水温を求めた。その結果この有効積算水温は、多様に日変化する水温条件を通じて雑草の生育進捗を表す有効な温度指標となることを明らかにした。

雑草の生育におよぼす温度の影響についてこれまで行われてきた多くの研究で明らかにし得なかった温度日較差の作用性に関して、本研究

で日最高最低平均温度の高低と関連させて明らかにしたことは、新しい知見として今後の温度反応の研究に役立つものと考えられる。日最高最低平均水温が14℃以下の場合、日最高最低平均水温が同じでも水温日較差が大きくなると出葉が早いのは、日最高水温が高くなることによる出葉促進への効果の程度が、日最低水温が低くなることによる出葉への効果の低下の程度よりも相対的に大きくなるためと考えられる。また、日最高最低平均水温が17~18℃以上の場合、水温日較差が大きいほど出葉が遅れるのは、日最高水温が高くなることによる出葉促進効果よりも、日最低水温が低くなることによる出葉の遅れの程度が相対的に大きくなるためと考えられる。

なお、種子の埋没深度が大きい場合は、一定の葉令に達するに要する有効積算水温が増大したが、この理由は土壌の深度によって地温が異なること、および種子の埋没深度が大きいときは中茎の伸長によって出芽が行われるが、この生育過程の温度反応が中茎伸長を伴わない場合のそれと異なること¹³⁾などが影響しているものと考えられる。

厳密に言えば生長には諸因子が複合的に関与するため、その1因子のみを取り上げ、直ちに生長を論ずることには問題がある。有効積算温についても温度自体は生長に有効なエネルギー形態ではない。しかし、雑草の組織形成・養分吸収や同化産物の生成転流などは体内反応に関して重要な役割を果たし、とくに寒地では生育を規制する主要な環境要因となっている。このため、生長現象を温度に関して整理し、両者の関係を明らかにする上では本手法は有効な方法と言えよう。

さらに筆者は、タイヌビエの出葉進捗の温度

反応から出葉進度の地域性について報告した¹⁵⁾が、植代後 2.0 葉期までの推定所要日数を本試験のそれと比較すると、旭川・札幌ではほとんど差がみられなかったが、気温の低い浦河・網走では本試験の場合かなり少なくなることが認められた。この主な理由は、2.0 葉期推定の基礎となる諸データの出所や推定方法の違い、とくに前報では出葉進度に関する温度として気温を取り上げているのに対し、本試験では水温を対象としたほか、日変温すなわち日較差の相違による影響をも考慮したことによるものとみられ、本試験での値がより精度が高いものと考えられる。

経時的連続的に多様に変化する日変温の生育に対する作用性の解析は、水稻については試みられている^{5, 16, 18)}が、雑草についてはまだ見当たらないので、本研究は今後雑草生育の温度反応に関して、研究手法上の一方向を示すものと言うことができよう。ただし、水温の推定法や有効積算温の起算時期については、なお検討の余地がある。そのほか、生育進度に及ぼす温度の作用性についても発芽、土中の初芽伸長、出芽以降の出葉などの生育 stage 別に検討する必要がある⁷⁾、さらに光条件や水・地・気温の相互関連の下に解析を進めることも残されている²⁰⁾。なお、荒井ら^{1, 2)}、宮原^{13, 14)}、岩崎⁹⁾などが挙げているように、発芽、土中の幼芽伸長には土壤水分や E_h などが関与するので、これらとも関連づけた高精度で広い適合性をもつ総合的指標を明らかにする必要がある。

本研究により気象値と雑草の生育進度との関係が種子の埋没深度別に明らかにされ、これらの解析結果から気象変動をふまえた雑草防除適期把握についての具体的指標が得られた。これらの知見が異常気象の頻度増大が懸念される現

在、環境保全・省エネルギー的見地からの除草剤の適正使用に活用され、高能率雑草防除技術の確立に役立つとすればその意義は少なくないものと考えられる。

5. ま と め

日変水温条件下におけるタイヌビエ、ヘラオモダカおよびイヌホタルイの発生初期における出葉進度の水温反応を有効積算水温手法を用いて解析し、これらの結果をもとに各種草の出葉進度の推定法と地域性を明らかにしようとした。

1. 多様な水温条件を通じて各雑草の播種以降各葉期までに要した有効積算水温 ($\Sigma \theta w$) の各水温区間における変動係数は、所要日数、日最低・最高およびその平均各水温積算値の変動係数に比べて甚だ小さい。
2. このことから $\Sigma \theta w$ は多様な日変水温条件を通じて各雑草の出葉進度を高精度に推定する指標となり得る。 $\Sigma \theta w$ を用い類型化した各種の日変水温条件と雑草の出葉進度との関係を草種別、種子の埋没深度別に計量化した。
3. 平年の札幌における植代期の移動に伴う各雑草の 2.0 葉期の変化を明らかにするとともに、北海道内 9 場所における各雑草の 2.0 および 3.0 葉期を平年気象からの気温条件の変動と関連させて計量的に明らかにした。すなわち、平年気象下で植代以降 2.0 葉期までの日数を地域間で比較すると、タイヌビエの種子埋没深度 0.2 cm の場合、旭川で 14 日で最も少なく、次いで函館・帯広・札幌・江差・留萌・室蘭・浦河の順で、網走では 20 日で最も大きい。また、平年に比べて日平均気温が 2℃高い場合は 2～3 日少なくなるのに対し、低い場合は 3～4 日増加し、とくに網走では種子埋没深度の違いによる 2.0 葉期までの所

要日数の差が増加し、2.0葉期が遅れるだけでなく不整化の程度が大きくなることを示した。

4. 有効積算水温の求め方は次の通りである。

- 1) 各定水温 (T) と雑草の生育初期における0.2葉増に要する日数 (D) との関係は $D = \frac{T}{-a+bT}$ (a , b は雑草の種類によって定まる常数) で表される。

- 2) 上式で $T_i \times D_i$ が最小となる時の T_a を求め、 $\alpha_1 \cdot T_1 \cdot D_1 = \alpha_2 \cdot T_2 \cdot D_2 = \dots = \alpha_n \cdot T_n \cdot D_n$ を満足する α_i を $\alpha_i = \frac{T_a \cdot D_a}{T_i \cdot D_i}$ より求めて、 $\alpha_i \cdot T_i$ を θ_{wi} (有効水温) とする。
- 3) 2°C ごとの各水温階層別に求めた θ_w と、各階層別水温の出現時間との総積和を求め、有効積算水温 ($\Sigma \theta_w$) とする。

参 考 文 献

- 1) 荒井正雄・宮原益次：日作紀 **31**, 362~366 (1963).
- 2) 荒井正雄・宮原益次：日作紀 **31**, 367~370 (1963).
- 3) 江原 薫・阿部新一：日作紀 **21**, 61~62 (1962).
- 4) 羽生寿郎：農業気象 **18**, 105~108 (1962).
- 5) 羽生寿郎・内島立郎：農業気象 **18**, 109~117 (1962).
- 6) 服部金次郎・草薙得一：雑草研究 **22**, (別号) 103~105 (1977).
- 7) 石黒忠之・泊 功・藤原 忠：北海道の農業気象 **32**, 13~22 (1980).
- 8) 石倉教光・曾我義雄：雑草研究 **27**, 278~282 (1982).
- 9) 岩崎桂三：雑草研究 **28**, 163~171 (1983).
- 10) 片岡孝義・金 昭年：雑草研究 **22**, 156~158 (1977).
- 11) 片岡孝義・金 昭年：雑草研究 **23**, 13~18 (1978).
- 12) 松尾和之・野口勝可・奈良正男：東北農業研究 **33**, 131~132 (1983).
- 13) 宮原益次：雑草研究 **4**, 11~19 (1965).
- 14) 宮原益次：雑草研究 **28**, 1~11 (1983).
- 15) 村上利男：農業通信 **99**, 5~9 (1977).
- 16) 村上利男・森田弘彦・土井康生・今野一男：北海道農試研究報告 **133**, 61~100 (1982).
- 17) 中山治彦・江口和雄・湯村悦子：雑草研究 **5**, 72~76 (1966).
- 18) 斎藤武雄：東北農試研究報告 **32**, 1~26 (1965).
- 19) 鈴木光喜・須藤孝久：雑草研究 **20**, 105~108 (1975).
- 20) 渡辺 泰・広川文彦：雑草研究 **21**, 56~59 (1976).