

沖縄地域における播種期の違いがヒマワリ 6 品種の生長および収量特性に与える影響

寶川拓生^{1,2)}・藪田伸³⁾・渡邊健太^{1,2)}・川満芳信¹⁾

(¹⁾ 琉球大学農学部, ²⁾ 鹿児島大学大学院連合農学研究科, ³⁾ 鹿児島大学農学部)

要旨：亜熱帯の沖縄において、ヒマワリは観賞利用されているが、油糧生産を目的とした品種や播種期に関しては不明な点が多い。そこで、油糧用ヒマワリを 6 品種供試して 4 作栽培し、生育および収量特性を明らかにし、最適播種期および品種特性を検討した。発芽から開花までの有効積算温度は、短日の秋冬播きでやや低い傾向があり、1000–1100°C 日が上限で、開花までの日数は気温による強い支配が認められた。沖縄は年間を通じて 10°C を下回ることなく温暖であり、周年的にヒマワリの生育が可能であることが示されたが、7 月から 10 月は台風接近の可能性が高く、本実験の春夏播きのように特に頭花の重くなる開花期以降の被害が懸念される。子実収量が得られた秋冬播きの結果から、開花前の個体群成長速度 (CGR) だけでなく、開花期に乾物重が重く、開花後の CGR を高く維持することで高い子実収量が得られると推察された。台風害により収穫に至らなかった春夏播きの結果を見ると、秋冬播きに比べ開花時の乾物重が低く、生育期間中の気温も高いため、稔実子実数が低く、子実収量も低いことが推察された。従って、沖縄における子実収穫を目的とした油糧用ヒマワリの播種期は、台風および開花までの有効積算温度を考慮し、10 月上旬から 2 月上旬が適していると考えられた。これらの播種期では、感光性が高く低温でも開花が早く、また、開花後の CGR も高い品種を用いることで、それぞれ 300, 110 kg 10 a⁻¹ の高い子実および油脂収量が得られることが明らかとなった。

キーワード：亜熱帯, CGR, 播種期, ヒマワリ, 有効積算温度。

近年、我が国では健康志向の高まりから植物油の消費が伸びている (農林水産省 2017a)。しかし、日本の油脂類の自給率はカロリーベースで 3% 程度と品目別では最も低く (農林水産省 2017b)、生産国での凶作や需要増加による価格変動の影響を受けやすいことから、油糧作物の安定的栽培が必要である。沖縄は、暖流の影響で冬季も最低気温が 10°C を下回ることの少ない温暖な海洋性の亜熱帯気候に属する島嶼環境にある (沖縄気象台 2017)。また、沖縄の産業構造は、他の多くの島嶼国地域と同様に観光業のウェイトが高いことが特徴となっている (内閣府沖縄総合事務局 2017)。ヒマワリ (*Helianthus annuus* L.) は栽培期間が 90 日程度と短く、大規模なプランテーションが必須ではないことに加え、開花時の景観が良いといった特徴を有する油糧作物である。また、沖縄は農業経営体当たりの経営耕地面積が比較的狭く (農林水産省 2015)、ヒマワリ栽培は観光業との連携も見込めるため沖縄における油脂生産に適した作物であると考えられる。

ヒマワリは菓子用や油糧用として種子生産を目的に世界各地で栽培されている。ヒマワリの原産地は北米の温帯地域であるとされるが、最もよく成長するのは熱帯の比較的海抜の高い地域である (Purseglove 1968)。ヒマワリの光合成速度の最適温度は 17–32°C で、他の C₃ 植物に比べ光飽和点は高く (Connor and Hall 1997)、最大光合成速度も高い (Connor and Sadras 1992)。温帯・寒帯地域では冬季に降雪や降霜があることから温暖な夏季に栽培が限定され

るが、熱帯・亜熱帯地域は年間を通して生育が旺盛であり栽培時期の選択幅が広いことがメリットとして考えられる。これらのことから、ヒマワリ栽培の熱帯・亜熱帯における利用可能性が窺える。実際に、熱帯・亜熱帯における栽培は主要生産国であるアルゼンチンの北部地域 (de la Vega ら 2001) を中心に多くの地域で行われている。特に、熱帯ほど温暖ではなく、低温期があるためアブラヤシの栽培に向かない亜熱帯地域でのヒマワリ栽培の拡大が期待される。また、沖縄においては、既に「冬に咲くヒマワリ」として一部地域で観賞利用されている。沖縄における播種時期に関しては、油糧用ヒマワリを用いて春播き (4 月) と秋播き (10 月) の比較試験を行い、秋播きで収量が高くなることがわかっている (寶川ら 2014)。その原因として、秋播き栽培では開花までの日数が長く、葉面積指数 (LAI) を高く維持できたことが挙げられた。ヒマワリ品種別の播種期の影響については各国で研究されている (de la Vega and Hall 2002a, b) が、亜熱帯地域では冬季を含む周年的な研究例は少ない。亜熱帯気候に属するオーストラリアのクイーンズランド州で 3 品種を用い春播きと秋播きを比較した実験では、秋播き栽培で冬季の低温・低日射により LAI が未発達のまま開花に至り減収した (Bange ら 1997)。しかし、クイーンズランド州では冬季に 10°C を下回ることもあるが、沖縄では稀である。以上のように、亜熱帯における油糧用ヒマワリ栽培に関し一部検討がなされているものの、沖縄の栽培環境での播種期と品種の組み合わせがヒ

第1表 各播種期で用いた栽培土壌の化学性.

播種期	pH	EC	T-C	T-N	C/N	Na	Mg	P	K	Ca
		(mS m ⁻¹)	(%)	比	(mg 100 g ⁻¹)					
春	6.33	3.63	0.82	0.11	7.3	1.74	0.85	0.39	2.33	1.24
夏	7.58	6.73	1.38	0.15	9.4	3.24	0.32	0.21	1.16	2.51
秋	6.55	8.05	1.07	0.13	8.2	6.09	1.09	0.64	5.93	1.68
冬	5.85	8.41	1.08	0.10	10.5	4.78	0.32	0.20	2.06	1.50

注: 1:5 水抽出液を用いて pH (HM-20S, TOA) および EC (CM-14P, TOA) を測定した. 全炭素および全窒素含有率は NC アナライザー (NC-90A, Shimadzu), 無機元素含有率は ICP プラズマ発光分析装置 (ICPS-8100, Shimadzu) を用いて測定した.

マワリの生育特性や収量特性に与える影響についてはさらなる検討が必要である.

本研究は, 先行研究 (寶川ら 2014) で用いた品種を含む計 6 品種を供試し, 春夏秋冬を播種期とした計 4 作の栽培を通し, 沖縄の環境下におけるヒマワリの生育特性および収量特性を明らかにし, 沖縄における最適な播種期と品種の組み合わせを提案することを目的として行われた.

材料と方法

実験は, 琉球大学農学部内圃場にて行った (26°14'51.32"N, 127°45'55.04"E). 土壌は島尻マージ (土壌区分: Typic Hapludalf, Soil survey staff 2010) で, 連作障害を避けるため播種期毎に圃場を変更した. 栽培土壌の化学性は第 1 表の通りである. 播種日は 2014 年 4 月 17 日, 7 月 28 日, 10 月 25 日, 2015 年 2 月 5 日 (以下, 春, 夏, 秋, 冬播きと記す) である. 栽培期間の気温および雨量はそれぞれ, 温湿度センサー (HMP155, VAISALA), 雨量計 (CTKF-1, ClimaTec) を用いて 10 分間隔で計測し, データロガー (GREENKIT 200XP, Azbil) に集録した. また, 基準温度 6°C (Kiniry ら 1992) で各生育期間の有効積算温度を算出した. ヒマワリ油糧用 6 品種, 「ハイブリッドサンフラワー」(カネコ種苗), 「春りん蔵」, 「夏りん蔵」, 「油用 I」, 「油用 III」(ホクレン), 矮性種の「キッズスマイル」(タキイ種苗) を供試した. 栽培面積は各品種 23 m² で 2 反復とし, 栽植条件は条間 60 cm, 株間 30 cm とした. 灌水はドリップ式の灌水チューブを条毎に設置し適宜行った. 播種は 2 粒播きにて行い, 鳥害を避けるため寒冷紗をべた掛けし, 発芽後に取り外し間引きした. 間引き後の各株元に全量基肥として硫酸アンモニウム, リン酸アンモニウム, 塩化カリウムを用いて N:P₂O₅:K₂O = 6:10:10 kg 10 a⁻¹ となるように化成肥料を施用した. 春播き栽培期間における 2014 年 7 月 8 日および夏播き栽培期間中の 10 月 2 日の台風接近前に圃場周囲に支柱を立て防風ネットを設置した.

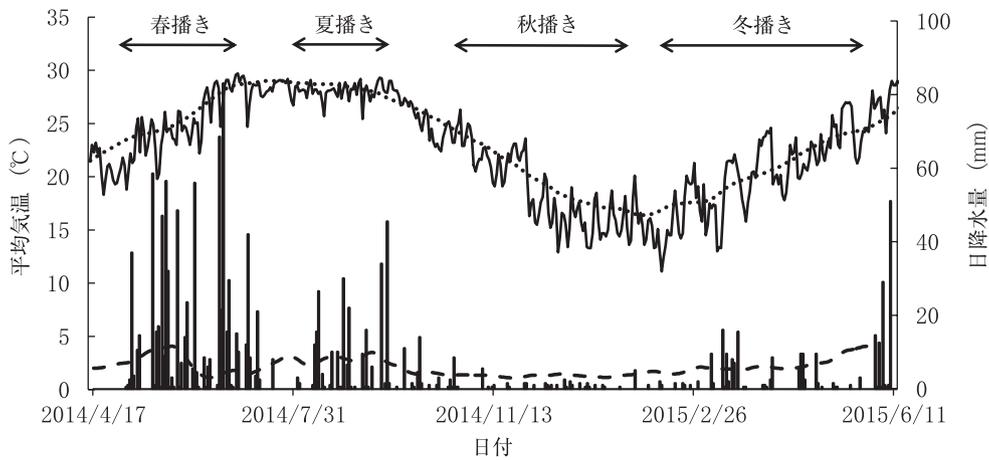
Schneider and Miller (1981) に従って生育ステージを調査し, それぞれ各品種 10 個体の内, 各ステージに達した個体の割合が 80% を超えた日を着蕾期 (T1), 開花期 (T2), 収穫期 (T3) とした. 生育調査は草高, 本葉数 (葉身長 4 cm 以上), 中位葉の SPAD (3 点平均) を測定項目として発芽後 3 週間後から 2 週に 1 回各品種 10 個体について行った.

刈取調査は T1, T2, T3 の 3 回, 各品種 4 個体 2 反復, 計 8 個体について行った. 植物体は根, 茎, 葉, 花芽または花托, 枯死葉, 子実 (T3 のみ) に分解した. 葉面積 (LI-3100, LI-COR) を測定後, 80°C で 72 時間熱風乾燥し乾物重を測定した. また, T1 および T2 の葉面積および乾物重の平均値を基に成長解析を行い, 個体群成長速度 (CGR), 純同化率 (NAR), LAI を算出した. T3 の種子については十分に風乾後 (含水率 3~4%), 種子毎に胚の有無により稔実または不稔に分別しそれぞれ計数し, 全種子数に対する稔実種子の百分率として稔実歩合を算出した. 全乾物重に対する稔実種子風乾重の比を収穫指数とした. 稔実種子を用いて株毎に百粒重を計量した. 収穫した稔実種子は各播種期の各品種において 1 反復 2 個体, 2 反復の, 計 4 個体について油脂抽出を行った. 油脂抽出は, Hara and Radin (1978) および古謝ら (2012) の方法を参考に, ヘキサン・イソプロパール混合液を用いて行った. まず, ハンマーミルを用いて種皮ごと粉碎し, 2 mL 容マイクロチューブに約 0.5 g 採取し, ヘキサン:イソプロパノール = 4:5 溶液を添加した. 5 分間攪拌後, 65°C で 15 分間温浴し, 12000 rpm で 5 分間遠心分離した上澄みを採集した. これを 2 回繰り返して, 得られた上澄みをドラフト内で 60°C に加温し溶媒を揮発させた. チューブに残った油脂を計量後, 抽出前種子重に対する油脂重の割合として含油率を算出した.

各パラメーターについて品種および播種期を要因として Tukey 法を用いて要因間の多重比較を行った. また, 収量および収量構成要素の平均値を用いて相関分析, 1%水準の t 検定を用いた分散分析を行った.

結 果

沖縄地域は年間を通して最低気温が 10°C を下回ることは少なく温暖な亜熱帯島嶼型気候である. 試験期間中の平均気温は 1981 年から 2010 年までの過去 30 年の平年値 (気象庁 2017a) と同等であった (第 1 図). 降水量については平年値との差が見られたが梅雨と台風の影響であった. また, 春播き栽培期間中の 2014 年 7 月 8 日の台風 8 号, 夏播き栽培期間中の同年 10 月 11 日の台風 19 号によって開花後のヒマワリが甚大な被害を受けたため, それぞれ種子収穫に至らなかった. 平均気温は栽培期間を通して夏播きで約 28°C と高かった. また, 春播きでは生育初期で 20°C



第1図 試験期間中の平均気温および降水量.

注：実線およびバーはそれぞれ試験期間中の平均気温および降水量を示す。点線および破線はそれぞれ那覇地点における1981年から2010年の30年間の平均気温および降水量の平均値を示す（気象庁2017）。矢印は各播種期の栽培期間を表す。

第2表 各生育ステージ間の日数および各栽培期間の有効積算温度.

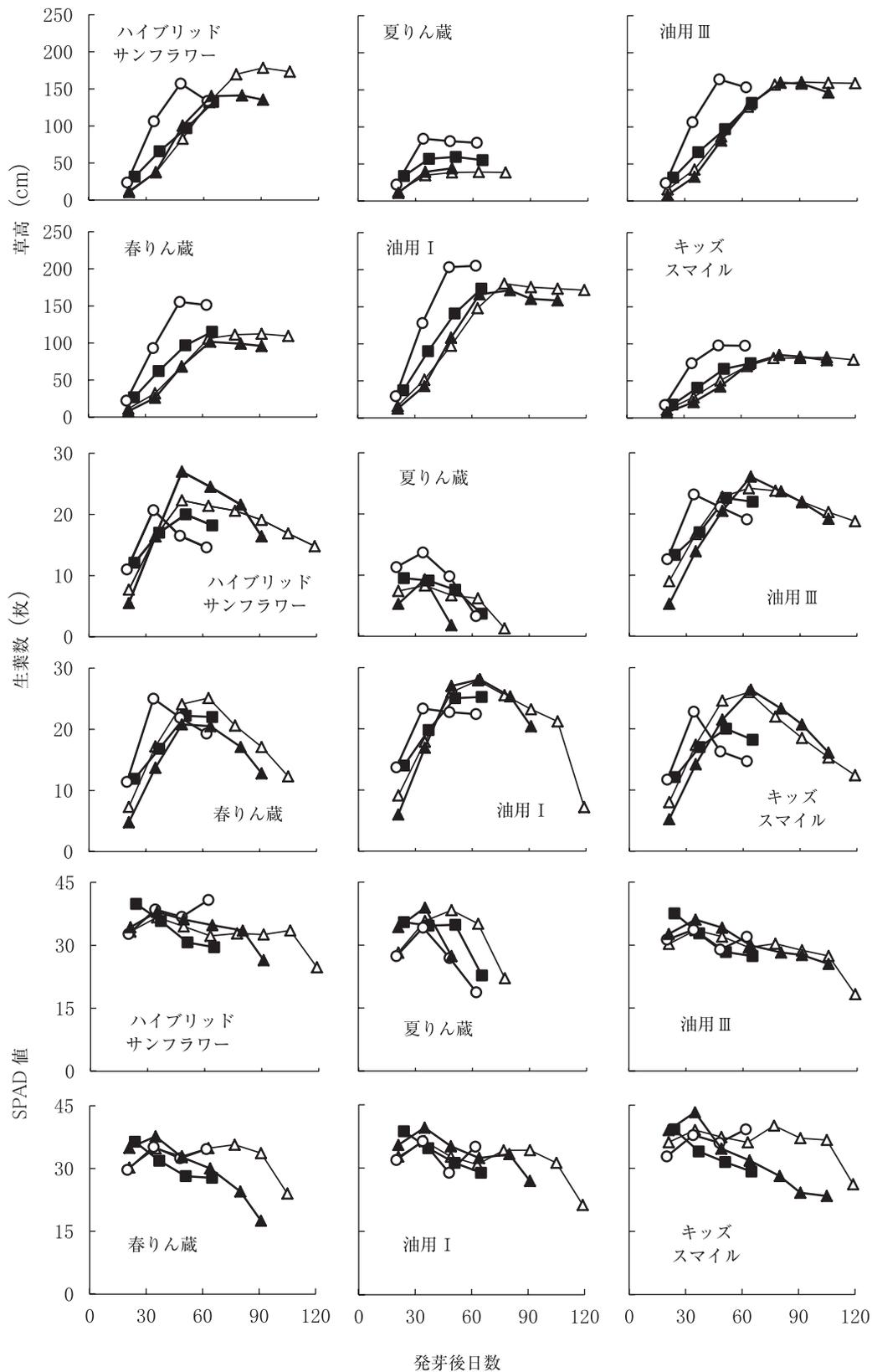
品種	播種期	栽培日数			有効積算温度 (°C・day)			温度積算速度 (°C day ⁻¹)		
		発芽日-T1	発芽日-T2	発芽日-T3	発芽日-T1	発芽日-T2	発芽日-T3	発芽日-T1	T1-T2	T2-T3
ハイブリッド サンフラワー	春	36	62	-	627	1161	-	17.4	20.5	-
	夏	28	49	-	638	1104	-	22.8	22.2	-
	秋	49	90	133	697	1101	1528	14.2	9.9	9.9
	冬	41	65	104	507	876	1573	12.4	15.4	17.9
春りん蔵	春	35	59	-	608	1093	-	17.4	20.2	-
	夏	28	48	-	638	1081	-	22.8	22.2	-
	秋	38	74	118	578	937	1373	15.2	10.0	9.9
	冬	41	62	102	507	834	1532	12.4	15.6	17.4
夏りん蔵	春	15	31	-	253	532	-	16.9	17.5	-
	夏	17	37	-	395	837	-	23.3	22.1	-
	秋	12	32	89	212	514	1090	17.6	15.1	10.1
	冬	21	40	80	247	493	1118	11.8	12.9	15.6
油用Ⅰ	春	37	62	-	645	1161	-	17.4	20.6	-
	夏	32	52	-	727	1171	-	22.7	22.2	-
	秋	47	81	130	678	1007	1502	14.4	9.7	10.1
	冬	44	72	108	557	987	1655	12.7	15.4	18.6
油用Ⅲ	春	37	62	-	645	1161	-	17.4	20.6	-
	夏	30	50	-	682	1127	-	22.7	22.2	-
	秋	52	89	133	724	1090	1528	13.9	9.9	9.9
	冬	47	78	114	647	1084	1785	13.8	14.1	19.5
キッズ スマイル	春	33	58	-	570	1070	-	17.3	20.0	-
	夏	25	45	-	572	1015	-	22.9	22.2	-
	秋	42	87	133	629	1070	1528	15.0	9.8	10.0
	冬	48	76	118	629	1052	1876	13.1	15.1	19.6

注：春播き，夏播き，秋播き，冬播きの発芽日はそれぞれ2014年4月30日，8月2日，10月31日，2015年2月17日。有効積算温度の基準温度は6°Cを用いた（Kiniryら1992）。

T1：着蕾期，T2：開花期，T3：収穫期。

付近と低かったが生育が進むにつれ徐々に上昇した。秋播きでは12月に入ると16°C付近であった。冬播きは播種期の2月で16°C程度であったが，3月中旬以後は徐々に上がり20°Cを上回ることが多かった。降水量は春播き栽培

期間中で多く，台風や梅雨の影響が考えられた。夏播きにおいても台風により降水量が一時的に多くなった。秋播きでは台風接近もなく，平年より降水量が少なかった。冬播きでは生育後期（5月下旬～6月上旬）に梅雨の影響によ



第2図 播種期の違いが草高、生葉数、SPAD値の推移に与える影響。

注: ■, ○, △, ▲はそれぞれ春播き、夏播き、秋播き、冬播きを示す。

る降水量の増加が見られた。各生育ステージ間の日数および各栽培期間の有効積算温度を第2表に示した。発芽からT1に至るまでの日数は、ハイブリッドサンフラワー、油

用I、油用IIIにおいて夏播きで28-32日と最も短く、次いで春播きで36-37日、冬播きで41-47日、秋播きで47-52日となった。春りん蔵およびキッズスマイルについて

第3表 播種期の違いが全乾物重、葉面積、SLA および T1-T2 間の成長関数に与える影響。

品種	播種期	全乾物重 (g plant ⁻¹)		葉面積 (cm ² plant ⁻¹)		SLA (cm ² gDW ⁻¹)		CGR (g m ⁻² day ⁻¹)	LAI	NAR (g m ⁻² day ⁻¹)
		T1	T2	T1	T2	T1	T2			
ハイブリッド サンフラワー	春	29.3 ^a	84.2 ^a	2297 ^a	3361 ^a	202 ^a	199 ^a	11.7	1.6	7.5
	夏	20.4 ^a	107.2 ^{ab}	2818 ^a	6011 ^b	255 ^b	238 ^b	23.0	2.3	9.8
	秋	40.1 ^b	158.5 ^c	4685 ^b	6071 ^b	266 ^b	211 ^a	16.0	3.0	5.4
	冬	27.2 ^a	124.0 ^b	2198 ^a	4902 ^{ab}	175 ^a	209 ^a	22.4	1.9	12.0
春りん蔵	春	24.4 ^b	72.4 ^a	2824 ^b	3371 ^a	305 ^c	223 ^a	11.1	1.7	6.5
	夏	20.0 ^{ab}	92.4 ^a	2975 ^b	6278 ^b	266 ^b	267 ^c	20.1	2.5	8.2
	秋	15.0 ^a	101.0 ^a	2205 ^{ab}	5802 ^b	299 ^c	224 ^{ab}	13.3	2.1	6.4
	冬	17.1 ^{ab}	81.5 ^a	1607 ^a	4417 ^{ab}	186 ^a	250 ^{bc}	17.0	1.5	11.0
夏りん蔵	春	0.8 ^{ab}	15.7 ^b	166 ^b	1011 ^a	341 ^c	235 ^b	5.2	0.3	19.9
	夏	2.4 ^c	32.4 ^c	401 ^c	2188 ^b	247 ^a	228 ^b	8.3	0.6	14.2
	秋	0.2 ^a	6.5 ^a	46 ^a	525 ^a	353 ^c	274 ^c	1.7	0.1	15.8
	冬	1.0 ^b	17.7 ^b	168 ^b	851 ^a	304 ^b	189 ^a	4.9	0.2	21.0
油用 I	春	50.9 ^a	123.1 ^a	3660 ^a	3876 ^a	212 ^a	193 ^a	16.0	2.1	7.7
	夏	42.7 ^a	106.8 ^a	4922 ^b	5042 ^a	286 ^b	233 ^{ab}	17.8	2.8	6.5
	秋	37.6 ^a	145.8 ^a	4283 ^{ab}	8442 ^b	287 ^b	249 ^b	17.7	3.4	5.2
	冬	38.7 ^a	147.5 ^a	3065 ^a	5143 ^a	198 ^a	191 ^a	21.6	2.2	9.7
油用 III	春	43.3 ^{ab}	115.5 ^{ab}	3508 ^a	4285 ^a	217 ^a	199 ^{ab}	16.0	2.2	7.4
	夏	28.6 ^a	102.5 ^a	3783 ^a	6511 ^c	278 ^b	271 ^c	20.5	2.8	7.4
	秋	45.2 ^b	145.9 ^b	5293 ^a	6252 ^{bc}	276 ^b	227 ^b	15.1	3.2	4.7
	冬	55.1 ^b	153.8 ^b	4908 ^a	4671 ^{ab}	227 ^a	186 ^a	17.7	2.7	6.7
キッズ スマイル	春	14.3 ^{ab}	49.0 ^a	1495 ^a	2348 ^a	229 ^b	207 ^b	7.7	1.0	7.3
	夏	12.6 ^a	85.0 ^b	1958 ^a	6126 ^b	257 ^c	226 ^b	20.1	2.0	9.9
	秋	21.6 ^{bc}	128.2 ^c	2887 ^b	6873 ^b	265 ^c	216 ^b	13.2	2.6	5.2
	冬	29.7 ^c	104.3 ^{bc}	2314 ^{ab}	3576 ^a	185 ^a	159 ^a	14.8	1.6	9.2

分散分析表

播種期 (S)	**	**	**	**	**	**
品種 (C)	**	**	**	**	*	ns
S × C	**	**	**	**	ns	ns

注：異なるアルファベットは各品種の播種期間で有意差があることを示す (Tukey 法, $P < 0.01$)。* および ** はそれぞれ $P < 0.05$ および $P < 0.01$ で有意であることを示し, 'ns' は有意でないことを示す。

T1：着蕾期, T2：開花期。

では冬播きで最も長くなっていた。発芽から T2 までの日数は夏りん蔵を除き、夏播きで 45–52 日、春播きで 58–62 日、冬播きで 62–78 日、秋播きで 74–90 日となった。夏りん蔵は播種期によらず T1 までの日数が 10–20 日、T2 までの日数が 30–40 日と他の品種に比べ短かった。発芽から T3 までの日数はいずれの品種も冬播きに比べ秋播きで長かった。発芽から T1 までの有効積算温度は、500–700°C 日程度であり、夏りん蔵およびキッズスマイルを除く品種の冬播きで低くなる傾向にあった。夏りん蔵を除くいずれの品種とも発芽から T2 までの有効積算温度は 1000–1100°C 日程度が最高値となっていた。その内、キッズスマイルを除く品種では秋冬播きで T2 までの有効積算温度が 100–200°C 日程度低くなる傾向が見られた。発芽から T3 までの有効積算温度はいずれの品種も秋播きで冬播き

に比べ低かった。発芽から T1 までの 1 日当たり有効積算温度増加量 (温度積算速度とする) はいずれの品種においても夏播きで高く、次いで春播き、秋播き、冬播き栽培の順であった。T1-T2 間では夏りん蔵を除く品種で夏播きで最も高く、次いで春播き、冬播き、秋播きの順であった。T2-T3 間では冬播きで高かった。

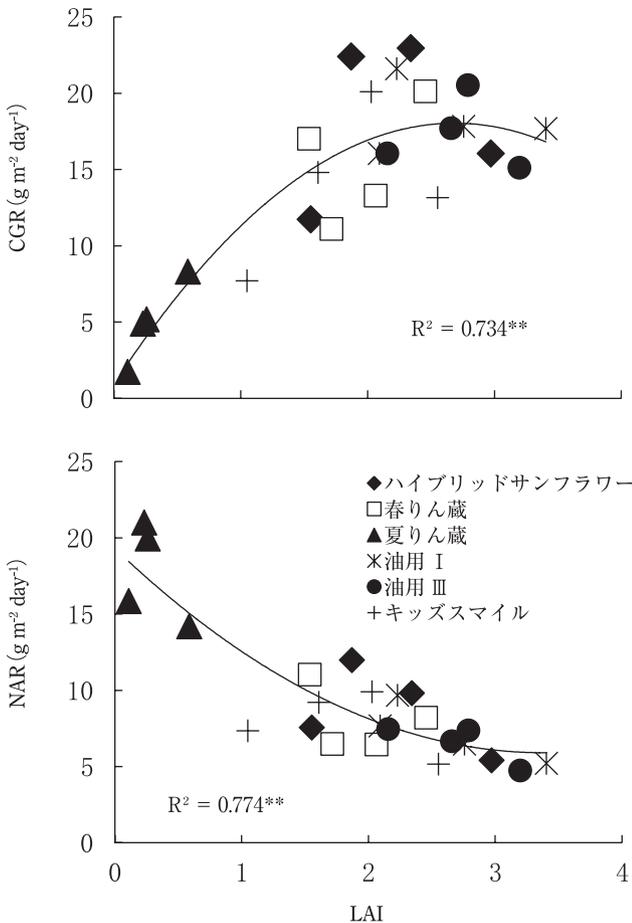
草高はいずれの品種、播種期においても開花時に最高値に達する傾向にあり、開花の早かった夏播きで最も早く最高値に達していた (第 2 図)。開花の早い夏りん蔵および矮性種のキッズスマイルで草高が低く推移した。生葉数は開花の約 2 週間前に最高値に達する傾向にあり、開花の早かった夏播きで早く最高値に達していた。いずれの品種においても最高値に達した後は、徐々に生葉数が減少した。草高の低かったキッズスマイルは同じく草高の低かった夏

りん蔵とは対照的に他の品種と同程度の葉数だった。SPAD 値はいずれの品種も春播きでは生育初期より低下する傾向にあったが、その他の播種期では生育初期に増加し、その後漸減する傾向にあった。特に、春りん蔵およびキッズスマイルでは秋播きで開花後も高い SPAD 値を維持した

が、冬播きでは漸減する傾向が見られた。

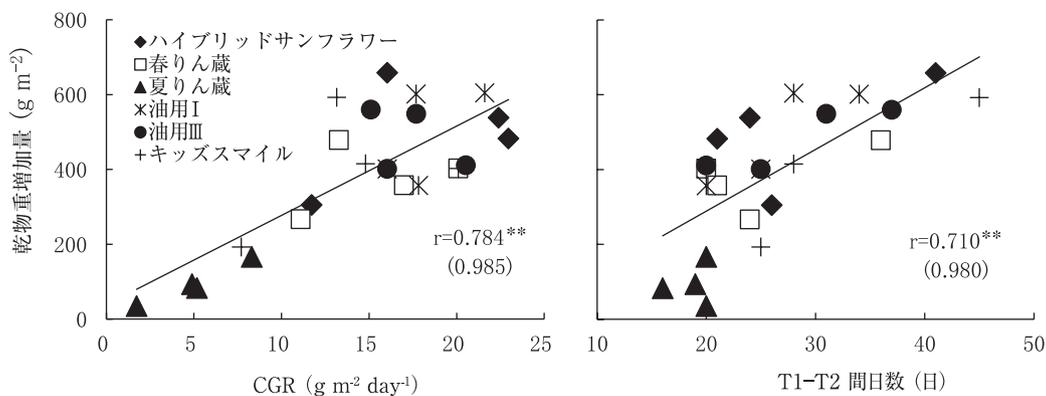
全乾物重および葉面積については各生育ステージにおいて、品種、播種期の影響が有意であった(第3表)。T1における全乾物重は、ハイブリッドサンフラワー、油用Ⅲ、キッズスマイルにおいて夏播きで最も低かった。夏りん蔵、油用Ⅰおよび油用Ⅲを除く品種ではT2において春播きでの全乾物重が他の播種期に比べて低く、秋播きで高かった。葉面積は全乾物重の傾向とやや異なっていた。T1における葉面積は、ハイブリッドサンフラワー、油用Ⅲおよびキッズスマイルでは秋播きで、その他の品種では夏播きで最も高くなった。T2における葉面積は、油用Ⅰおよびキッズスマイルは秋播きで、その他の品種は夏播きで高くなる傾向を示した。比葉面積(SLA)は全体的にT1からT2にかけて低下し、葉が厚くなっていった。ただし、冬播きのハイブリッドサンフラワーおよび春りん蔵ではT2にかけてSLAが増加した。T1におけるSLAは秋播き、T2におけるSLAは夏播きで高く、葉が薄くなる傾向が見られた。これらのデータを基にT1-T2間の成長解析を行ったところ、夏りん蔵を除き、CGRは夏播きおよび冬播きで $15\text{--}20\text{ g m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ と高く、LAIは秋播きで2-3と最も高く、NARは冬播きで $7\text{--}12\text{ g m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ と最も高くなる傾向が見られた。全品種および全播種期の成長関数の相関を第3図に示した。CGRはLAIが2.7付近まで増加し最大となった後、LAIが2.7以上で漸減した。また、NARはLAIが増加するにつれ低下した。T1-T2間の乾物重増加量はCGRおよびT1-T2間の日数とそれぞれ有意な正の相関関係を示した(第4図)。

冬播きの夏りん蔵を除き、秋播きおよび冬播きでは子実収穫に至った。夏りん蔵を除くいずれの品種においても冬播きにおいて秋播きと比べて、全子実数が多く、頭花径、稔実歩合、百粒重が低くなる傾向が見られた(第4表)。頭花肥大速度およびT2-T3間のCGRは春りん蔵、夏りん蔵、キッズスマイルは秋播きで高く、その他の品種は冬播きで高くなった。乾物収量は油用Ⅰおよび油用Ⅲを除いて秋播きで冬播きに比べて高くなった。子実収量については秋播



第3図 T1-T2間の個体群成長速度(CGR)と純同化率(NAR)および葉面積指数(LAI)の相関関係。

注: 曲線は、2次の多項式近似曲線を示し、**は $P < 0.01$ で有意であることを示す。



第4図 T1-T2間の乾物重増加量と個体群成長速度(CGR)および日数との関係。

注: **は $P < 0.01$ で有意であることを示す。括弧内の数字は偏相関係数を示す。

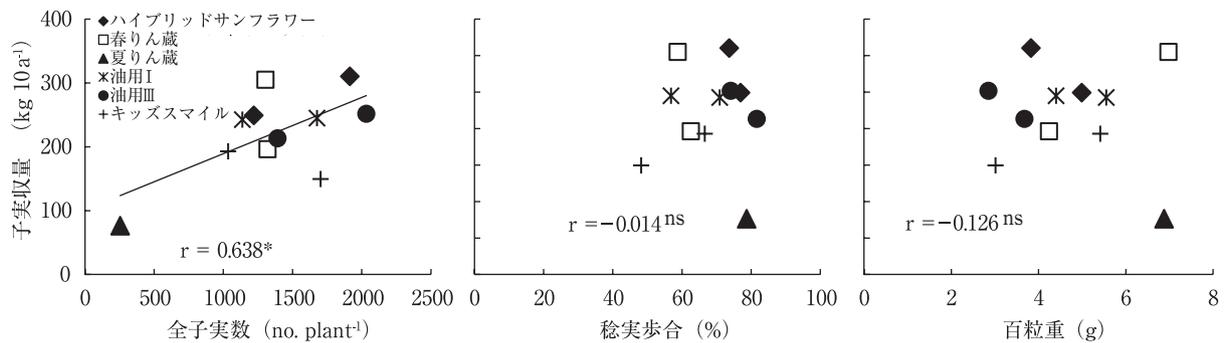
T1: 着蕾期, T2: 開花期。

第4表 播種期の違いが収量および収量構成要素に与える影響。

品種	播種期	頭花	頭花径 (cm)	全子実数 (plant ⁻¹)	稔実歩合 (%)	百粒重 (g)	収穫 指数	含油率 (%)	CGR (g m ⁻² day ⁻¹)	全乾物	子実	油脂
		肥大速度 (g m ⁻² day ⁻¹)										
ハイブリッド	秋	7.2	17.1 ^b	1220 ^a	77 ^a	5.0 ^b	0.26 ^a	34.1 ^a	3.4	1025 ^a	249 ^a	85 ^a
サンフラワー	冬	8.6	14.7 ^a	1914 ^b	74 ^a	3.8 ^a	0.34 ^b	36.1 ^b	5.7	912 ^a	310 ^a	112 ^b
春りん蔵	秋	8.6	17.8 ^b	1304 ^a	59 ^a	7.0 ^b	0.34 ^a	36.9 ^a	9.0	957 ^b	305 ^b	113 ^b
	冬	5.3	14.4 ^a	1319 ^a	63 ^a	4.2 ^a	0.36 ^a	38.9 ^a	2.3	546 ^a	196 ^a	76 ^a
夏りん蔵	秋	1.9	9.6 ^a	254	79	6.9	0.42	31.6	2.7	190 ^a	76	24
	冬	1.0	10.3 ^a	-	-	-	-	-	1.2	145 ^a	-	-
油用I	秋	5.3	14.8 ^a	1137 ^a	71 ^b	5.6 ^b	0.30 ^b	35.7 ^a	0.8	848 ^a	243 ^a	87 ^a
	冬	6.7	13.9 ^a	1677 ^b	57 ^a	4.4 ^a	0.28 ^a	35.6 ^a	1.8	885 ^a	245 ^a	87 ^a
油用III	秋	5.2	15.7 ^b	1391 ^a	82 ^a	3.7 ^a	0.27 ^a	38.2 ^a	1.3	866 ^a	213 ^a	82 ^a
	冬	6.7	13.2 ^a	2033 ^b	74 ^a	2.9 ^a	0.29 ^a	35.2 ^a	0.4	867 ^a	252 ^a	89 ^a
キッズスマイル	秋	5.4	16.6 ^b	1035 ^a	67 ^b	5.4 ^b	0.26 ^a	34.3 ^a	1.9	797 ^b	193 ^a	66 ^a
	冬	3.7	13.4 ^a	1703 ^b	48 ^a	3.0 ^a	0.28 ^a	37.1 ^a	-1.2	531 ^a	150 ^a	56 ^a

分散分析表											
播種期 (S)	頭花肥大速度	頭花径	全子実数	稔実歩合	百粒重	収穫指数	含油率	CGR	全乾物	子実	油脂
播種期 (S)	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	ns	ns
品種 (C)	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**
S × C	**	**	*	**	**	**	ns	**	**	**	ns

注：子実収穫を行った秋播きおよび冬播きでの収量調査結果をプロットした（ただし、冬播きの夏りん蔵は生育不良によりデータなし）。n=8（含油率のみn=4）。異なるアルファベットは播種期間で有意差があることを示す（t検定、 $P < 0.01$ ）。*および**はそれぞれ $P < 0.05$ および $P < 0.01$ で有意であることを示し、'ns'は有意でないことを示す。頭花肥大速度はT2とT3の頭花重の平均値を用いて算出した。CGRはT2-T3間で算出した。



第5図 子実収量と各収量構成要素との関係。

注：子実収穫を行った秋播きおよび冬播きでの収量調査結果をプロットした（ただし、冬播きの夏りん蔵は生育不良によりデータなし）。*およびnsはそれぞれ $P < 0.05$ で有意であることおよび有意でないことを示す。

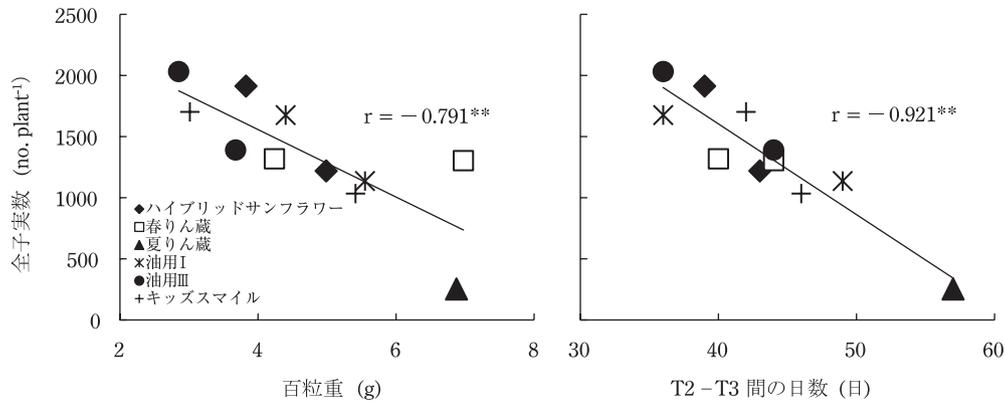
きで高くなる品種と冬播きで高くなる品種が見られた。特に、冬播きのハイブリッドサンフラワーおよび秋播きの春りん蔵は子実収量 300 kg 10 a⁻¹、油脂収量 100 kg 10 a⁻¹を上回る収量となった。2元配置分散分析の結果、含油率は品種や播種期の影響を受けないものの、その他の収量構成要素についてはそれらの影響が有意であった。また、子実収量と油脂収量は播種期の影響が有意でなく、品種による影響が有意であった。子実収量と各収量構成要素との相関を見ると、子実収量は全子実数とのみ有意な正の相関関係が認められた ($r=0.638, P < 0.05$; 第5図)。その全子実数は、百粒重 ($r=-0.791, P < 0.01$)、T2-T3間の日数 ($r=-0.921,$

$P < 0.01$)とそれぞれ有意な負の相関関係を示した(第6図)。

考 察

本実験では、4作の栽培試験により、沖縄におけるヒマワリの生育特性および収量特性を把握し、油糧用の子実生産を目的としたヒマワリの播種期および品種特性の解明を試みた。

ヒマワリの生育ステージは、発芽および出芽から花芽視認期（着蕾期）までの栄養生長期、着蕾期以降を生殖生長期とし、生殖生長期はさらに、着蕾期から開花期（開花期から開花終期）、開花終期から生理的成熟期（収穫期）



第6図 全子実数と百粒重および T2-T3 間の日数との関係。

注：子実収穫を行った秋播きおよび冬播きでの収量調査結果をプロットした（ただし、冬播きの夏りん蔵は生育不良によりデータなし）。**は $P < 0.01$ で有意であることを示す。

T2：開花期，T3：収穫期。

までの2つの期間に分類される (Schneider and Miller 1981)。本実験では、着蕾期、開花始期、収穫期の3つの生育ステージを観察し、生育ステージの推移と乾物生産の関係性を調査した。本実験において発芽から着蕾期までの日数と有効積算温度の関係については明瞭な関係が見られなかった (第2表)。これは着蕾期が花芽の視認により判定されるもので花芽の分化時期を正確にとらえたものでないことが原因ではないかと考えられる。また、これまでにヒマワリの開花までの日数と有効積算温度との関係については報告がなされ、成長予測モデルに応用されている (Hammer ら 1982)。そこで、以降は生育ステージの判別が明瞭である開花期と播種期との関係について述べる。

ヒマワリの発芽から開花までの期間は気温、日長、品種の影響を受ける (Connor and Hall 1997)。この内、気温や日長は播種期によって変化し、ヒマワリの発芽から開花までの日数は夏りん蔵を除いて、夏播きで最も早く約50日、次いで春播きで約60日、冬播きで約70日、秋播きで約80日となっていた (第2表)。しかし、栽培日数の違いにもかかわらず、発芽から開花までの有効積算温度は最高で $1000\text{--}1100^{\circ}\text{C}$ 程度となっており、開花までの有効積算温度に上限があることが示唆された。油用Ⅲおよびキッズスマイルは播種期による開花までの有効積算温度の差が小さいのに対し、ハイブリッドサンフラワー、春りん蔵および油用Ⅰは秋播きおよび冬播きにおいて開花までの日数は長い有効積算温度が春夏播きに比べ低くなる傾向が見られた。夏りん蔵を除く品種における着蕾期、開花期の日長はそれぞれおよそ春播きで13.70、13.75時間、夏播きで12.70、12.00時間、秋播きで10.50、10.75時間、冬播きで12.60、13.00時間と大きくばらついていた (国立天文台天文情報センター 2017)。ヒマワリの着蕾日および開花日に関し、低温 (昼/夜温 $24/19^{\circ}\text{C}$) かつ短日条件 (10h) ではそれらが早くなる品種と遅くなる品種が存在する (Goynes and Hammer 1982)。以上より、本実験で用いたハイブリッドサンフラワー、春りん蔵および油用Ⅰは、冷涼

期において有効積算温度の上昇が穏やかな場合、短日条件と併せて開花に至るのではないかと推察される。そのため、冬季に短日条件かつ低温となる沖縄においては、品種の早晩性に関し感温性だけでなく感光性も考慮して品種を選定することが有効である。このようにヒマワリは広範な気象条件においても開花できるため、台風など開花後の障害を除くと熱帯だけでなく冷涼期のある亜熱帯の沖縄においても年間を通して子実生産が可能であると考えられる。一方、夏りん蔵に関しては、いずれの播種期とも発芽から30-40日程度で開花に至っており、気温や日長の影響を受けにくい品種と推察された。

T1-T2間のCGRは秋播きおよび冬播きで夏播きに比べ低くなった。沖縄におけるヒマワリの最適LAIは2.7付近にあり (第3図)、秋播きではLAIが高く相互遮蔽によりNARが低下したことがCGRの低下に繋がった (第3表)。春播きは、CGRが最も低かったが、LAIだけでなくNARも低かったことがCGRの低下を引き起こした。これらのことから、沖縄においてはLAIが2.7付近でかつNARが $6.5\text{ g m}^{-2}\text{ day}^{-1}$ 以上 (第3図) であることが高いCGRに貢献すると考えられる。また、T1-T2間の乾物重増加量は、その期間のCGRと日数の積で表わされるが、CGRと同様に日数と強い相関関係があり (第4図)、CGRだけでなく開花に至る日数にも影響される。秋播きでは有効積算温度の上昇が穏やかであるために開花に日数を要し (第2表)、LAIおよび開花時の全乾物重が高くなったと考えられる。一方、同じ亜熱帯気候に属するクイーンズランドの秋播き栽培では、低温・低日射によりLAIの発達が遅く、葉面積展開が不十分のまま開花に至り乾物生産が低下した (Bange ら 1997)。低日射 ($9.5\text{ MJ m}^{-2}\text{ day}^{-1}$) かつ低温 (昼/夜温 $15/10^{\circ}\text{C}$) で葉面積が低くなり、低日射でも温暖 ($21/16^{\circ}\text{C}$) であれば葉面積が高くなることが知られており (Rawson ら 1984)、クイーンズランドでは冬季に最低気温が 10°C を下回るが、沖縄では稀であるため、低日射条件 (発芽からT2までの

平均 $8.0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 、データ省略) 下の秋播き栽培においても高い葉身展開能力を維持できたものと考えられる。これらの結果より、沖縄においては一部の品種で冬場の短日条件の影響を受けるが、主に有効積算温度が開花までの日数を決定しており、開花までの乾物生産の主要な制限要因であることが分かった。

ヒマワリの子実収量は、全子実数、稔実歩合、百粒重の積で表わされる。子実収穫を行った秋播きおよび冬播きにおける各品種の平均値(第4表)を用いて、子実収量と各収量構成要素との相関分析を行ったところ、子実収量は全子実数 ($r=0.638$, $P<0.05$) と有意な正の相関関係が認められ、稔実歩合および百粒重とは有意な相関関係は認められなかった(第5図)。全子実数は、百粒重 ($r=-0.791$, $P<0.01$)、T2-T3間の日数 ($r=-0.921$, $P<0.01$) と負の相関が認められ、子実が多いと子実サイズが小さく登熟期間が短くなることが示唆された(第6図)。一般にヒマワリの子実数は、他の作物に比べ長い期間、花芽分化から子実肥大初期(開花終期)にかけて決定される(Connor and Hall 1997)。生育期間中の気温の上昇に伴い子実数は増加するが、同時に稔実歩合が低下するため、稔実子実数は平均気温 $18-24^{\circ}\text{C}$ で高く、それ以上または以下では少なくなる(Rawson ら 1984)。本実験期間中においても、平均気温が $20.9-21.8^{\circ}\text{C}$ の冬播きで稔実子実数は多く、 $17.4-18.1^{\circ}\text{C}$ の秋播きでは稔実子実数は少なかった(第1図、第4表)。また、本実験では収穫に至らなかったが、夏播きは開花期の全乾物重が秋播きや冬播きに比べ低く(第3表)、生育期間中の気温も 28°C 付近と高いため(第1図)、秋冬播きに比べ稔実子実数が低く、子実収量も低いことが推察された。

T1-T2間のCGRが高い冬播きで著しく収量の低い品種(春りん蔵、キッズスマイル)が見られ、T1-T2間の高CGRが高収量には結びついていなかった(第3表、第4表)。ヒマワリの生育と収量の関係に関し、開花までの生育だけが収量を制限するのではなく、開花後の群落の緑葉維持能力も乾物生産については収穫指数に影響を及ぼす主要な要素のひとつであることがわかっている(de la Vega and Hall 2002a)。本実験では開花後の葉面積の推移を測定していないが、春りん蔵およびキッズスマイルは他の品種と異なり、冬播きで秋播きに比べ開花後のSPAD値の低下が著しかった(第2図)。開花期以降のSPAD値の低下は葉の老化を意味し(Sadras ら 2000)、葉は黄化後に枯死・落葉する。本実験では落葉した葉の乾物を追跡していないが、冬播きでSPAD値低下の著しい春りん蔵およびキッズスマイルでは落葉が多く、T2-T3間のCGRが低くなった可能性も考えられる(第4表)。開花後の葉身のSPAD値の推移は子実肥大と関係があるため(Sadras ら 2000)、その低下が頭花肥大速度については子実収量の低下を引き起こしたと考えられた(第4表)。これらのことから、本実験においても開花までの乾物生産だけでなく、開花後の乾物生産もヒマ

ワリの子実生産に大きく貢献する要因であることが示唆された。

本実験の結果より、開花までの生育に関し、亜熱帯気候の沖縄では1年間を通した栽培が可能であり、ヒマワリの高い気候適応能力が確認された。しかし、沖縄では7月から10月まで平均して1回以上の台風が接近し(気象庁 2017b)、この時期の栽培、特に頭花の重くなる開花期以降で台風被害が予想される。これに加え、夏場の高温による開花の促進や梅雨(4月下旬~6月中旬)を考慮すると、発芽から開花までの有効積算温度 1100°C 日および那覇地点の旬別気象データ(1981年から2010年までの30年平均; 気象庁 2017a)から、沖縄における子実収穫を目的としたヒマワリの播種期としては10月上旬から2月上旬(開花は12月上旬から4月下旬)が適していると考えられる。また、子実収量は、全子実数が多く、かつ開花後のCGRが高かった、冬播きのハイブリッドサンフラワー、秋播きの春りん蔵で世界の平均単収 $164 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ (2007年から2016年の10年平均; FAOSTAT 2017)を大幅に上回る $300 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 以上となった。日本の沖縄を除く12県で行われた栽培試験のデータをまとめると、5月播きで平均 $337 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 、6月播きで $281 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ となっており(黒河 1985)、沖縄の $300 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ という値も実験レベルではあるが同等の値と言えた。このように、沖縄においても品種と播種期の組み合わせによって高い収量を得られることが明らかとなった。

謝辞: 本研究を遂行するに当たり多大なご協力を頂いた琉球大学農学部作物学研究室の松茂良興起氏、石珠樹氏に心より感謝申し上げます。

引用文献

- Bange, M.P., Hammer, G.L. and Rickert, K.G. 1997. Environmental control of potential yield of sunflower in the subtropics. *Aust. J. Agric. Res.* 48: 231-240.
- Connor, D.J. and Hall, A.J. 1997. Sunflower physiology. In Shneiter, A.A. ed., *Sunflower technology and production*. American society of agronomy, Wisconsin. 113-182.
- Connor, D.J. and Sadras, V.O. 1992. Physiology of yield expression in sunflower. *Field Crops Res.* 30: 333-389.
- de la Vega, A.J., Chapman, S.C. and Hall, A.J. 2001. Genotype by environment interaction and indirect selection for yield in sunflower. I. Two-mode pattern analysis of oil and biomass yield across environments in Argentina. *Field Crops Res.* 72: 17-38.
- de la Vega, A.J. and Hall, A.J. 2002a. Effects of planting date, genotype, and their interactions on sunflower yield: I. Determinants of oil-corrected grain yield. *Crop Sci.* 42: 1191-1201.
- de la Vega, A.J. and Hall, A.J. 2002b. Effects of planting date, genotype, and their interactions on sunflower yield: II. Components of oil yield. *Crop Sci.* 42: 1202-1210.
- FAOSTAT. 2017. Production, Crops, Sunflower seeds. <http://faostat.fao.org/> (2017/12/25 閲覧).
- Goynne, P.J. and Hammer G.L. 1982. Phenology of sunflower cultivars: II.

- Controlled-environment studies of temperature and photoperiod effects. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 251-261.
- Hammer, G.L., Goyne, P.J. and Woodruff, D.R. 1982. Phenology of sunflower cultivars. III: Models for prediction in field environments. *Aust. J. Agric. Res.* 33: 263-274.
- Hara, A. and Radin, N.S. 1978. Lipid extraction of tissues with a low-toxicity solvent. *Anal. Biochem.* 90: 420-426.
- Kiniry, J.R., Blanchet, R., Williams, J.R., Texier, V., Jones, C.A. and Cabelguenne, M. 1992. Sunflower simulation using the EPIC and ALMANAC models. *Field Crops Res.* 30: 403-423.
- 気象庁 2017a. 過去のデータ検索. 那覇地点. www.data.jma.go.jp/ (2017/12/25 閲覧).
- 気象庁 2017b. 過去の台風資料. <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/statistics/average/average.html> (2017/9/25 閲覧).
- 古謝風花・荒木秀雄・稲福(寺本)さゆり・諏訪竜一・本村恵二・川満芳信 2012. ツルレイシ種子における脂肪酸組成の経時変化. *熱帯農業研究* 5 (2): 61-62.
- 国立天文台天文情報センター 2017. 暦計算室, 那覇地点. <http://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/> (2017/12/25 閲覧).
- 黒河計 1985. 水田転換作物としての油脂用ヒマワリの栽培. *農業技術* 40(7): 292-298.
- 内閣府沖縄総合事務局 2017. 沖縄県経済の概況, I-3 産業構造. pp15-16. <http://www.ogb.go.jp/soumu/003093.html> (2017/12/25 閲覧).
- 農林水産省 2015. 2015 年農林業センサス, 第 2 巻農林業経営体調査報告書 - 総括編 -, 2-8 経営耕地の状況. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/index.html> (2017/12/25 閲覧).
- 農林水産省 2017a. 平成 27 年度食料需給表, 国内消費志向量, 植物油脂. <http://www.maff.go.jp/j/zyukyu/fbs/> (2017/12/25 閲覧).
- 農林水産省 2017b. 平成 28 年度食料農業農村白書, 第 1 章第 1 節 (1) 食料自給率. <http://www.maff.go.jp/j/wpaper/> (2017/12/25 閲覧).
- 沖縄気象台 2017. 沖縄地方の平年の気候. http://www.jma-net.go.jp/okinawa/menu/syokai/toukei/heinen_tenkou/clim_okinawa_main.html (2017/12/25 閲覧).
- Purseglove, J.W. 1968. *Helianthus annuus*. In *Tropical crops dicotyledons*. Longman press, London. 68-73.
- Rawson, H.M., Dunstone, R.L., Long, M.J. and Begg, J.E. 1984. Canopy development, light interception and seed production in sunflower as influenced by temperature and radiation. *Aust. J. Plant Physiol.* 11: 255-265.
- Sadras, V.O., Echarte, L. and Andrade, F.H. 2000. Profiles of leaf senescence during reproductive growth of sunflower and maize. *Ann. Bot.* 85: 187-195.
- Schneiter, A.A. and Miller, J.F. 1981. Description of sunflower growth stages. *Crop Sci.* 21: 901-903.
- Soil survey staff 2010. *Keys to soil taxonomy*, 11th ed. USDA Natural resources Conservation Service (Washington) pp.1-346.
- 寶川拓生・薮田伸・富永淳・渡邊健太・荒木秀雄・川満芳信 2014. 沖縄における播種期の違いが油糧用ヒマワリの成長および収量に与える影響. *沖縄農業* 47(1): 27-34.

Effect of Sowing Time on Growth and Yield Characteristics of Six Commercial Sunflower Cultivars in Okinawa : Hiroo TAKARAGAWA^{1,2)}, Shin YABUTA³⁾, Kenta WATANABE^{1,2)} and Yoshinobu KAWAMITSU¹⁾ (¹⁾*Fac. of Agr., Univ. of the Ryukyus, Okinawa 903-0213, Japan;* ²⁾*The United Grad. School of Agr. Sci., Kagoshima Univ.;* ³⁾*Fac. of Agr., Univ. of Kagoshima*)

Abstract : Sunflower has been cultivated as a decorative plant in subtropical Okinawa; however, the optimal sowing time and suitable cultivar for oil production have not yet been determined. In this study, six cultivars were grown in four seasons and the growth and yield characteristics were examined to determine the optimal sowing time and suitable cultivar in the region. The effective accumulated temperature from emergence to flowering was 1000–1100°C, and some cultivars showed lower values under short day conditions in autumn and winter sowings. Sunflower can be grown year round in Okinawa because the temperature in winter is above 10°C. However, it is important to consider lodging due to typhoons during the seed harvesting season in sunflower sown in spring or summer (July–October). The results revealed that high growth rates before and after flowering were important for obtaining high yields in sunflower sown in autumn and winter; however, the yield was lowered by decreased biomass at flowering and reduced number of seeds caused by high temperatures in spring and summer. Therefore, the optimum sowing time to harvest sunflower seed for oil production was considered to be from the beginning of October to the beginning of February. By using cultivars that are photosensitive and have a high growth rate after flowering, a high seed yield of 300 kg 10 a⁻¹ and high oil yield of 110 kg 10 a⁻¹ could be obtained.

Key words : Crop growth rate, Effective accumulated temperature, Sowing time, Subtropics, Sunflower.