

第 4 章

反射光がダイズ中・下位葉の光合成速度と子実収量に及ぼす影響

－栽植密度が異なる場合－

前章では反射光処理によって、ポット実験では強光下において中・下位葉の光合成速度が大きくなり、その要因のひとつは気孔における CO_2 吸収速度の増大にあることを明らかにした。しかし、圃場における反射光処理では、群落中・下層の光強度が一定程度増大したものの、反射光処理による中・下位葉の光合成速度および子実収量の増加は認められなかった。

ダイズ個体群の光合成速度が受光条件と密接に関係していることは多くの研究者が指摘しているところである (Johnstonら 1969, 玖村 1969, 小島 1972, Kokubun and Watanabe 1981, 中世古ら 1984, 国分 1988, Isodaら 1994, 磯田ら 1996)。ダイズ栽培の技術的要素の中で受光条件との関係が深いものとして、品種選択、栽植密度、栽植様式等が考えられる。本章ではその中のひとつである栽植密度との関連で、反射光処理が子実収量、中・下位葉の受光条件の変化および光合成速度に及ぼす影響について検討した。

1 材料と方法

1) 試験区の構成

実験は1996年に岩手大学農学部附属農場で行った。供試品種は「スズカリ」を用いた。試験区は栽植密度 m^2 当たり14.3本（畦間70cm, 株間10cm, 以下10cm区）, 9.5本（畦間70cm, 株間15cm, 以下15cm区）, 5.7本（畦間70cm, 株間25cm, 以下25cm区）の3段階とした。各試験区とも33.6 m^2 （長さ8m, 6畦）とし、反射光処理区と無処理区を設け、いずれも2反復とした。施肥は m^2 当たり N ; 3g, P_2O_5 ; 18g, K_2O ; 12gを全量基肥として施用した。播種は5月27日に行った。反射光処理は前章と同様に、リンゴの着色管理に使用されている反射シート（東京麗光, WB）で畦間を被覆することにより行った。処理は7月11日に開始して、成熟期まで継続した。反射光処理開始時は5L~6L展開期であった。

2) 光合成速度の測定

光合成速度の測定は、携帯式光合成測定装置（ADC社製, SPBH3）を用いて、晴天日の10時から15時の間に、開花期（8月2日）および着莢期（8月12日）には、4L~6L, 子実肥大期（8月25日）には6Lの各頂小葉について測定した。測定は対象葉を個体から切り取った後速やかに行った。測定に供した葉は株間, 畦間にかかわらず無作為に採取した。測定は自然光を利用し、はじめは強光下で、次第に光強度を低下させて測定した。測定は同一葉位について、同一光強度で2~3枚の小葉を用いた。光強度の調整は寒冷紗および黒布を用いて行った。なお、切断葉を用いたのは光強度の調整をやりやすくするためであった。

切断葉を用いることは測定時間の経過によって小葉の萎凋による測定値の低下が懸念された。しかし、予備実験の結果、切断葉の光合成速度は着生葉の場合に比べて10%程度の差があったが、光合成能力を比較検討することは十分に可能と判断した。測定時の導入空気量は 300 mL min^{-1} に設定した。測定時の葉温は開花期 $28 \pm 2^\circ\text{C}$ 、着莢期 $33 \pm 2^\circ\text{C}$ および子実肥大期 $29 \pm 1^\circ\text{C}$ であった。また、導入空気の CO_2 濃度は開花期 $344 \pm 9\text{ ppm}$ 、着莢期 $354 \pm 11\text{ ppm}$ および子実肥大期 $336 \pm 2\text{ ppm}$ であった。

開花期から着莢期の曇天日（8月2日）および晴天日（8月6日）に各試験区の畦間および株間の光合成有効放射強度を地際から10 cm間隔で、光量子センサー（LI-COR社製、LI-190SA）を用いて測定した。測定値は風の影響や測定位置によって変動がみられたので各試験区2ヵ所、各高さ3～5点の平均として求めた。

3) 生長解析および収量調査

開花期、着莢期および子実肥大期に各栽植密度区の5個体について、葉身、茎、葉柄および莢に分けて 80°C 48時間通風乾燥し、地上部乾物重を測定した。また、5個体中の平均的な1個体について葉面積を測定し乾燥後比葉重を求め、計算によって葉面積指数を算出した。その値を基にCGRおよびNARを算出した。

収量調査は各試験区20株を10月18日に刈取り、風乾後、分枝を含む主茎上位節（第9節以上）と下位節（第8節以下）に分けて、莢数、粒数および子実重を測定した。

2 結 果

1) 反射光処理が子実収量に及ぼす影響

第4-1表に莢数、粒数および子実収量を、上位節（9節以上）に由来するものと下位節（8節以下）に由来するものに分けて示す。

栽植密度間で比較すると、莢数、粒数および子実重とも同様の傾向が認められ、10cm区が大きく、ついで15cm区が大きく、25cm区が最も小さい傾向が認められた。反射光処理の影響は10cm区では認められなかったが、15cm区および25cm区では反射光処理によって子実重は無処理に比べて有意に大きくなった。しかし、15cm区の反射光処理区の子実重は10cm区と同程度であり、25cm区の反射光処理区の子実重は10cm区の無処理区の75%程度であり、ともに10cm区の無処理区の子実重を上回ることにはなかった。

上位節に着生する莢数、粒数および子実重は栽植密度間では明らかな違いが認められたが、反射光処理による明らかな影響は認められず莢数、粒数および子実重は栽植密度の差がそのまま反映していた。

下位節に着生する莢数、粒数および子実重について、各栽植密度における反射光処理の影響をみると、10cm区では反射光処理区が莢数、粒数および子実重のいずれも大きくなる傾向が認められ、莢数に有意差がみられた。また、25cm区でも反射光処理区がいずれも大きい傾向が認められ、粒数に有意差が認められた。15cm区では莢数、粒数および子実重のいずれにおいても反射光処理区が有意に大きく、子実重は無処理区に対して35%増大した。

このように、反射光処理は上位節に着生する莢数、粒数および子実重

第4-1表 上位節および下位節の莢数、粒数および子実収量

密度	反射光 処理	全 体 (m^{-2})			上位節 (第9節以上) (m^{-2})			下位節 (第8節以下) (m^{-2})		
		莢 数	粒 数	子実重(g)	莢 数	粒 数	子実重(g)	莢 数	粒 数	子実重(g)
10cm区	+ ¹⁾	844±114a	1490±176a	558±71a	414±25a	764±47a	288±25a	423±82b	733±181bc	262±74bc
	- ²⁾	766± 99a	1412±229a	524±90a	433±31a	803±63a	301±27a	333±85c	613±157c	219±60c
15cm区	+	778± 76a	1427±136a	525±44a	278±27b	494±48b	186±19b	512±69a	933±124a	336±41a
	-	670± 36b	1247± 85b	440±26b	276±17b	502±38b	184±12b	397±36bc	739± 63bc	248±18bc
25cm区	+	582± 38c	1122± 66b	402±19b	166±12c	312±30c	118± 8c	416±37b	809± 56ab	284±18b
	-	507± 30c	925± 41c	330±21c	158±15c	281±28c	103± 9c	349±34bc	619± 48c	227±25bc

数値は平均値±標準偏差で示す。異符号間にはダンカンの多重検定により、5%水準で有意な差があることを示す。

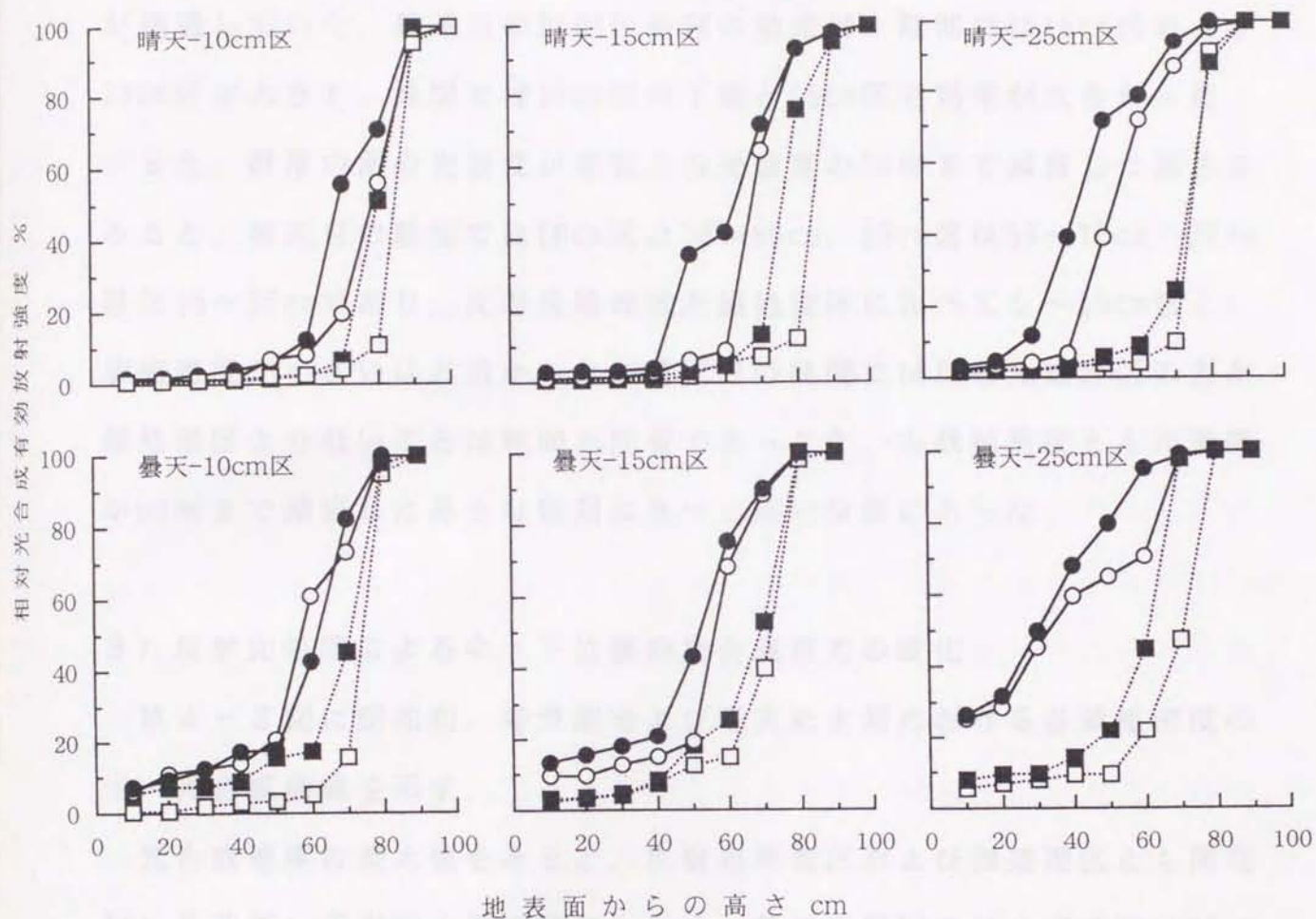
¹⁾ ; 反射光処理, ²⁾ ; 無処理. 第4-2表も同じ.

にはほとんど影響しなかったが、下位節に着生する莢数、粒数および子実重に影響し、その程度は15cm区で最も著しかった。

2) 反射光処理による群落中・下層における光環境の変化

第4-1図に晴天日および曇天日の相対光合成有効放射強度を示す。測定時の草高および展開葉位は、8月2日(曇天日)はそれぞれ80~88cmおよび11~12葉、8月6日(晴天日)は85~98cmおよび12~13葉であった。

群落内の光強度の変化を反射光処理との関係で、まず晴天日の畦間についてみることにする。10cm区では草高が60cmから80cmにかけて反射光処理の効果が顕著であるが、それより下層および上層ではほとんど効果がなかった。15cm区では50cmから70cmで最も効果が著しく、それより上層では無処理、処理両区とも光強度の低下はなかった。25cm区では30cmから60cmにかけて効果が大きかった。次に、晴天日の株間についてみると、10cm区では草高80cmで反射光処理の効果が認められたが、それより下層および上層では効果はなかった。15cm区では70cmから80cmで反射光処理の効果が認められた。25cm区では60cmから70cmでわずかに反射光処理の効果があつたが、それより下層および上層では効果がなかった。曇天日の畦間についてみると、10cm区ではいずれの高さでも反射光処理の効果はなかった。15cm区では10cmから60cmで反射光処理の効果が認められ、特に50cm付近で顕著であつた。25cm区では40cmから60cmにかけて反射光処理の効果があつたが、それより上層では処理、無処理両区とも光強度の低下はなかった。曇天日の株間についてみると、10cm区では10cmから70cmまで反射光処理の効果があつた。15cm区では50cmから70cmにか



第4-1図 晴天日および曇天日における反射光処理による畦間および株間の相対光合成有効放射強度の変化。

草冠上における光強度；晴天日(8/6) $1650 \sim 1830 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,
曇天日(8/2) $550 \sim 750 \mu \text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

○；無処理，畦間，●；処理，畦間，□；無処理，株間，■；処理，株間.

けてわずかに反射光処理の効果がみられた。25cm区では60cmから70cmにかけて顕著な効果があった。このように、晴天日では株間に比べて畦間において反射光処理の効果が大きく、栽植密度が小さいほど下層まで光が透過していた。曇天日の反射光処理の効果は、畦間では15cm区および25cm区が大きく、株間では10cm区の下層と25cm区で効果が大きかった。

また、群落内部の光強度が草冠上の光強度の50%まで減衰した高さをみると、晴天日の畦間では10cm区は70~80cm、15cm区は65~70cm、25cm区は45~55cmであり、反射光処理区が無処理区に比べて5~10cm低く、栽植密度が小さいほど低かった。晴天日の株間では反射光処理区の方が無処理区より低いことは畦間と同様であったが、各栽植密度とも光強度が50%まで減衰した高さは畦間に比べて高い位置にあった。

3) 反射光処理による中・下位葉の光合成能力の変化

第4-2図に開花期、着莢期および子実肥大期における各栽植密度の光-光合成曲線を示す。

光合成速度の最大値をみると、反射光処理区および無処理区とも開花期>着莢期>子実肥大期の順で大きく、栽植密度別の光合成速度は25cm区>15cm区>10cm区の順で大きかった。光合成速度の光飽和点は開花期では10cm区で $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下であったが、15cm区および25cm区ではほぼ $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の強光に、着莢期および子実肥大期には一部を除いて $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下の弱光にあった。

開花期における反射光処理の光合成速度への影響は、10cm区の4Lおよび5L、15cm区の6Lでは反射光処理区の方が無処理区に比べて光合成速度が大きかった。しかし、25cm区およびその他の各葉位では反射光

処理の影響はみられなかった。着莢期には、10cm区の4Lおよび15cm区の5Lを除き、反射光処理区の方が無処理区に比べて光合成速度が大きかった。着莢期の光飽和点は25cm区の5Lおよび6Lの反射光処理区では $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 付近にあったが、その他はすべて $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以下であり、とくに各栽植密度の4Lでは $500\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 付近の弱光であった。子実肥大期には多くの個体で4Lおよび5Lの落葉が認められたため、光合成速度の測定は6Lのみとしたが、各栽植密度とも反射光処理区の方が無処理区に比べて光合成速度が大きかった。結果は示していないが、光合成速度の差を開花期には $1000\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の光強度で、着莢期および子実肥大期には $500\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上の光強度で有意差検定を行った。その結果、開花期10cm区の6L、15cm区の4および5L、25cm区の4L、5Lおよび6L、着莢期10cm区の4Lおよび15cm区の5Lでは反射光処理区と無処理区の差はなかったが、その他は反射光処理区と無処理区との間には1%水準で有意な差が認められた。

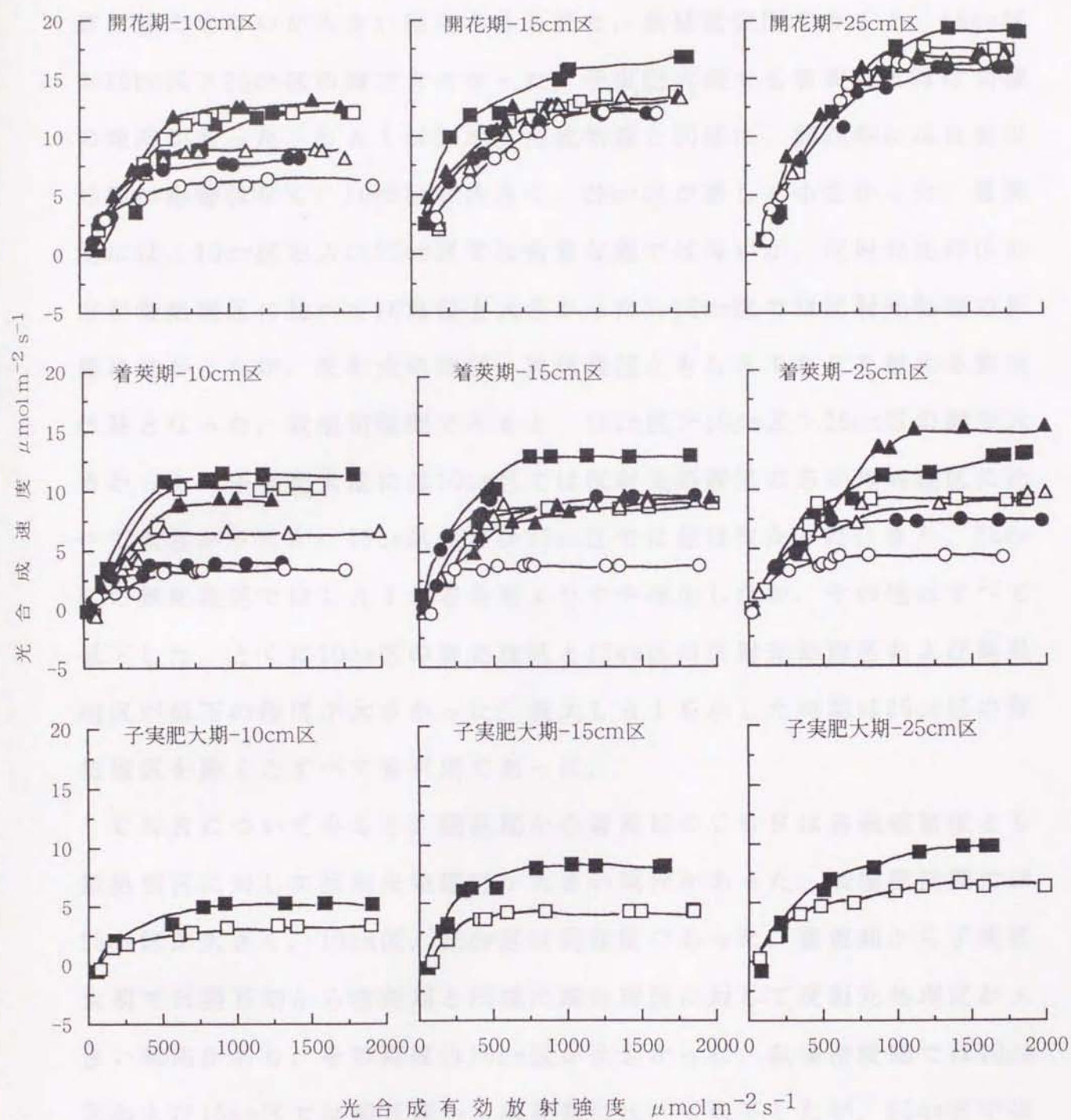
各測定時期および各葉位をこみにしてみると、栽植密度が大きいほど各葉位の光合成速度は小さく、飽和光強度も小さい傾向があった。

4) 反射光処理による地上部乾物重、LAI、CGRおよび

NARの変化

第4-2表に開花期、着莢期および子実肥大期の地上部乾物重およびLAIと、開花期から着莢期および着莢期から子実肥大期のCGRおよびNARを示す。

地上部乾物重は、開花期には各栽植密度とも反射光処理の有無による差はなく、栽植密度間でみると、10cm区>15cm区>25cm区の順で大きかつ



第4-2図 反射光処理による光-光合成曲線の変化.

○; 無処理 4L, △; 無処理 5L, □; 無処理 6L,
●; 処理 4L, ▲; 処理 5L, ■; 処理 6L.

た。着莢期には各栽植密度とも反射光処理区の方が無処理区に比べて有意な差ではないが大きい傾向がみられた。栽植密度間でみると、15cm区 > 10cm区 > 25cm区の順で大きかった。子実肥大期でも着莢期とほぼ同様の傾向があった。L A I は、地上部乾物重と同様に、開花期には反射光処理の影響はなく、10cm区が大きく、25cm区が著しく小さかった。着莢期には、10cm区および25cm区では有意な差ではないが、反射光処理区の方が無処理区に比べて10%以上大きかった。15cm区では反射光処理の影響はなかったが、反射光処理区、無処理区ともL A I が8を越える繁茂状態となった。栽植密度間でみると、15cm区 > 10cm区 > 25cm区の順で大きかった。子実肥大期には10cm区では反射光処理区の方が無処理区に比べて大きかったが、15cm区および25cm区では差はなかった。また、25cm区の無処理区ではL A I が着莢期よりやや増加したが、その他はすべて低下した。とくに10cm区の無処理区と15cm区の反射光処理区および無処理区が低下の程度が大きかった。最大L A I を示した時期は25cm区の無処理区を除くとすべて着莢期であった。

C G R についてみると、開花期から着莢期のC G R は各栽植密度とも無処理区に対して反射光処理区が大きい傾向があった。栽植密度間では15cm区が大きく、10cm区、25cm区は同程度であった。着莢期から子実肥大期では開花期から着莢期と同様に無処理区に対して反射光処理区が大きい傾向があり、その程度は10cm区が大きかった。栽植密度間では10cm区および15cm区では開花期から着莢期に比べて低下したが、25cm区では逆に増大し、25cm区が10cm区および15cm区より大きかった。

N A R は開花期から着莢期では10cm区の反射光処理区の方が無処理区に比べて大きい傾向があったが、15cm区および25cm区では無処理区と反

射光処理区には差がなかった。栽植密度間では25cm区の方が10cm区および15cm区に比べて大きかった。着莢期から子実肥大期では10cm区の反射光処理区の方が無処理区に比べて大きい傾向があったが、15cm区および25cm区では差がなかった。栽植密度間ではCGRと同様に10cm区および15cm区では開花期から着莢期に比べて低下したが、25cm区では逆に増大し、25cm区の方が10cm区および15cm区より大きかった。

このように、反射光処理の影響は着莢期までの地上部乾物重およびLAIの増加において著しく、この期間のCGRも大きかったが、着莢期以後は、15cm区および25cm区ではCGRおよびNARに対して反射光の影響はほとんどみられなかった。しかし、各栽植密度とも反射光処理区の開花期から着莢期および着莢期から子実肥大期のNARはLAIが大きいわりに高い傾向があった。

3 考 察

1) 反射光処理が子実収量に及ぼす影響

子実収量は15cm区および25cm区では反射光処理によって約20%増大した。それは下位節（第8節以下）の莢数および粒数の増加によるものであった。10cm区では全子実重に有意な差はなかったが、反射光処理によって下位節に着生する莢数が増大し、下位節の子実重は約20%増加した。これに対して、上位節の莢数および粒数は栽植密度の差がそのまま莢数および粒数の差となって現れ、反射光処理の影響はみられなかった。

Johnstonら（1969）は人工光源と反射によって中位節では20%、下位節では30%収量が増加したが、上位節では2%であったと報告している

第4-2表 地上部乾物重, LAI, CGRおよびNAR.

密度	反射光	乾物重 (gm^{-2})			LAI		CGR ($\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$)			NAR ($\text{gm}^{-2}\text{day}^{-1}$)	
		開花期	着莢期	子実肥大期	開花期	着莢期	子実肥大期	R2-R3 ¹⁾	R3-R5 ²⁾	R2-R3	R3-R5
10cm区	+	293.2±38.3a	607.9±35.4ab	745.8±49.2ab	5.62±0.25a	7.01±0.42bc	6.30±0.25ab	15.73	15.32	2.50	2.33
	-	308.8±59.8a	578.9±16.7b	669.8±43.1bc	5.80±0.42a	6.23±0.55cd	4.88±0.58d	13.51	10.10	2.24	1.82
15cm区	+	255.0±27.7a	653.8±11.9a	778.9±24.3a	4.72±0.14ab	8.34±0.49a	6.34±0.37ab	19.94	13.90	3.13	1.90
	-	242.8±20.5a	629.2±19.9ab	749.7±27.5ab	4.44±0.29b	8.01±0.28ab	6.78±0.31a	19.32	13.39	3.19	1.80
25cm区	+	139.8±7.2b	444.5±19.2c	626.7±15.4cd	2.67±0.33c	5.94±0.53cd	5.32±0.31cd	15.23	20.24	3.73	3.62
	-	136.7±9.2b	410.7±27.2c	579.1±35.4d	2.67±0.63c	5.16±0.46d	5.84±0.23bc	13.70	18.71	3.62	3.40

数値は平均値±標準偏差で示す. 異符号間にはダンカンの多重検定により, 5%水準で有意な差があることを示す.

¹⁾; 開花期-着莢期. ²⁾; 着莢期-子実肥大期.

が、本実験の結果とはほぼ同様であった。反射光や補光によってダイズの子実収量が増大するが、それは中位および下位節に由来する収量であり、通常の気象条件下では上位節に由来する収量に対しては反射光や補光の影響が小さいことを示している。

ダイズの収量はシンク能（莢数）によって規定され、そのシンク能は開花期から子実肥大期のソース能によって決定される（国分 1988）。本実験において、下位節の莢数および粒数が反射光処理によって増加した要因を光合成能力と乾物生産に対する反射光の影響について考察する。

2) 反射光処理が中・下位葉の光合成速度に及ぼす影響

開花期から着莢期の個体群の光環境は、晴天日と曇天日、あるいは畦間と株間ではその様相が異なったが、反射光処理によって光強度が増大し、その程度は栽植密度が小さいほど大きかった（第4-1図）。着莢期における4L～6Lの光合成速度は反射光処理によって大きくなった。そして、その程度は15cm区および25cm区で大きかった。子実肥大期でも6Lのみの結果ではあるが、反射光処理によって光合成能力は大きくなった（第4-2図）。光環境の変化（第4-1図）および光-光合成曲線（第4-2図）から推定すると、子実肥大期の7Lや8Lにおいても反射光処理区の光合成速度が無処理区のそれより大きかったと考えられる。また、本実験では分枝葉の光合成速度について調査していないが、光環境の変化（第4-1図）と分枝葉の位置の観察から推定すると、分枝葉の光合成速度に対しても反射光処理の影響があったものと考えられる。Johnstonら（1969）の実験では、人工光源と反射によって中・下位葉の光合成速度は中位葉が41%、下位葉が73%増大したことが観察されてい

る。本実験において反射光処理によって畦間および株間の光強度が増し、その影響は栽植密度が小さいほど大きい傾向があった。そのため強光下における光合成速度は反射光処理区が大きく、栽植密度が小さいほど大きくなった。光飽和点は栽植密度が大きいほど低い傾向があったことは、群落内の光環境に要因があり、より弱光下に存在した葉ほど老化が促進されたことを示すとともに、陰葉化（玖村 1969）が関係していた可能性が考えられた。

反射光処理が中・下位葉の光合成速度に及ぼす影響は、群落内の光強度が増すことによって葉の老化を抑制し、強光下での光合成速度を増大すると考えられた。

3) 反射光処理が乾物生産に及ぼす影響

開花期の地上部乾物重は栽植密度による差が認められたが、反射光処理による影響は認められなかった。着莢期および子実肥大期の地上部乾物重は各栽植密度とも反射光処理区の方が無処理区よりも5~10%大きかった。L A Iについても同様の傾向があり、開花期には差はみられなかったが、着莢期の10cm区および25cm区では10~15%大きかった。結果は示していないが、着莢期、子実肥大期および成熟期の分枝数はいずれの栽植密度とも反射光処理区の方が無処理区に比べて多い傾向があり、着莢期および子実肥大期には15cm区、成熟期には10cm区の反射光処理区が有意に多く、 m^2 当たり20%以上多かった。これらの結果は、乾物重およびL A Iに及ぼす反射光の影響には分枝が関係していたことを示すものである。

C G Rは開花期から着莢期には各栽植密度とも無処理区に比べて反射

光処理区の方が大きかった。着莢期から子実肥大期でも無処理区に比べて反射光処理区の方が大きく、特に10cm区ではその差が大きかった。

NARは開花期から着莢期、着莢期から子実肥大期とも10cm区の反射光処理区の方が無処理区に比べて大きい傾向があったが、15cm区および25cm区では差はなかった。CGRはLAIとNARの積で表わされ、実際の作物生産ではNARとLAIとは負の関係を示すことが多い（中世古1985、国分1988）。しかし、反射光処理区のLAIは無処理区に比べて大きい傾向があったが、NARの低下はみられず、むしろLAI、NARとも高い場合が多く、このことが反射光処理区の開花期から着莢期および着莢期から子実肥大期におけるCGRが大きかった要因と推察される。

下位節に由来する子実収量の増大は、主として当該節の主茎葉および分枝葉の光合成能力の増大とそれに伴うシンク能の大きさによる

（Thrower 1962, Stephenson and Wilson 1977ab, 国分1988）と考えられることから、これらが下位節に着生する莢数および粒数の増加の要因であったと思われる。しかし、10cm区にみられるように本実験におけるCGRの大きさが必ずしも子実収量と一致していないこと等不明な点もあり、今後さらに検討する必要がある。

4 要 旨

ダイズの子実収量と中・下位葉の光合成速度に及ぼす反射光の影響について、異なる栽植密度で検討した。品種は「スズカリ」を用いた。栽植密度は㎡当たり14.3本（10cm区）、9.5本（15cm区）、5.7本（25cm区）の3段階とした。反射光処理は畦間をリンゴの着色管理用反射シートで覆うことによって行った。15cm区および25cm区の子実収量は反射光処理区において増大したが、10cm区の無処理区を上まわることはなかった。収量の増大は下位節の莢数および粒数が反射光処理により有意に増加したことによるものであった。10cm区の反射光処理区でも下位節は同様の傾向であったが、収量が増大するほどではなかった。反射光処理による個体群中・下層の光環境の変化は、各栽植密度とも株間では、晴天日には変化がなかったが、曇天日にはわずかに反射光処理区の光強度が大きかった。畦間では、晴天日、曇天日とも反射光処理区の光強度が大きくなり、栽植密度が小さいほど大きかった。反射光処理によって中・下位葉の光合成速度は老化による低下が抑制され、栽植密度が小さいほどその効果が大きかった。反射光処理によって開花期から着莢期および着莢期から子実肥大期のCGRが大きくなった。これは開花期から着莢期までのLAIが大きくなったわりにNARの低下がなかったことによるものと推察された。反射光処理による下位節の子実収量の増加は、着莢期までの葉面積の確保と、NARの低下を抑制したことがその要因であった。

第 5 章

総合考察

ダイズの乾物生産量は他の主要作物に比べて劣っている（秋田 1984）。これは、ダイズ葉群が上方密集型であるため、葉群下層への光の透過率が低く（Sakamoto and Shaw 1967, Shaw and Weber 1967, Johnstonら 1969, 玖村 1969, 国分 1988, Isodaら 1992）、そのため個体群の光合成は光飽和を示す（村田・猪山 1960, 玖村 1965, 1968）ことが大きな要因と考えられる。ダイズの乾物生産量を高めるための方法として、個葉の光合成能力が高い品種の選抜（小島 1972）や調位運動の活発な品種の育成（川嶋 1969ab）、あるいは育種による草型の改良（国分 1988）などが提起されてきた。そして、これまで新しい品種の育成に際して、受光態勢を考慮した選抜がなされてきたことが報告されている（中村ら 1979）。さらに、国分（1988）はダイズの理想型として、密植適応性の高い、倒伏抵抗性の強い、無分げつの主茎型ダイズを提起した。将来育種によって理想的な生育相と形態をもつ新しい品種の出現が期待される。

しかし、ダイズの生産性向上のためには育種による品種の育成だけではなく、栽培技術的対応が必要なことはいうまでもない。その点で、Johnstonら（1969）、Schouら（1978）の補光による積極的な受光量の増大によって収量が増加したとする報告は栽培技術的対応のひとつとして示唆に富んだものである。しかし、これらの実験は補光の装置や規模から、実際の栽培に適用することは困難である。そこで筆者は補光の手

段として、地表面からの光を利用する簡易な方法によってダイズ中・下位葉の受光条件を改善することを試みた。同時に中・下位葉の光合成特性と乾物生産・子実生産に対する役割、中・下位葉の光合成速度の品種間差異と子実収量について検討した。

ダイズ中・下位葉の光合成速度は上位葉に比べて、生育の進展に伴う低下が速い。この要因は老化と陰葉化による（玖村・浪花 1965, 玖村 1969）ことの外、下位葉ほど葉の寿命が短い（玖村 1969）ことが大きな要因である。開花期以後、光合成速度が急激に低下する中・下位葉の老化をできるだけ抑制し、光合成速度の低下を軽減することが個体群としての光合成能力を高く維持することになると思われる。そのためには個葉が展開後に遭遇する光環境を改善することが重要である。

中・下位葉の示した最大光合成速度は上位葉とほぼ同じであり、中・下位葉の光合成能力は上位葉に比べて劣ってはいなかった。暗呼吸速度との関係でみると光合成速度に対する暗呼吸速度の比率は中・下位葉の方が上位葉より大きいということはない。しかし、開花期以後の中・下位葉の光合成速度は上位葉のそれに比べて明らかに小さく、開花期以後の中・下位葉の光合成のダイズの物質生産に対する貢献は上位葉に比べて小さいと考えられる。中・下位葉の切除処理によって、乾物生産量が低下した結果、子実収量も低下した。このことはダイズ中・下位葉は乾物生産および収量に対して少なからぬ役割を担っていることを示している。

中・下位葉の光合成速度の品種間差異は早、中、晩性の品種群で異なった。晩生品種群では開花期に、中生品種では着莢期に、早生品種群では着莢期および子実肥大期に光合成速度の品種間差異が認められた。中・

下位葉の光合成機能は葉の大きさや厚さおよび葉緑素含有量に密接に関連していることが認められた。中・下位葉の光合成速度と収量の関係では、着莢期と子実肥大期の光合成速度と子実収量に負の相関関係が認められたが、これは光合成速度と子実収量の関係を直接示したものではなく、光合成速度と受光条件との関係を示したものと考えられた。

受光条件の改善の手段として個体群の中央から下層に位置する葉を対象に、地表面からの反射光による補光が光合成速度と子実収量に及ぼす影響について検討した。

ポット実験では反射光によって強光下の光合成速度が増大し、それは気孔における CO_2 吸収速度が増大したことが一つの要因であった。そして、子実収量が増加する傾向がみられた。しかし、圃場実験の結果、光環境の変化は認められたが、子実収量は増加しなかった。その原因として個体群下層への光の透過量が小さかったことが考えられた。

そこで、ダイズ栽培の技術的要素の中で、受光条件と関連するもののひとつである栽植密度との関連で反射光処理が中・下位葉の光合成速度および子実収量に及ぼす影響について検討した。その結果、反射光処理によって群落内の光強度が増大し、中・下位葉の光合成速度が大きくなった。これらは栽植密度が小さいほど顕著であった。そして着莢期までの LAI の増加と、その後の NAR の低下を抑制することによって、開花期以後の乾物生産量を増大させた。このことが子実収量の増加となってあらわれた。子実収量の増加は主として、下位節に由来するものであった。これらはJohnstonら(1969)のダイズ個体群の中・下層に対する人工光源と反射が光合成速度と子実収量に及ぼす影響とほぼ同様の結果であった。しかし、栽植密度間でみると、 m^2 当たり10本以下の栽植密度で

は反射光処理によって子実収量は増加したが、密植の収量を上まわることはなく、栽植密度が大きいほど子実収量は大きかった。

以上の結果から、ダイズ個体群に対する反射光による補光は、個体群の中・下層の光強度を増し、中・下位葉の光合成速度と個体群の LAI および乾物重を増大させ、その結果、子実収量を増加することが明らかになった。反射光による補光の効果をさらに高めるためには、ダイズ個体群の受光態勢の改善と並行して検討を進めることが重要であると結論される。

要 旨

ダイズ子実収量を向上させるためには、中・下位葉の光合成速度を生育後期まで高く維持することが重要である。その手段として反射光による積極的な補光が有効であると考えられる。

そこで、以下の実験によってダイズ中・下位葉の光合成特性と反射光が光合成速度および子実収量に及ぼす影響について検討した。

1. 中・下位葉の光合成特性並びに乾物生産および

子実収量に対する役割

圃場栽培したダイズ個体群において、最頂葉展開時に中・下層に位置する葉（具体的には主茎第3～6葉）を中・下位葉とし、その光合成特性を上位葉と比較・検討した。品種は「スズカリ」を用いた。中・下位葉はダイズが花芽分化から開花に至る時期には葉群の上位に位置し、個体群の中で最も大きい光合成速度を示す。その後は生育とともに老化が進み光合成速度は低下した。中・下位葉の光合成速度の最大値は上位葉のそれと差がなく、光合成能力の葉位間差はなかった。暗呼吸速度は葉が展開中の若い時期や完全展開後の光合成速度が最も大きい時期に大きい傾向があった。光合成速度に対する暗呼吸速度の比率は各葉位葉とも光合成の盛んな時期に低く、展開中の若い葉や老化した葉では高く、その値の葉位による差はみられなかった。しかし、開花期以後の強光下の光合成速度が中・下位葉では上位葉に比べて小さく、開花期以降は中・下位葉の物質生産に対する貢献は上位葉より小さいといえる。中・下位葉を生育の異なる時期に葉位を変えて切除して、無処理個体のLAIお

よび乾物重と比較・検討した。切除処理によって、開花期以後の乾物重が低下した。乾物重の低下はCGRの低下が原因であり、それは主としてLAIの減少によるものであった。切除処理区では分枝数、莢数および粒数が減少し、子実収量が低下した。ダイズの中・下位葉は乾物生産と子実収量に対して少なからぬ役割を担っていると推察された。

2. 中・下位葉の光合成速度の品種間差異と子実収量

ダイズ中・下位葉の光合成速度の品種間差異と子実収量について検討した。熟期の異なる16品種について、主茎第5葉および第6葉の光合成速度を開花期、着莢期および子実肥大期に圃場の強日射条件下で測定した。各品種の中・下位葉の光合成速度は開花期で大きく、着莢期から子実肥大期と次第に小さくなり、品種群間では、早生品種群、中生品種群、晩生品種群の順に大きかった。また、早生品種群では着莢期および子実肥大期において、中生品種群では着莢期において、晩生品種群では開花期において有意な品種間差異が認められた。一方、中・下位葉の光合成速度は個葉の面積とは負の、比葉重とは正の相関関係を示したが、葉色との関係は品種群あるいは測定時期によって異なり、一定の傾向がみられなかった。また、光合成速度と子実収量との間には、それぞれの品種群ではいずれの時期においても有意な相関関係は認められなかったが、全品種をこみにしてみると、着莢期および子実肥大期において負の相関関係が認められた。これは、中・下位葉の光合成速度と茎葉繁茂量あるいは、茎葉繁茂量と受光条件との関係が関与しているものと推察され、中・下位葉の光合成速度と子実収量との関係を直接示したものではないと考えられた。

3. 反射光が中・下位葉の光合成速度と子実収量に及ぼす影響

ダイズ中・下位葉の光合成速度と子実収量に及ぼす反射光の影響について検討した。品種は「スズカリ」を用いた。ポット実験の結果、中・下位葉の光合成速度は強光下では葉位が高いほど大きかった。光合成速度は各葉位とも開花期頃に最大値を示し、その後、生育の進展に伴って低下した。強光下における中・下位葉の光合成速度が反射光処理によって増大した。中・下位葉の光合成速度が反射光処理によって増大したのは気孔における CO_2 吸収速度が増大したことに起因した。圃場実験の結果、反射光処理によって、晴天日は畦間で、曇天日は株間で個体群の中・下層で光強度が増大した。しかし、圃場での反射光処理は子実収量が増加するまでには至らなかった。

4. 反射光が中・下位葉の光合成速度と子実収量に及ぼす影響

－栽植密度が異なる場合－

ダイズの子実収量と中・下位葉の光合成速度に及ぼす反射光の影響について、異なる栽植密度で検討した。品種は「スズカリ」を用いた。栽植密度は m^2 当たり14.3本（10cm区）、9.5本（15cm区）、5.7本（25cm区）の3段階とした。反射光処理は畦間をリンゴの着色管理用反射シートで覆うことによって行った。15cm区および25cm区の子実収量は反射光処理区において増大した。収量の増大は下位節の莢数および粒数が反射光処理により有意に増加したことによるものであった。10cm区の反射光処理区でも下位節は同様の傾向であったが、収量が増大するほどではなかった。反射光処理による個体群の中・下層の光環境の変化は、各栽植密度とも株間では、晴天日には変化がなかったが、曇天日にはわずかに

反射光処理区の光強度が大きかった。畦間では、晴天日、曇天日とも反射光処理区の光強度が大きくなり、栽植密度が小さいほど大きかった。反射光処理によって中・下位葉の光合成速度は老化による低下が抑制され、栽植密度が小さいほどその効果が大きかった。反射光処理によって開花期から着莢期および着莢期から子実肥大期のCGRが大きくなった。これは開花期から着莢期までのLAIが大きくなったわりにNARの低下がなかったことによるものと推察された。反射光処理による下位節の子実収量の増加は、着莢期までの葉面積の確保と、NARの低下を抑制したことがその要因であった。

謝 辞

本研究は岩手大学農学部農林生産学科教授 村田孝雄博士の指導のもとに開始したものであり、終始懇切なご指導をいただきました。また、本論文のとりまとめに際し、懇切なご指導とご校閲をいただきました。ここに記して、心より感謝の意を表します。

本研究の遂行に当たりまして岩手大学農学部教授 附属農場長 横田清博士には格別の便宜を与えていただき、本論文のご校閲をいただきました。ここに記して、心より感謝の意を表します。

帯広畜産大学畜産学部教授 沢田壮兵博士、岩手大学農学部助教授 黒田榮喜博士、弘前大学農学生命科学部助教授 杉山修一博士には本論文のご校閲をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

本研究の調査に当たりご協力いただいた野田英美子氏に心より感謝いたします。また、本研究に対しご協力いただいた農学部附属農場職員の皆様に感謝いたします。

1995年度の研究生 菅野一成君、聴講生 黒田一久君にも協力いただきました。感謝いたします。

引用文献

1. 秋田重誠 1984. 炭水化物の動態. 作物の生態生理. 文永堂, 東京.
173-220.
2. Ashley, D. A. and H. R. Boerma 1989. Canopy photosynthesis and its association with seed yield in advanced generations of a soybean cross. *Crop Sci.* 29:1042-1045.
3. Björkman, O., N. K. Boardman, J. M. Anderson, S. W. Thorne, D. J. Goodchild and N. A. Pyliotis 1972. Effect of light intensity during growth of Atriplex patura on the capacity of photosynthetic reactions, chloroplast components and structure. *Carnegie Institution Year Book.* 71:115-135.
4. Bowes, G., W. L. Ogren and R. H. Hageman 1972. Light saturation, photosynthesis rate, RuDP carboxylase activity, and specific leaf weight in soybeans grown under different light intensities. *Crop Sci.* 12:77-79.
5. Burnside, C. A. and R. H. Böhning 1957. The effect of prolonged shading on the light saturation curves of apparent photosynthesis in sun plant. *Plant Physiol.* 32:60-65.
6. Buttery, B. R. and R. I. Buzzell 1977. The relationship between chlorophyll content and rate of photosynthesis in soybeans. *Can. J. Plant Sci.* 57:1-5.
7. Buttery, B. R., R. I. Buzzell and W. I. Findlay 1981. Relationships among photosynthetic rate, bean yield and other characters

- in field-grown cultivars of soybean. Can. J. Plant Sci. 61:191-198.
8. Cooper, R. L. 1981. Development of short-statured soybean cultivars. Crop Sci. 21:127-131.
9. Dornhoff, G. M. and R. M. Shibles 1970. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. Crop Sci. 10:42-45.
10. Evans, J. R. 1989. Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiances. Aust. J. Plant Physiol. 16:533-548.
11. Fehr, W. R., C. E. Caviness, D. T. Burmood and J. S. Pennington 1971. Stage of development descriptions for soybeans, Glycine max (L.) Merrill. Crop Sci. 11:929-931.
12. Ford, D. M., R. Shibles and D. E. Green 1983. Growth and yield of soybean lines selected for divergent leaf photosynthetic ability. Crop Sci. 23:517-520.
13. 福井重郎・小島睦男・渡辺巖 1965. 大豆の子実生産に関する研究. 第1報 温度が光合成におよぼす影響. 日作紀 33:432-436.
14. 古沢典夫 1984. 県北の食 「日本の食生活全集 岩手」編集委員会, 日本の食生活全集3 聞き書 岩手の食事. 農文協, 東京. 14-119.
15. 広田修・武田友四郎 1978. 数種作物の太陽光利用率に関する研究. 第3報 水稻及び大豆個体群における光合成有効放射転換効率と構成呼吸及び維持呼吸の関係. 日作紀 47:336-343.
16. 星川清親 1980. ダイズ. 新編食用作物. 養賢堂, 東京. 416-

459.

17. 池田武・佐藤庚 1990. ダイズ栽培における栽植密度と収量構成要素との関係. 日作紀 59:219-224.
18. Isoda, A., T. Yoshimura, T. Ishikawa, H. Nojima and Y. Takasaki 1994. Solar radiation penetration and distribution in soybean communities. Jpn. J. Crop Sci. 63:298-304.
19. 磯田昭弘・野島博・高崎康夫 1996. 密植条件下における無限伸育型早生ダイズの葉群構造と受光態勢. 日作紀 65:599-604.
20. Johnston, T. J., J. W. Pendleton, D. B. Peters and D. R. Hicks 1969. Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield, and yield components of soybeans (*Glycine max* L.) Crop Sci. 9:577-581.
21. Kaplan, S. L. and H. R. Koller 1977. Leaf area and CO₂-exchange rate as determinants of the rate of vegetative growth in soybean plants. Crop Sci. 17:35-38.
22. 川嶋良一 1969a. 大豆の葉の調位運動に関する研究. 第1報 調位運動と葉面受光. 日作紀 38:718-729.
23. 川嶋良一 1969b. 大豆の葉の調位運動に関する研究. 第2報 調位運動の基本型とその物質生産上の意義. 日作紀 38:730-742.
24. 国分牧衛 1988. 大豆のIdeotypeの設計と検証. 東北農試研報 77:77-142.
25. Kokubun, M., H. Mochida and Y. Asahi 1988. Soybean cultivar difference in leaf photosynthetic rate and its relation to seed yield. Jpn. Crop Sci. 57:743-748.

26. Kokubun, M. and S. Shimada 1994a. Diurnal change of photosynthesis and its relation to yield in soybean cultivars. *Jpn. J. Crop Sci.* 63:305-312.
27. Kokubun, M. and S. Shimada 1994b. Relation between midday depression of photosynthesis and leaf water status in soybean cultivars. *Jpn. Crop Sci.* 63:643-649.
28. 玖村敦彦・浪花勲 1965. 大豆の物質生産に関する研究. 第1報 生育に伴う植物体の光合成能ならびに呼吸能の推移. *日作紀* 33:467-472.
29. 玖村敦彦 1965. 大豆の物質生産に関する研究. 第2報 大豆個体群の光合成に及ぼす光の強さの影響. その1 天候によって光の強さが変わる場合の受光状態と光合成. *日作紀* 33:473-481.
30. 玖村敦彦 1968a. 大豆の物質生産に関する研究. 第3報 投射光中散乱光の占める割合と個体群光合成. *日作紀* 37:570-582.
31. 玖村敦彦 1968b. 大豆の物質生産に関する研究. 第4報 葉の発育時における光条件がその光合成特性に及ぼす影響. *日作紀* 37:583-588.
32. 玖村敦彦 1969. 大豆の物質生産に関する研究. 第5報 個体群の光合成系について. *日作紀* 38:74-90.
33. Lamoreaux, R. J. and W. R. Chaney 1978. The effect of cadmium on net photosynthesis, transpiration, and dark respiration of excised silver maple leaves. *Physiol. Plant.* 43:231-236.
34. 李忠烈・津野幸人・中野淳一・山口武視 1994a. ダイズの耐乾性に関する生態生理学的研究. 第1報 土壌水分の減少に伴う葉位別

- 蒸散速度と光合成速度および根の呼吸速度の変化. 日作紀 63:215-222.
35. 李忠烈・津野幸人・中野淳一・山口武視 1994b. ダイズの耐乾性に関する生態生理学的研究. 第2報 土壤水分不足による葉の萎れ現象と再給水による光合成速度の回復ならびに切断茎からの出液速度の変化. 日作紀 63:223-229.
36. Ma, B. L., M. J. Morrison and H. D. Voldeng 1995. Leaf greenness and photosynthetic rates in soybean. Crop Sci. 35:1411-1414.
37. 前田和美 1989. 世界における子実用マメ類の生産動向と研究の重要性. 日作紀 58:442-454.
38. 御子柴公人 1976. 日本人とダイズ. 農業技術大系 作物編6. 農文協. 東京. 3-13.
39. Miura, H., K. Wijeyathungam and T. Gemma 1987. Variation in seed yield of soybean as affected by planting patterns. Jpn. J. Crop Sci. 56:652-656.
40. 村田吉男・猪山純一郎 1960. 畑作物の光合成に関する研究. 第1報 8種の夏作畑作物における圃場の個体群の光合成の日変化と日射および気温との関係. 日作紀 29:151-154.
41. 中村茂樹・松本重男・渡辺巖 1979. 東北地域のダイズ新旧奨励品種の特性比較. 東北農試研報 60:151-160.
42. 中世古公男・後藤寛治 1975. 豆類の生産生態に関する比較作物学的研究. 第3報 大豆の密度反応性について. 日作紀 44(別): 71-72.

43. 中世古公男・野村文雄・後藤寛治・大沼彪・阿部吉克・今野周
1984. 水田転換畑多収ダイズの乾物生産特性. 日作紀 53:510-
518.
44. 中世古公男 1985. 植物生産力の測定. 北條良夫・石塚潤爾編, 最
新作物生理実験法. 農業技術協会, 東京. 232-254.
45. Nikolaeva, M. K. 1994. Functional activity and adaptive
properties of the photosynthetic apparatus in plants grown
under different irradiances. *Photosynthetica* 30:69-76.
46. 西入恵二 1985. ダイズ栽培の基礎理論. 農業技術大系 作物編 6.
農文協. 東京. 3-18.
47. Novel, P. S., L. J. Zaragoza and W. K. Smith 1975. Relation between
mesophyll surface area, photosynthetic rate, and
illumination level during development for leaves of
Plectranthus parviflorus Henkel. *Plant Physiol.* 55:1067-
1070.
48. 小島睦男・福井重郎・渡辺巖 1965. 大豆の子実生産に関する研究.
第2報 肥料養分および葉令が光合成におよぼす影響ならびに定温・
定照度下における光合成の日変化について. 日作紀 33:437-442.
49. 小島睦男・福井重郎 1966a. 大豆の子実生産に関する研究.
第3報 乾物生産の特性について. 日作紀 34:448-452.
50. 小島睦男・福井重郎 1966b. 大豆の子実生産に関する研究.
第4報 乾物生産と収量の関係. 日作紀 34:453-456.
51. 小島睦男・川嶋良一 1968. 大豆の子実生産に関する研究.
第5報 大豆の光合成能力の品種間差異とその安定性. 日作紀 37:

667-675.

52. 小島睦男・川嶋良一・坂本真一 1968. 大豆の子実生産に関する研究. 第6報 育成品種の光合成能力と両親の光合成能力との関係. 日作紀 37:676-679.
53. 小島睦男・川嶋良一・御子柴公人 1969. 大豆の子実生産に関する研究. 第7報 F_1 および F_2 世代における光合成能力. 日作紀 38:693-699.
54. 小島睦男・川嶋良一 1970. 大豆の子実生産に関する研究. 第8報 F_2 において光合成能力を異にした F_3 系統の光合成能力の比較. 日作紀 39:440-445.
55. 小島睦男 1972. ダイズ品種における光合成能力の向上に関する研究. 農技研報 D23:67-154.
56. 大庭寅雄・大泉久一・工藤壮六・上田邦彦 1961. 大豆の開花結実性に関する研究-気象並びに耕種条件と大豆の部位別開花結実性との関係-. 日作紀 30:68-71.
57. 大久保隆弘 1976. 日本における畑作と輪作の歴史. 作物輪作技術論. 農文協. 東京. 43-79.
58. 大沼彪・阿部吉克・今野周・桃谷英・吉田昭・藤井弘志 1981. 水田転換畑大豆の多収実証. 山形農試研報 15:27-38.
59. 佐川了 1991. ダイズの乾物生産特性と収量性に関する研究. I. 転換畑ダイズの乾物生産特性. 岩手大農報 20:273-288.
60. 佐川了 1997. ダイズの中・下位葉の光合成速度と子実収量に及ぼす反射光の影響. 日作紀 66:571-577.
61. 斎藤邦行・稲村隆治・石原邦 1994a. ダイズ複葉の運動と環境条件

- との関係. 第3報 イネとダイズ個体群内の微細環境の比較. 日作紀 63:480-488.
62. 斎藤邦行・稲村隆治・石原邦 1994b. ダイズ複葉の運動と環境条件との関係. 第4報 個葉の葉面受光. 日作紀 63 :616-624.
63. 斎藤正隆 1980. 大豆栽培の歴史と技術の変遷. 斎藤正隆・大久保隆弘編, 大豆の生態と栽培技術. 農文協, 東京. 15-33.
64. Sakamoto, C. M. and Shaw, R. H. 1967. Light distribution in field soybean canopies. Agron. J. 59:7-9.
65. 佐藤庚・金鐘萬 1980a. 水稻個体群における環境と個葉の生産・消費活動との関係. 第1報 圃場における個葉の光合成と暗呼吸. 日作紀 49:243-250.
66. 佐藤庚・金鐘萬 1980b. 水稻個体群における環境と個葉の生産・消費活動との関係. 第2報 葉位別個葉の光合成・呼吸に対する温度の影響. 日作紀 49:251-256.
67. 佐藤庚・金鐘萬 1980c. 水稻個体群における環境と個葉の生産・消費活動との関係. 第3報 葉位別個葉の光合成・呼吸に及ぼす遮光の影響. 日作紀 49:257-262.
68. Schou, J. B., D. L. Jeffers, and J. G. Streeter 1978. Effects of reflecters, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans. Crop Sci. 18 : 29-34.
69. Shaw, R. H. and Weber, C. R. 1967. Effects of canopy arrangements on light interception and yield of soybeans. Agron. J. 59:155-159.

70. Shimada, S., M. Kokubun, H. Shibata and S. Matsui 1992. Effect of water supply and defoliation on photosynthesis, transpiration and yield of soybean. *Crop Sci.* 61:264-270.
71. Singh, M., W. L. Ogren and J. M. Widholm 1974. Photosynthetic characteristics of several C_3 and C_4 plant species grown under different light intensities. *Crop Sci.* 14:563-566.
72. Stephenson, R. A. and G. L. Wilson 1977a. Patterns of assimilate distribution in soybeans at maturity. I. The influence of reproductive developmental stage and leaf position. *Aust. J. Agric. Res.* 28:203-209.
73. Stephenson, R. A. and G. L. Wilson 1977b. Patterns of assimilate distribution in soybeans at maturity. II. The time course of changes in ^{14}C distribution in pods and stem sections. *Aust. J. Agric. Res.* 28:395-400.
74. Thrower, S. L. 1962. Translocation of labelled assimilates in the soybean. II. The pattern of translocation in intact and defoliated plants. *Aust. J. Biol. Sci.* 15:629-649.
75. 梅崎輝尚 1995. ダイズの矮性系統に関する研究. 第5報 矮性品種秋吉白大豆の生育特性と矮性遺伝子の同定. *日作紀* 64(別): 58-59.
76. 梅崎輝尚・平松紀士 1997. ダイズ矮性品種秋吉白大豆の遺伝特性について. *日作紀* 66(別):246-247.
77. Wells, R. 1991. Soybean growth response to plant density:

Relationships among canopy photosynthesis, leaf area, and
light interception. Crop Sci. 31:755-761.

注；下線部はイタリック字体であることを示す。