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*

斎藤 邦行・稲村 隆治**・石原 邦***

(岡山大学農学部, ***東京農工大学農学部)

1994年1月29日受理

要 旨: ダイズ複葉の運動が個体群内の微細環境に及ぼす影響を明らかにするため、イネ個体群を対照として、両個体群内の風速、ろ紙蒸発速度、ろ紙境界層抵抗、空気露点温度、CO₂濃度および光強度の垂直分布を比較した。

ダイズ個体群はイネ個体群に比べて上層の葉面積密度が高いため、風速、ろ紙蒸発速度、CO₂濃度が低く、露点温度は高かった。また、ろ紙蒸発速度から算出した境界層抵抗は個体群下層ほど大きく、各高さともに露場風速の増大に従い小さくなったが、イネに比べダイズ個体群で大きかった。ダイズ個体群内の相対風速は午前中に顕著に高まったことから、個体群内への風の透過には上層における小葉の傾斜角度が関与すると推察された。イネとダイズ個体群内の各高さにおける相対光強度には日変化が認められ、朝夕小さく、日中大きくなった。相対光強度の日変化から求めた個体群全層の吸光係数は朝夕大きく、日中小さくなったが、1日を通じてイネに比べダイズ個体群で大きかった。ダイズ個体群上層について求めた吸光係数は日中顕著に小さくなり、これには複葉を単位とした小葉の運動現象が関与することが認められた。以上の結果、ダイズ個体群上層における複葉の運動は、個体群のガス交換を活発化し、太陽高度の高くなる日中には個体群内への光の透入をよくすることが明らかとなった。

キーワード: イネ、吸光係数、境界層抵抗、ダイズ、葉の運動、微細環境、風速、ろ紙蒸発速度。

Relationship between Leaf Movement of Trifoliolate Compound Leaf and Environmental Factors in the Soybean Canopy III. Comparisons of micro-environments between the rice and soybean canopy : Kuniyuki SAITOH, Ryuzi INAMURA and Kuni ISHIHARA*** (*Faculty of Agriculture, Okayama University, Okayama 700, Japan*; ****Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183, Japan*)

Abstract: To clarify the effect of leaf movements on the micro-environments inside the soybean canopy, the vertical distribution of several meteorological factors were compared between the rice and soybean canopy. The upper layer of the soybean canopy had higher leaf area density. In the soybean canopy, wind speed, wet filter paper evaporation rate and CO₂ concentration of the air were lower, and dew point temperature of the air was higher, just below the plant cover than the rice canopy. By measuring the wet filter paper evaporation rate and the vapor density difference between the air and the filter paper at each height inside the canopy, boundary layer vapor diffusion resistance (r_a) was calculated. r_a increased with lowering the height above the ground inside the canopy, and decreased at each height with increase in the open field wind speed. r_a was larger in the soybean canopy than the rice canopy due to lower wind speed. The relative wind speed in the upper layer of the soybean canopy became higher late in the morning. It is speculated that wind penetrate into the soybean canopy by the active leaf movement. Diurnal variation of relative light intensity was observed in each height inside the canopy. The light extinction coefficients of the whole canopy decreased as the sun altitude increased, and these changing levels of the soybean canopy were larger all day than the rice canopy. The extinction coefficients in the upper layer of the soybean canopy were smaller during the daytime due to trifoliolate compound leaf movements. Clearly, sunlight penetrates into the soybean canopy with a decrease in the area of triangle described by the three tips of the trifoliolate compound leaf.

Key words: Boundary layer resistance, Filter paper evaporation rate, Leaf movement, Light extinction coefficient, Micro-environment, Rice, Soybean, Wind speed.

これまで著者らは、ダイズ個体群において複葉の顕著な運動現象を認め、その運動の日変化の測定方法を確立した¹³⁾。この方法を用いて、葉位、生育段階、天候ならびに土壌水分の欠乏が複葉の運動の日変化

に及ぼす影響を検討した¹⁴⁾。その結果、ダイズ複葉の運動を3小葉先端を結ぶ三角形ΔTの面積と左右小葉間の距離および頂小葉の傾斜角度から測定することによって、圃場に生育するダイズ個体群における複葉の運動の実態を明らかにした。

本報告では、ダイズ複葉の運動が個体群内の微細環境に及ぼす影響を明らかにするため、直立葉群を

* 一部は日本作物学会第177回講演会(1984年4月)、第191回講演会(1991年4月)において発表。

** 現在: 埼玉県職員。

有するイネ個体群を対照として、両個体群内の風速、ろ紙蒸発速度、ろ紙の境界層抵抗、空気露点温度、CO₂ 濃度および光強度の垂直分布を比較した。

材料と方法

栽培方法：本実験は、1983年から1985年の3年にわたり、東京農工大学農学部附属本町農場の水田（多摩川沖積土）において行った。ダイズ（品種エンレイ）の栽培は3カ年とも前報¹⁴⁾とほぼ同様で、1.7 aの転換畑に基肥として10 a当り N:P₂O₅:K₂O, 3:10:10 kgを施用し、各年とも6月10日前後に14.3本 m⁻²（南北畦, 70×10 cm）の栽植密度で播種し、その後慣行に従って培土栽培を行った。比較を行ったイネは1983年、1984年の2カ年にそれぞれ水稻品種むさしこがね、密陽23号を用いて栽培を行った。栽培方法は2カ年ともほぼ同様で、1983年は5月6日に播種し、その後順調に生育した中苗を、6月2日に22.2株 m⁻²（南北畦, 30×15 cm）の栽植密度で移植した。栽培管理は慣行に従い、適宜病虫害防除を行った結果、出穂期はむさしこがねが8月22日（1983年）、密陽23号が8月24日（1984年）であった。

個体群内微細環境：1984年8月16日から8月18日の3日間にわたり、イネ（品種密陽23号、幼穂発育期）とダイズ（品種エンレイ、着莢期）の個体群内地際から高さ30, 60, 90, 130 cmにおける風速、ろ紙蒸発速度、空気露点温度、CO₂ 濃度の垂直分布を測定した。露場平均風速は光電式微風速計（牧野応用測器製）を用い、個体群内における下向きの風速は10分間隔で熱線風速計（日吉電機製）を順次所定の高さに移動させて測定を行った。ろ紙蒸発速度は、ピッチの蒸発計¹⁾を各高さに合計8ヶ設置して、30分おきにろ紙両面（直径9 cm）からの蒸発量を読み取り記録した。個体群内空气の露点温度は、個体群内各高さにビニルパイプを引き込み、ピッチの蒸発計のろ紙直下に採取口を設置し、7分30秒間隔で2台のミラー式露点計（ハインツバルツ製）に1 L・min⁻¹の流量で吸引して測定を行った。空气のCO₂ 濃度は露点計から出た空气を順次赤外線CO₂ ガス分析計（富士電機製）に送って測定した。また、ピッチの蒸発計にとりつけたろ紙には銅-コンスタンタン熱電対（φ 0.1 mm）を埋め込み、ろ紙温度を1分間隔で連続的に記録した。

個体群内各高さにおける葉群からのガス拡散の難易を表す指標として、蒸発計より求めた蒸発速度

(E_p)とろ紙温度における飽和水蒸気密度(d_p)および外圍空气の飽和水蒸気密度(d_a)から次式により境界層抵抗(r_a)を求めた。

$$r_a = (d_p - d_a) / E_p \quad (1)$$

以上の調査を終了した翌日8月18日早朝にイネとダイズ個体群内の相対光強度を測定した後、層別刈取り法¹⁰⁾により個体群構造、吸光係数を求めた。

個体群内の光強度分布：1983年8月30日に、イネ（品種むさしこがね、登熟初期）とダイズ（品種エンレイ、粒肥大初期）個体群内の光強度分布を調査するため、多数の光センサーを用いて、地際から20 cm間隔の各高さにおける光強度を連続的に測定した。翌日に層別刈取りにより求めた積算葉面積とから吸光係数の日変化を求めた。測定に際しては、光合成有効波長域に感度を有するシリコンフォトダイオード（浜松テレビ製）5ヶを並列に接続した受光面積の大きい光センサーを自作して、各高さの条間、株間に2〜4ヶ所設置し、5分間隔でデジタルマルチメータ（タケダ理研製）に記録した。各時刻の光強度は30分間の平均値で表した。なお、各光センサーは光量子計（ライカー製）により事前に校正した。

ダイズ複葉の運動の日変化：ダイズ個体群内の光強度分布の測定と並行して、個体群上層の複葉の運動の日変化を調査した（1985年8月15日）。測定方法は既報^{13,14)}と同様で、12枚の複葉について3小葉先端を結ぶ三角形ΔTの面積、および頂小葉中央葉脈の傾斜角度を測定した。ΔTの日変化は、1日の最大値(max. ΔT)に対する各時刻のΔTの割合で示した。

実験結果

1. 個体群構造 (第1図)

ダイズ個体群は高さ80~100 cmに葉面積が集中し、相対光強度は高さ80 cmで12%と急速に低下するため、吸光係数は0.625とイネに比べ大きかった。個体群下層になるほど葉面積は減少するため、条間下層にはトンネル状に葉面積の存在しない空間が形成されていた。

イネ個体群は、地上50~60 cm層を中心として上層、下層になるほど均一に葉面積は少なくなったが、上層に比べ下層により多くの葉面積を配置していた。個体群内における相対光強度の低下程度はダイズに比べて小さく、高さ50 cmにおいても24%を有しており、吸光係数は0.266とダイズに比べ著しく小さかった。すなわち、ダイズはイネに比べ個体群

Fig. 1. Canopy structure and vertical distribution of wind speed, wet filter paper evaporation rate, dew point temperature and CO_2 concentration of the air, and boundary layer vapor diffusion resistance inside the soybean and rice canopy, at 8 a.m. (●) and 13 p.m. (○) on Aug. 17th (1984).
LAD and k indicate leaf area density and canopy light extinction coefficient, respectively.

上層に水平葉群を多く配置するため、吸光係数が大きく、いわゆる受光態勢が悪かった。

2. 個体群内微細環境の垂直分布 (第1図)

1984年8月17日、午前(8時)と午後(13時)の風速、ろ紙蒸発速度、露点温度、 CO_2 濃度、境界層抵抗(r_a)の垂直分布を第1図に示した。

風速、ろ紙蒸発速度(E_p)は両個体群ともに下層ほど小さく、各高さともに午前に比べ午後に大きくなった。また、両測定項目ともに地上高さが低下するに従って、イネでは徐々に小さくなったのに対し、ダイズでは高さ90 cmで急速に小さくなり、高さ90, 60 cmではイネに比べダイズ個体群の E_p が小さかった。

露点温度は、両個体群ともに高さ130 cm(個体群上)においては午前に比べ午後にやや低く、個体群

下層になるほど高くなる傾向があったが、イネに比べダイズ個体群では高さ90 cmで午前、午後ともに顕著に高かった。

CO_2 濃度は個体群上で高く、個体群内で低く、下層で再び高くなる傾向がみられ、ダイズでは高さ90 cm、イネでは高さ60 cmで午前、午後ともに最も低い値が認められた。なお、通常は午前に比べ午後の CO_2 濃度が低くなるが¹⁰⁾、この日はいずれの高さにおいても午後の CO_2 濃度が高かった。

r_a は個体群上で小さく、個体群下層ほど大きくなり、各高さともに午前に比べ風速の高かった午後に小さくなった。イネ個体群では地上高さが低下するに従い、 r_a は徐々に大きくなったが、ダイズ個体群では高さ60 cmまで急速に大きくなった。

Fig. 2. Diurnal changes in wet filter paper evaporation rate at different heights inside the rice and soybean canopy on Aug. 17th (1984).

Marks indicate the heights, above canopy (●, 130cm) and 90cm (○), 60cm (△), 30cm (□) above ground, respectively.

3. ろ紙蒸発速度の日変化 (第2図)

イネとダイズ個体群内における E_p は午前中小さく、午後に大きくなり、夕刻に再びやや小さくなるという日変化が認められ、日変化するレベルは地上高さが低下するに従って小さくなった。イネ個体群の E_p は、地上高さ 90 cm では個体群上に比べ 20~30% 小さく推移し、高さ 60 cm で急速に小さくなり、30 cm ではさらに小さくなった。ダイズ個体群上の E_p は、イネに比べやや低く推移したが、日変化の傾向はほぼ等しかった。地上高さ 90 cm の E_p は個体群上に比べ急速に小さくなり、高さ 60 cm ではさらに小さくなったが、高さ 60 cm と 30 cm の E_p の相違は小さかった。すなわち、イネ個体群では個体群上層から中層にかけて活発な水蒸気交換を行っているのに対し、ダイズ個体群では個体群の最上層の直下では水蒸気交換が著しく不活発になることがわかった。

4. 露場風速と境界層抵抗との関係 (第3図)

1984年8月16日と17日の2日間にわたり測定を行ったイネとダイズ個体群各高さにおける境界層抵抗 (r_a) を露場風速 (u) の関数として次式により回帰 ($n=41$) した。

$$r_a = a \cdot \ln(u) + b \quad (2)$$

個体群上ではイネ、ダイズ個体群ともに、露場風速が 0.5 から $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ に増加するに従い、 r_a は 0.4 から $0.2 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ と約半分になった。イネ個体群では地上高さが低下するに従って r_a は大きくなり、各高さともに風速の強いほど r_a は小さくなった。ダイズ

個体群においても、地上高さの低下に伴って r_a は大きくなったが、高さ 60 cm と 30 cm の r_a の相違は小さかった。高さ 90, 60 cm では、いずれの風速においてもイネに比べダイズ個体群の r_a が大きく、両個体群の相違は特に高さ 60 cm で著しかった。高さ 30 cm の r_a はイネに比べダイズ個体群が小さく、その程度は風速の強いほど大きかった。それぞれの高さにおける回帰式の相関係数は個体群上ではイネ 0.879^{***} 、ダイズ 0.812^{***} と高い値を示したが、個体群内では 0.582^{***} から 0.832^{***} と変動し、各高さにおいてバラツキが大きかった。

5. 個体群内風速の日変化 (第4図)

前項で述べたように、風速と境界層抵抗は密接に関係することが認められた。そこで、露場および個体群内各高さにおける風速と露場を 100 とした相対風速の日変化を第4図に示した。

露場風速は、午前中 $0.8 \sim 2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で変化した。午後には急速に大きくなり $2.5 \sim 5.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲内で変動した。個体群内風速は、イネ個体群高さ 90 cm では $0.4 \sim 0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ の範囲で変化した。60, 30 cm では急速に小さくなり、 $0.1 \sim 0.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で推移した。ダイズ個体群内風速は、高さ 90 cm では早朝の $0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ から午後には次第に大きくなり、 $0.4 \sim 0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で変化した。各高さともに1日を通じてイネに比べダイズ個体群内の風速は小さく推移した。

相対風速は、イネ個体群 90 cm では午前中約 35% 前後であったが、午後には南風が強くなるのに伴って、

Fig. 3. Relationships between open field wind speed and boundary layer vapor diffusion resistance at different heights above ground, measured on Aug. 16th and 17th (1984). Marks are the same as those in Fig. 2. Numerals in the figure indicate the correlation coefficients regressed by the equation (2).

急速に小さくなり、夕刻には16%となった。高さ60, 30 cmの相対風速は露場風速の低かった9時頃に約20%であったが、その後低下して午後には10%以下となった。ダイズ個体群内の相対風速は、各高さともに早朝は約10%であったが、9時から11時にかけて上昇して最大値をとり、イネと同様に夕刻になるに従って小さくなった。

以上の結果から、イネ個体群では露場風速が低い午前中には個体群下向きの風速が相対的に高いが、露場風速が高くなると個体群内風速は相対的に低くなることがわかった。イネに比べダイズ個体群は1日を通じて個体群下向きの風速は低いものの、各高

Fig. 4. Diurnal changes in wind speed, measured at open field (outside the canopy) and each height inside the rice and soybean canopy on Aug. 18th (1984). The relative wind speed expressed as the percentage of inside speed to outside speed. Solid and dashed line indicate the rice and soybean canopy. Marks indicate the heights (rice, soybean), 90cm (●, ○), 60cm (▲, △), and 30cm (■, □) above ground, respectively.

さともに午前中に相対風速の高まることが認められた。

6. 個体群内光強度の日変化 (第5図)

イネ個体群内各高さにおける光強度は、個体群上の光強度の推移とよく一致した日変化の傾向を示し、高さが下がるに従って徐々に小さくなった。ダイズ個体群内の光強度は個体群上の光強度の推移とは全く異なり、高さ100 cmでは午前10~12時に急速に大きくなったが、高さ80, 60, 40 cmともに著しく小さくなり、また日変化する程度も小さかった。

イネ、ダイズ個体群ともに各高さの相対光強度には日変化が認められた。イネでは朝夕小さく日中大きくなり、高さが下がるのに伴って相対光強度は徐々に小さくなった。ダイズの相対光強度には著しい日変化が認められ、朝夕大きく、さらに日中にピ

Fig. 5. Diurnal changes in light intensity (I) and relative light intensity (II) at different heights inside the rice (R) and soybean (S) canopy on Aug. 30th (1983).

A and numerals in the figure indicate, above canopy and the heights above ground (cm), respectively.

ークをもつ W 字型の日変化を示し、高さ 80 cm 以下では相対光強度は 1 日中 20% 以下で推移した。すなわち、イネでは日中に光が個体群内へよく透入するのに対して、ダイズでは相対的に光の透入は悪いものの、朝夕と日中 11 時頃に個体群上層に光が差し込むことがわかった。

7. 個体群吸光係数の日変化 (第 6 図)

第 5 図に示した相対光強度の日変化と層別刈取りにより求めた各高さにおける積算葉面積とから、吸光係数の日変化を求めた。個体群全体について求めた吸光係数は(第 6 図上)、イネ、ダイズともに太陽高度の低い早朝に大きく、日中には小さくなり、いずれの時刻においてもイネに比べダイズの吸光係数が大きかった。

さらに、第 5 図に示した相対光強度はダイズ個体群上層で急激に低下したため、ダイズでは高さ 80~110 cm、イネでは高さ 60~100 cm の層についてのみ吸光係数を求めてみた (第 6 図下)。

吸光係数はイネでは早朝急速に小さくなり、日中 0.2 前後で推移した後夕刻には再び大きくなった。ダイズの吸光係数には著しい変化が認められ、早朝

急速に大きくなった後、10~13 時に小さくなり、午後には再び大きくなったが、夕刻になるに従って次第に小さくなるという、M 字型の日変化が認められた。

8. 複葉の運動と吸光係数の日変化 (第 7 図)

ダイズ個体群の光強度分布を測定した際に、個体群上層の複葉の活発な運動現象を認めた。そこで、ダイズ個体群上層における吸光係数の日変化の調査と並行して、複葉の運動の日変化を求めた。

ダイズ個体群上層 (高さ 70~110 cm) の吸光係数は第 6 図とほぼ同様に朝夕に大きく、日中小さくなるという、M 字型の日変化が認められた。早朝には水平に近かった頂小葉の傾斜角度は、その後午前中に急速に大きくなり、13 時に最大値 68 度を示し、夕刻には再び小さくなった。3 小葉先端を結ぶ三角形 ΔT は、早朝の 89% から 8 時には 60% 以下に小さくなり、午後 15 時 30 分まで小さい値を維持した後、夕刻には再び 90% と大きくなった。

考 察

ダイズ個体群は、長い葉柄の先に 3 枚の小葉をも

Fig. 6. Diurnal changes in extinction coefficient of the whole canopy (I) and the upper layer (40cm from the top, II) in the rice (O) and soybean (Δ) canopy on Aug. 30th (1983).

つ複葉を主茎・分枝から向頂的に展開するため、葉面積は個体群上層に集中的に配置される。小葉は背腹性を持ち、表と裏が明白に区別されることによって水平的な位置をとり、一般にダイズ個体群は受光態勢が悪く、草型の改良が指摘されてきた⁷⁾。しかし、これまで検討を行ってきたように、ダイズ個体群上層の複葉には活発な運動が認められ、太陽高度の高くなる日中には葉面傾斜角度を大きくすることが明らかとなった¹³⁾。そこで、本報告ではダイズ複葉の運動が個体群内の微細環境に及ぼす影響を検討するため、イネ個体群を対照として、ダイズ個体群内の風速、ろ紙蒸発速度、CO₂濃度、境界層抵抗(r_a)、光強度の測定を行った。まず、ダイズ個体群の特徴と個体群内微細環境との関係について考察する。

直立葉群を有するイネ個体群は、葉面積が個体群中・下層に多いのに対して、水平葉群を有するダイズ個体群では葉面積が上層に多かった(第1図)。こ

Fig. 7. Diurnal changes in the trifoliolate compound leaf movement and extinction coefficient of the upper layer (40cm from the top) in the soybean canopy on Aug. 15th (1985). Leaf movements were investigated by measuring the area of triangle described by the three tips of leaflets (ΔT , Δ) in the trifoliolate compound leaf and terminal leaflet inclination angle from horizontal (O). Each point is the mean $\pm$ SE of twelve compound leaves. Three leaflets become horizontal at dusk (max. ΔT), and the percentage of $\Delta T / \max. \Delta T$ decrease during the daytime by the active leaf movements.

のため、イネに比べ個体群最上層直下では個体群上に比べて風速の低下が著しく、空気の露点温度が高く、ろ紙蒸発速度が低く、CO₂濃度の低下程度が著しかった(第1図)。すなわち、ダイズ個体群上層は下層に比べて葉面積密度が高く、個体群上への水蒸気拡散、個体群内へのCO₂輸送が阻害されていることが明らかになった。

つぎに、葉面境界層の拡散抵抗について過去の研究をみると、Gaastra²⁾、Gates³⁾、長谷場⁴⁾、矢吹ら¹⁹⁾、堀江⁵⁾により解析がなされ、 r_a は風速の高いほど、また葉長・葉幅の短いほど小さくなり、葉面に対する風向や気流の乱れ強度により異なることが明らかにされている。しかし、これらの研究の多くは実験室内で行われ、圃場環境条件下での r_a の実態は必ずし

も十分に明らかにされていない。本研究では、ピッチの蒸発計により求めたろ紙蒸発速度と、ろ紙-外囲空気水蒸気密度落差とから r_a を算出し、露場平均風速との関係を検討した (第3図)。

その結果、個体群上の r_a は平均風速が $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で $0.32 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ となり、長谷場⁴⁾の理論式から求めた $0.38 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ に比べやや小さいものの、圃場条件下において r_a をある程度の精度で評価できることがわかった。しかし、個体群内の r_a は露場風速が等しくても変動が大きく、これには個体群内の蒸発速度が著しく小さくなるため (第2図)、蒸発速度の測定誤差が関与すると推定される。

堀江⁵⁾によると、葉形の異なるヒマワリ、キュウリ、イネのモデル葉を用いて求めた r_a は、風速 $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ で $0.21 \sim 0.75 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ の範囲にある。本研究における r_a の測定は円形のろ紙を用いているため、イネとダイズの葉形の違いを考慮していないことになるが、個体群内における葉面のガス拡散の難易を示す指標になると考えられる。

このような観点から、イネとダイズ個体群内の r_a を比較してみると、 r_a はダイズ個体群上層で急速に大きくなったのに対して、イネ個体群では地上高さが低下するにしたがって徐々に大きくなり、高さ 90, 60 cm の r_a はダイズ個体群に比べて小さかった (第1図)。すなわち、ダイズ個体群上層では、イネ個体群に比べ葉面上におけるガス拡散が阻害されていることがわかった。しかし、ダイズ個体群高さ 30 cm においては、露場風速の増加に伴う r_a の減少程度が大きく、イネ個体群に比べ r_a は小さくなった (第3図)。この原因を個体群構造から考えてみると、ダイズ個体群下層の条間には葉面積の存在しないトンネル状の空間が南北方向に形成されており、日中南風が強くなると、この空間を通して個体群内の通気が活発化すると推察された。

通常、同化箱法を用いた光合成、蒸散速度の測定では、風速は充分に大きく ($2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上)、乱流条件下で行われている。堀江⁴⁾は、このような条件下で測定された作物葉の拡散 (気孔) 抵抗の最小値は $1.0 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ であり、個体群内の r_a 値は拡散抵抗を上回るほどに大きいことを指摘している。本研究において、イネ、ダイズ個体群ともに、下層における r_a は $1 \sim 2 \text{ s} \cdot \text{cm}^{-1}$ の範囲で変化し、この値は個体群上に比べ著しく大きいことが認められた。この結果は、作物個体群内のガス交換において、境界層抵抗が制限要因になる可能性を示唆している。

これまで述べてきたように個体群内への CO_2 輸送や r_a は風速と密接に関連する。内嶋¹⁷⁾は各種作物について個体群内の風速の垂直分布の比較を行い、多くの作物で個体群上層における相対風速の減少程度が著しいとしている。本研究においても、個体群内の風速は個体群上層で急速に小さくなったが、その程度はイネに比べダイズ個体群で著しかった (第1図)。しかし、個体群内各高さにおける風速の日変化をみると、実測値では明らかではないが、ダイズ個体群の相対風速は高さ 90, 60 cm で午前 9 時~12 時にかけて高まった (第4図)。この際に、個体群上層における複葉の運動の日変化は調査していないが、前報¹⁴⁾と同様に活発な運動が認められた。このことから、個体群内への風の透過には上層における小葉の傾斜角度が関与すると推察された。

著者らは、水稻品種日本晴と密陽 23 号を用いて個体群内の光強度分布の測定を行った結果¹²⁾、両品種ともに個体群内相対光強度には日変化が認められ、太陽高度の高い日中に大きくなることを明らかにした。この相対光強度と積算葉面積とから求めた吸光係数は、朝夕大きく、正午頃最小となるという日変化を示し、登熟初期には 1 日中日本晴に比べ密陽 23 号の吸光係数が小さかった。そして、両品種の吸光係数の相違には主として葉身の傾斜角度が関係することを推察した。

本研究におけるイネ個体群内 (品種むさしこがね) の光強度、相対光強度、および吸光係数の日変化は、前述した日本晴、密陽 23 号とほぼ同様な傾向を示した。ダイズ個体群においては、相対光強度は個体群上層で急速に小さくなるものの、朝夕大きく、また日中に著しく大きくなった。さらに、個体群上層についてのみ求めたダイズ個体群の吸光係数は朝夕小さく、日中再び小さくなり、イネ個体群に比べ 1 日中大きかった。

伊藤ら⁶⁾は、ダイズ個体群の幾何学的構造を基礎にして個体群内への直達光の透入の計算を行い、太陽高度の低い早朝と夕方には直達光が透入し易く、太陽高度の高い日中にはその投入が困難となることを認めている。しかし、本研究の結果からみると水平葉群をもつダイズ個体群においても日中に個体群内へ光が透入し易くなる要因が存在することになる。

そこで、個体群内への光の透入と密接に関連すると考えられる小葉の傾斜角度と、これまで用いてきた ΔT の日変化を求めたところ、傾斜角度が大きく、

ΔT の小さくなる日中に吸光係数は小さくなることが明らかとなった。すなわち、ダイズ小葉に認められる昼間の運動現象は3小葉を単位とした向日運動であるが¹³⁾、太陽高度の高い日中は傾斜角度を大きく、 ΔT を小さくすることによって、個体群下層への光の透入をよくしていることが推測された。

最後に、個体群レベルにおけるダイズ複葉の運動の物質生産上の意義について考察する。矢吹ら¹⁸⁾は、風速と個体群光合成速度との関係を空気力学的方法により測定し、風速の強いほど個体群光合成速度が高まることを認めている。この結果は、風速が個体群内への CO_2 輸送、個体群内葉面上における CO_2 拡散を制限していることを示している。ダイズのように個体群上層が水平葉群に覆われ、葉面積密度が高い場合には、個体群内への CO_2 輸送が減少して CO_2 濃度の低下が生じること、また葉面上の r_a が大きくなり葉内への CO_2 拡散が阻害されることにより、個葉そして個体群レベルでの光合成速度が律速されるようになる。しかし、本研究で認められたように、上層の葉群の傾斜角度が大きくなることで、個体群内への CO_2 輸送が活発化することにより、個体群光合成速度は高まる可能性がある。

作物個体群における葉群の傾斜角度が個体群光合成速度に及ぼす影響については、理論的^{5,9,10,11)}、実験的¹⁵⁾ 研究が数多く行われ、傾斜角度が大きく吸光係数の小さいほど個体群の光-光合成関係における光飽和点が高まること、また光飽和下における個体群光合成速度の最適葉面積指数が大きくなることが明らかにされている。川島⁸⁾ は、ダイズ小葉の運動によって葉面光強度が時間的、空間的に均一化することによって、個体群光合成速度の光飽和点が高まる可能性を指摘している。これらの研究を参考にとすると、ダイズ個体群上層の運動は吸光係数を小さくすることを通じて、太陽高度が高く、日射の強い日中に個体群光合成速度を高めていると予想された。

本報では、個体群レベルにおけるダイズ複葉の運動の意義を作物学的見地から議論してきた。個葉レベルでみると、葉面傾斜角度の変化は太陽の方位と高度の変化と同時に並行的に起こるため、葉面受光量は増加したり、減少したりすると考えられる。今後は、圃場もしくはポットに生育したダイズ小葉の葉面受光量の解析から、ダイズ複葉の運動の生理生態学的意義を追求したいと考えている。

引用文献

1. 古川昭雄 1987. 植物の大気環境. 田崎忠良編, 環境植物学. 朝倉書店, 東京. 88—104.
2. Gaastra, P. 1959. Photosynthesis of crop plants as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. Meded. Landbouwhoges. Wageningen 59: 1—68.
3. Gates, D.M. 1968. Transpiration and leaf temperature. Ann. Rev. Plant Physiol. 19: 211—238.
4. 長谷場徹也 1977. 比較的小さい面の強制対流水蒸気輸送係数. 農業気象 33: 75—79.
5. 堀江 武 1981. 気象と作物の光合成, 蒸散そして生長に関するシステム生態学的研究. 農技研報 A 28: 1—182.
6. 伊藤綾子・宇田川武俊 1971. 作物群落の計量植物学的研究 (1). ダイズ群落の幾何学的構造と直達光の投入. 農業気象 26: 187—195.
7. 川嶋良一 1969. 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.
8. ——— 1969. ———. 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.
9. 黒岩澄雄 1968. 植物群落における光要因と光合成の理論的解析 (3) —散光下光合成と比較しての, 平行光線下葉群光合成—. 農業気象 24: 75—90.
10. Monsi, M. und T. Saeki 1953. Über den Lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduction. Jpn. J. Bot. 15: 22—52.
11. Saeki, T. 1960. Interrelationships between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant community. Bot. Mag. Tokyo 73: 55—63.
12. 斎藤邦行・下田博之・石原 邦 1990. 水稻多収性品種の乾物生産特性の解析. 第1報 密陽23号と日本晴の受光態勢の比較. 日作紀 59: 130—139.
13. ———・稲村隆治・——— 1994. ダイズ複葉の運動と環境条件との関係. 第1報 運動の測定方法. 日作紀 63: 68—74.
14. ———・———・——— 1994. ———. 第2報 生育・環境条件の相違が運動の日変化に及ぼす影響. 日作紀 63: 254—260.
15. 田中孝幸 1972. 水稻の光—同化曲線に関する研究. 農技研報 A 19: 1—100.
16. 内嶋善兵衛・宇田川武俊・堀江 武・小林勝次 1967. 作物群落内におけるエネルギーとガスの交換に関する研究 (1). 一トウモロコシ群落内の炭酸ガス環境—. 農業気象 23: 99—108.
17. ——— 1974. 群落微気象. 新編農業気象ハンドブック. 養賢堂, 東京. 203—226.
18. 矢吹萬寿・青木正敏・鰐谷 憲 1973. 風速と光合成に関する研究. (5) 風速と群落光合成の関係. 農業気象 30: 101—105.
19. ———・原藺芳信 1978. ———. (7) 葉面境界層の構造 II. 農業気象 34: 87—94.