作物の瓦斯代謝作用に関する研究

第3報 照度並びに苗立密度が稲苗の光合成に及ぼす影響*

武田友四郎・丸田 宏

(東大農学部)

1. 緒 言

1953 年度の実験¹⁾に於て著者等は、鉢栽培の水稻では最大の光合成を営むための光の要求度が分蘗中期では 40~50 K. Lux, 穂孕期では 60~70 K. Lux という値が得られたから、光の要求度は生育の時期により多少異なるらしいと云う結論に到達した。又このようなちがいの起こる原因としては、内的並に外的の種々要因が考えられるが²⁾、そのうち最も大きなものは多くの葉の相互遮蔽による光の享受のしかたの違いであろうと推論した。一方苗代に於ては立毛状態が移植後のものとは著しく異つてゐる。光条件だけについて考えても、葉の相互遮蔽度が移植後とはかなり違ひ、又それが苗代初期と後期とでも大部異つてくる。著者等は、苗代に於ける生態的な条件と苗の光の要求度との関係を明らかにすることは實際栽培上からも亦生態学並に生理学的な立場からも重要なものと考え、先ず苗立密度に関する実験を行つた。なお、この研究を行うに当り、厚き御指導を賜つた戸荻教授に対し深甚なる感謝の意を表する。又、実験遂行中多大の労を惜しまなかつた研究生町田寛康君に感謝の意を表する。

2. 実験方法

供試品種は水稻農林 29 号。播種密度が苗の光の要求度に及ぼす影響を明らかにするために、厚播区、普通区、薄播区として夫々坪当り 4 合、2 合、0.7 合の 3 区を作り、1/5 万反ポットに播種した。夫々 1 ポット当り播種量は 89, 45, 13 粒であつた。肥料はすべて基肥としたが、とくに窒素肥料については、施用量が生育の限定因子にならない様に予備実験を行つた結果 3 区の中、厚播区が最も多く肥料を要したので、普通区、薄播区ともにこのレベルに与えた。即ち、1 ポット当り硫酸 2.0, 過石 2.6, 塩加 0.8 gr とした。播種は 7 月 28 日に行つたが、これは予備実験に日数をとられたためで他に理由はない。従つて生育速度も 5 月初旬播の普通の苗代に比べかなり速かつた。以下のべるデータについては播種後日数よりは乾物重或は苗齢を基準として考えてゆくことにする。

瓦斯代謝量は前報の瓦斯分析器を用いたが¹⁾、変更した点は苗代用の小型同化箱 (27 cm × 27 cm × 36 cm) を用いた点である。光源として自然日光を用いようとしたが、1954 年の夏は不順な天候であつたので、之を断念し人工光源によつた。即ち、照明用リフレクターランプ (500 W) を用い、光の強さはトランスを用いて出力 Volt を変え加減した。なお用いたランプはかなりの熱を発生するので、厚さ 8 cm の running water による filter をランプと同化箱の間にはさんで熱線を吸収せしめた。装置の概略は Fig. 1 に示した。測定は午前 10 時頃から午後 5 時頃までの間に行つたが、これは測定時間中に大気の CO₂ 濃度の変動をはげしく変化せしめたくなかつたためである¹⁾²⁾³⁾。又測定中の温度は 29°~31°C に調

Fig. 1: Plant chamber for measuring the photosynthesis of the rice plants in nursery-bed

* 昭和 29 年 12 月 4 日 日本作物学会第 104 回講演会に於て発表
日本作物学会紀事 第 24 巻 第 1 号 (昭和 30 年 10 月)

節した。なお新しい光条件を与えて約 20 分の安定時間をおき⁵⁾、その後に光合成作用を 40 分～1 時間測定した。なお呼吸作用の測定は同化箱に黒幕をかけ暗黒にしてはかつた。

3. 実験結果及び考察

生育の各時期にわたり種々の光の強さのもとで苗の光合成能力及び呼吸能力を測定し light curve (光—光合成曲線) を作製した。Fig. 2～13 がこれである。Fig. 2 は 8 月 9 日の測定結果で、3 区とも苗齢が 4.1 葉 (葉身の full length を 1.0 として表示すると) であつた。なおこの日には、疎植区では個体数が少く、且つ苗が小さく瓦斯代謝量が微弱なため正確な値が得られなかつた。従つて、図には普通区、厚播区の結果だけを示した。Fig. 2 によると、苗齢 4 葉位の苗、即ち苗代初期の苗では 35 K. Lux 前後の光があれば充分な光合成を営み得、それ以上光線が強くとも光合成にとつては無意味であることがわかる。Fig. 3 は個体当りを示すが、これによると、この時期では普通区、密植区とも個体当りの光合成作用と光の強弱との関係が殆んど一致している。このことは、乾物重で示した growth curve (Fig. 16) の上にも明瞭に表われ、8 月 9 日には、3 区間の個体当り乾物重

には殆んど差が認められない。Fig. 4 は 8 月 11 日の測定結果である。この日には苗齢が 3 区とも 4.6 葉であつた。この図によると、薄播区では 30 K. Lux 位、普通区では 50 K. Lux 位、厚播区では約 80 K. Lux、或はそれ以上の点 (80 K. Lux 以上の照度下での測定を行なかつたため明確を欠くが、curve から推定すると大略 80 K. Lux となる) で光条件は飽和することがわかる。この図を個体当りに書き直すと Fig. 5 となるが、この図で分るのは薄播区及び普通区の飽和点は僅か乍ら異なるが、両者共に 20 K. Lux 位までは光合成が急速に増加し、それ以上の光では増加が少くなる点、及び最大光合成能力は大略一致している点である。一方厚播区では光を増すにつれての光合成能力の強まり方は前二者ほど急激ではなく、しかも最大光合成能力は前二者よりも低い。このことは Fig. 16 の上にも表れている。即ち 8 月 12 日における薄播区、普通区の乾物重は大体一致しているが厚播区は前二者よりも低い。播種後 10 日目頃までは 3 区とも個体重は略等しかつたが、11 日目以後には厚播区が脱落している。このことは個体が大きくなるにつれて個体間に相互遮蔽が起り、而もそれが厚播区程早い時期、例えば苗代中期頃、即ち苗齢 4.6 葉の頃から起りだすことを示している。Fig. 6 は苗齢 5.2 葉の頃の 8 月 14 日に得られた測定結果である。この図から見ると、薄播区では 50 K. Lux 位、普通区では 60 K. Lux 位で光は飽和し、厚播

区では 80 K. Lux 以上の測定は行わなかつたが、得られた curve を延長して推定すれば 100 K. Lux 以下の点では飽和点が存在しないようである。そうだとすれば、自然日照度の最大値は大略 100 K. Lux 前後であるから、厚播区は十分な同化を行うのに自然日照では尙不足すると推論される。Fig. 6 を個体当りで表示すると Fig. 7 となるが、薄播区、普通区、厚播区の順に curve はねてくる。薄植区においても 8 月 11 日に得られた Fig. 5 に比しゆるやかになつてくる。そして強照度下における光合成の full capacity は薄播区が一番高く、普通区が之に次ぎ、厚播区が一番低い。又個体当りの呼吸量もこの順に多い。このことは乾物重の上にも表れて、前期における厚播区の脱落について普通区の脱落がこの頃から起りはじめる (Fig. 16)。Fig. 8 は 8 月 17 日、3 区とも苗齢 6.0 葉前後の時得られた結果であるが、測定器の故障で厚播区の測定を欠く。これによれば薄播区では約 60 K. Lux、普通区では約 80 K. Lux の所に光の飽和点が見られる。Fig. 9 をみると個体の Light curve は前期に比べてゆるやかとなり、且つこの傾向は厚播ほど著しい。この様に curve がゆるやかとなるのは、照度の増加に対する光合成の増加割合が低いことを示すもので、その理由は個体の生長が進むことや厚播となるにつれて葉

身が密に重なり合う結果、群落の表面に投下された光が内部の葉に達する迄にはかなり弱められるからであろうと推論される⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。Fig. 10 は 8 月 20 日の結果であつて、この時の苗齢は 3 区とも 6.7~6.8 葉の間にあつた。この図によると、薄播区では 60~70 K. Lux、普通区では約 80~90 K. Lux の所に光の飽和点があり、厚播区では curve が立上つてしまつて 100 K. Lux 以下の光条件では飽和点が存在しないようである。なお約 80 K. Lux 以下の光条件では厚播区の集団としての光合成能力は普通区よりも低い。この関係は、Fig. 14 の如く生育後期に日照不足の甚しかつた 7 月に生育した苗のポット当り乾物量の増加が厚播区に於て生育後期に少い事実によく表現されている。之に反し Fig. 15 は生育中期及び後期が多照だつた 8 月に生育した苗のポット当り乾物量増加を示すものであるが、厚播区も光が充分なら乾物量の増加が衰えないことを示している。Fig. 11 は Fig. 10 を個体当りに換算したものであるが、厚播区の個体当り光合成能力の低下が著しい。このことは 8 月 20 日以後の個体当り乾物量増加の低下の傾向が厚播区に於いて顕著なものとよく一致する。Fig. 12 は 8 月 23 日の測定結果で、苗齢は 3 区とも 7.5~7.7 葉、苗代末期に相当する。普通区では約 100 K. Lux 或はそれ以上、薄播区で

は約 80 K. Lux に飽和点が見られる。Fig. 13 をみると普通区の個体当り光合成能力の低下が目立っている。

各区における光の飽和点の時期的推移を Fig. 17 に示した。この図は縦軸に照度を取り、横軸には観測の月日をとつてある。これによると生育による光の飽和点の推移は密度の厚薄に対して、夫々異質の群に属するようになりうけられるが、このことについては更に多くの例について検討する必要がある。之によると3区とも生育の初期は光の飽和点が高いが、生育が進むにつれて高くなり、厚播区では苗代中期においてすでに 100 K. Lux 以下では飽和点はなく、普通区では苗代末期になると飽和点は 100 K. Lux 或はそれ以上の所にあるものようである。疎植区では苗代末期になると飽和点はかなり上昇するが、著者等の実験において苗齢約 7.6 葉の時では

80 K. Lux 前後のところにあるようである。これらのことを作物学的に表現するならば、普通まき即ち坪当り2合播程度の苗代では生育の末期頃では自然日照下においては、日射の強いほど光合成は上昇し、生育を増すことになる。このことは“苗の生育期間を通じてほぼ太陽光線の半量で光飽和に達する”とする松島氏等⁷⁾⁸⁾の報告とは異なるものである。松島氏等は自然日射で測定を行い、この実験に於ては人工光源を用いたのであるが、以上の結果の相異なる理由として、用いた光源の差の他、種々の点を検討する必要がある。

4. 摘 要

苗代の立毛状態が本田と異なるから、苗の生育に対する光の要求度も本田の稲とは異つて特徴があるであろう。我々は生態条件と光の要求度の関係を検討するために播種密度を種々かえ、薄播(坪当り0.7合)、普通播(2.0合)、厚播(4.0合)として5万分の1反ポットに播種した。ガス分析は従来のもの、光は人工光源を用いた。ガス代謝量の測定と平行して各生育時期の乾物重を秤り、種々考察を加えた。

どの区も生育が進むにつれ光の要求度が増加する。薄播区では Light-curve が苗代末期まで飽和型で、普通区は末期になると不飽和型となり、厚まき区では中期から不飽和型となる。一方、個体当り乾物量は生育が進むにつれ、薄播区に比べて普通区厚播区に於てその増加程度を減少し、厚播区は生育中期頃から、普通区はそれに次いで低下が目立つ。此のことは同化の Data で十分裏づけられる。又生育後期になると、厚播区のポット当り光合成能力が普通区に比し光の悪条件下では低いが好条件下では高くなることが見られた。この関係も亦光の悪条件下と好条件下で生育した苗のポット当り乾物量の差として明瞭に表れている。以上のことから、一般に普通播(坪当り2合播)苗代では生育前期には自然日照下において光の飽和点が存在するが、後期では飽和がみられなくなることがわかった。播種密度の相異による苗の素質の差は、この実験では肥料が生育を制限しない様に施肥してあるから、主として葉の相互の遮光によるものと考えられる。

引 用 文 献

- 1) DECKER, P.: The effect of air supply on apparent photosynthesis. Pl. Phys., Vol. 22, No. 4 (1947)
- 2) HUBER, B.: Über die vertikale Reichweite vegetationsbedingter Tagesschwankungen in CO₂-Gehalt der Atmosphäre. Forstwissenschaftl. Centralblatt. 71. Jg., Heft 11/12 (1952)
- 3) KASANAGA, H. and MONSI, M.: On the light-transmission of leaves, and its meaning for the production of matter in plant communities. Jap. Jour. Bot. Vol. 14, No. 2 (1954)
- 4) 吉良竜夫・穂積和夫・小川房人・上野善和: 栽植密度問題の生態学的考察, 園芸学研究集録, 第六輯, (1953)

- 5) KRAMER, P. J., and DECKER, J. P. : Relation between light intensity and rate of photosynthesis of loblolly pine and certain hard woods. *Pl. Phys.*, Vol. **19**, No. 2 (1944)
- 6) KRAMER, P. J., and CLARK, W. S. : A comparison of photosynthesis in individual pine needles and entire seedlings at various light intensities. *Pl. Phys.*, Vol. **22**, No. 1 (1947)
- 7) 松島省三・山口俊二・岡部俊 : 水稻苗の炭素同化能力と光の強さ, 農及び園, 第29巻, 第4号 (1954)
- 8) 松島省三・山口俊二・岡部俊 : 水稻の収量予察の作物学的研究 (予報) XII, XIII, XV 戸外の全植物体を対象とした水稻の炭素同化作用, 日作紀, **23** (1955)
- 9) MONSI, M. and SAEKI, T. : Über den Lichtfactor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion. *Jap. Jour. Bot.*, Vol. **14**, No. 1 (1953)
- 10) 佐藤大七郎・中村賢太郎・扇田正二 : 林分生長論資料, 1. 立木密度のちがう若いアカマツ林, 東大農演習林報告, **48** (1955)
- 11) 戸蒔義次・武田友四郎・丸田宏 : 作物の瓦斯代謝作用に関する研究, I. 作物の瓦斯代謝作用の継続的測定装置について, II. 水稻の生育に伴う同化・呼吸量の消長, 日作紀, **23** (1955)

Studies on CO₂ Exchange in Crop Plants.

III. The effect of light intensity and spacing on the photosynthetic rate of rice-seedlings.

Tomoshiro TAKEDA and Hiroshi MARUTA

(Faculty of Agriculture, Tokyo University)

Summary

In the previous paper the authors have discussed that the rice plants after transplanting have got different demands for light in order to have their maximum photosynthetic capacity accompanying with their different growing stage, and this differences of demand for light by the plants was due to the differences in conditions of receiving the light, which was greatly influenced by the mutual shading rate of leaves. It is quite clear that the spacing differences of seedlings in the nursery bed is remarkably different from that of the plants after transplanting, therefore, in this paper authors have tried to clear the relationship between the spacing of seedlings and the demands for light by the seedlings. The effect of light intensity on the photosynthetic rate of seedlings in different spacing, that is thin, intermediate and thick, and also in the different growing stages of the plant was measured by the apparatus described in the previous paper.

The results obtained were as follows:

- 1) At the early stage of growth (4.1 leaf stage) the demands for light by the plants for their maximum photosynthetic rate are comparatively low, and the saturation points lie under 30, 50 and 80 k.Lux respectively.
- 2) With the progress of growth, the demands for light of thick seedlings increase remarkably (Fig.2~7), and at the 5.2 leaf stage, that is at the middle stage of growth, the saturation point does not exist within the range of below 100 K. Lux (Fig.6); on the other hand, the demands for light by the intermediate and thin spacing seedlings increase gradually, and at the 7.5~7.7 leaf stage, that is at final stage, the saturation point of the former lies above 100 K.Lux (Fig.12), and that of the latter lies below 80 K.Lux.
- 3) Relation between the changes of demands for light and the growth of seedlings in shown is Fig 16. It has been observed that from the 9th August the increasing rate of dry weight of the thick seedlings were less in comparison with that of intermediate and thin seedlings, and from 15th August the increasing rate of dry weight of the intermediate seedlings were less than that of the thin seedlings.
- 4) At the final stage, the photosynthetic rate of thick seedlings were less than that of intermediate

under the light intensities below 80K.Lux (Fig.12). This relation is also shown in Fig. 14 and 15. Fig.14 is the growth curve obtained from the seedlings grown under the unfavourable climatic conditions, and the seedlings were effected by the unfavourable climatic conditions especially at the middle and final stage of their growth, and according to the obtained figure, it can be said that the increasing rate of dry weight of thick spacing seedlings were less than that of intermediate seedlings. Fig.15 was obtained from the seedlings grown under the favourable climatic conditions, according this figure, it may be said that the increasing rate of dry weight of thick spacing seedlings were equal to that of intermediate seedlings.

In conclusion, it can be said that at the middle stage of growth in the nursery bed the thick spacing seedlings have got no saturation point under the natural conditions, on the other hand, thin spacing seedlings have got saturation point till the final stage to come. In intermediate spacing seedlings, which is common in nursery bed in Japan, the saturation point is comparatively low at the early stage, but-with the progress of growth it increased gradually, and finally reached to the state of having no saturation point under natural conditions.

第23巻第4号 正誤表

頁	行	誤	正
239	本文上より第6行	—	(附加) 湿度も両区同じように調節した
"	" 第10行	日最差	日較差
"	第1表表題	and and water	and water
"	第1表中 上部項目欄	—	地上部乾物重" 及び 穂乾物重" に夫々 ** を附ける
"	第1表中 陸稻の部第1行	0.671	0.071
"	表下欄外	—	(附加) (註) ** 株当り平均値 (従つて各8倍がポット当りに相当する)
306	英文表題	Eomponents	Components
313	右段第28行	移植前5日	移植前15日