

乾燥地における畑作物の環境適応と生産向上に関する研究 磯田昭弘（千葉大学大学院園芸学研究所）

人口増加による食料増産の必要性に対処することは、作物学の使命の一つである。食料不足は発展途上国で特に深刻な問題であり、その途上国の多くは熱帯、亜熱帯の乾燥地、半乾燥地に属しているため、限られた水資源の中で作物の生産性を向上させる必要がある。こうした観点より、磯田氏は主に中国新疆の石河子（年間降水量約 180 mm, 年間蒸発量約 1600 mm）において、20 年以上の長きにわたり乾燥地における乾燥等の環境ストレスに対する作物の適応と生産向上についての研究を行い、多くの知見を得てきた。研究内容は以下の 2 項目に要約される。

1. 環境適応機能としての葉の調位運動

様々な植物種が太陽光線に反応して葉身角度を変化させる運動（葉の調位運動）を行うことが知られている。葉の調位運動には、太陽光線と平行になろうとする運動（平行運動）と太陽光線に対して垂直になろうとする運動（垂直運動）の二つの側面があり、マメ科作物は 1 日の内に垂直運動から平行運動、そして再び垂直運動へと変化するが、ワタでは 1 日中垂直運動を行っている。磯田氏は葉の調位運動の評価方法として簡易積算日射計フィルムを用いた葉面受光量測定法を確立し、これによって各種作物の葉の調位運動を調査した（業績 1, 2, 3, 4, 6, 8）。ダイズおよびラッカセイの葉の調位運動には大きな品種間差異があり、葉温、蒸散能力と密接に関係していた（業績 7, 10, 11）。ダイズでは葉温制御の仕方が品種によって異なり、主に蒸散によるもの、主に調位運動（平行運動）によるもの、どちらも不活発で葉温制御が出来ないものがあった。乾燥地では水分ストレス条件下でも平行運動を余り行わない品種が大きい受光量を示し、収量が多かった（業績 5, 8, 9）。葉の調位運動のうち、平行運動は葉面受光量を減少させるが、密植条件下で上層の葉が立ち上がることで群落全体の受光態勢が良好になり群落内部への光の浸透量を増加させ（業績 3）、かんがい条件では 23%、非かんがい条件では 71% 蒸散量を減少させる効果があった（業績 11）。さらに、乾燥地の圃場条件においてワタ 5 品種を栽培し、葉温、蒸散速度、葉面受光量、収量を比較した。ワタには蒸散速度に大きな品種間差異があり、蒸散速度の高いもの程、葉温を低く保ち、葉の調位運動（垂直運動）を活発に行うことで受光量が大きくなり、乾物生産、収量が高い傾向があった（業績 13）。これらより、乾燥地においては蒸散能力が高い品種が活発な葉の垂直運動（あるいは不活発な平行運動）を行い、受光量を大きくし、高い乾物生産、収量性を示す傾向が判明した。以上のことから、葉の調位運動が蒸散能力を評価する指標となり、ひいては乾燥条件への適応性の指標になることを示した。なお、磯田氏が開発した簡易積算日射計フィルムを用いた受光量測定法は作物における新たな受光量測定法として、その後の多くの研究に利用されている。

各作物の環境適応機構の違いをより明確にするため、乾燥条件下でダイズとワタの生理的形質を比較した。乾燥条件下でのダイズとワタの蒸散速度は飽差の拡大に従い大きくなったが、ダイズはワタに比べより早い段階で蒸散速度の増加が停止した。これらより、ワタはダイズよりも高い根の吸水能力による高い蒸散速度で葉温を低く維持できるため、乾燥地によく適応すると推測した（業績 12）。この点をさらに詳細な生理的反応から検証するためにダイズ、ラッカセイとワタを水分ストレス条件下で栽培し、葉温、蒸散速度、気孔コンダクタンス、CO₂ 同化速度、ならびに光化学系 II の量子収量、最大量子収量（光阻害程度の指標）、NPQ（熱消失）を測定した。ワタはダイズ、ラッカセイに比べ水分ストレス条件下でも気孔コンダクタンスと蒸散速度が高く、低い葉温を維持し、光化学系 II の量子収量および CO₂ 同化速度を高く保持した。すなわち、水分ストレス条件下でもワタは根の吸水能力が高いことから蒸散能力が高く、光合成を高く維持できることが確認された。一方、ダイズ、ラッカセイはワタに比べると蒸散能力が低く、光合成能力も低下したが、受光量を減少させる葉の調位運動（平行運動）と共に熱消失が過剰な光による光阻害を防ぐ防御機構として機能していることが示された（業績 15, 16, 20）。

2. 乾燥地における作物の生産向上技術

中国新疆の石河子において様々な技術を用いて栽培実験を行い、乾燥条件下におけるテンサイ、ワタ、ダイズの生産性向上の可能性を追求した。

かん水システム（点滴かんがい、多孔管かんがい、畝間かんがい）の違いがテンサイの収量と水利用効率に及ぼす影響について検討した（業績 18）。収量はかん水システム間で有意な差異はなかったが、点滴かんがいと多孔管かんがいのかん水量は畝間かんがいの 63% であり、水利用効率はそれぞれ 60%、68% 高くなった。ワタ 11 品種を用い、乾燥条件下での収量性と最適品種について検討した。点滴かんがいによって最大 1.81 t/ha（繰り綿収量）の高い収量が得られた。また、点滴かんがいには蒴の形成が早く、その後の蒴への同化産物の転流の良い品種が適していることが判明した（業績 14）。

ダイズにおいては、砂漠の砂を充填した圃場と土圃場で点滴かんがいをを用いて栽培し、砂漠周辺でのダイズ栽培の可能性について検討した（業績 21）。点滴かんがいをを用いることで砂圃場でも土圃場と同等の収量（4.72 t/ha）を確保できた。土圃場では根粒菌由来の窒素は最大約 40% であったが、砂圃場では最大約 80% が根粒菌由来であり、点滴かんがいと根粒菌の活用により砂圃場でも十分な収量が得られることがわかった。また、点滴かんがいと発酵鶏糞由来の腐植物質の葉面散布により莢数が増加し、最大で収量が 32% 増大した（5.51 t/ha）（業績 22）。さらに 4 年間にわたって点滴かんがい、日本および中国の 5 品種、腐植物質、土壌改良材を用いた圃場試験を行い、収量性について解析した（業績 17, 19）。生育初期の低温で葉面積の拡大が抑えられた 1 年を除く 3 年間でいずれの品種も大きい葉面積指数と著しく高い収量を示し、最大収量は日本品種トヨコマチの 9.20 t/ha であった。

これらより、点滴かんがいと腐植物質、適切な品種選択、土壌改良等の栽培管理技術を組み合わせることで、乾燥地域でも高い作物生産を挙げ得ることが明らかとなった。

以上のように、磯田氏は乾燥等の環境ストレスに対する葉の調位運動を中心とした畑作物の適応性機構を明らかにするとともに、乾燥地域でも点滴かんがいシステムを中心に様々な栽培管理技術を組み合わせることで限られた水資源を有効に利用し、豊富な太陽エネルギーを活用すれば畑作物の生産向上が十分に可能であることを実証した。これらの研究成果は、乾燥地における作物生産を大きく進展させ、世界的な食料問題の解決にも寄与するものであり、日本作物学会賞に相応しい業績として評価される。

研究業績

1. 磯田昭弘・吉村登雄・石川敏雄・中村康志・野島博・高崎康夫. 1990. 簡易積算日射計フィルムによるイネ群落の受光態勢の解析. 千葉大学園芸学部学術報告 43: 39-43.
2. Isoda, A., Yoshimura, T., Ishikawa, T., Nojima, H. and Takasaki, Y. 1992. Radiation interception in field grown soybeans measured by integrated solarimeter films. Japanese Journal of Crop Science 61: 124-130.
3. Isoda, A., Yoshimura, T., Ishikawa, T., Nojima, H. and Takasaki, Y. 1993. Effects of leaf movement on radiation interception in field grown leguminous crops I. Peanut (*Arachis hypogaea* L.). Japanese Journal of Crop Science 62: 300-305.
4. Isoda, A., Yoshimura, T., Ishikawa, T., Wang, P., Nojima, H. and Takasaki, Y. 1993. Effects of leaf movement on radiation interception in field grown leguminous crops II. Soybean (*Glycine max* Merr.). Japanese Journal of Crop Science 62: 306-312.
5. 王培武・磯田昭弘・魏国治 1993. 乾燥条件下におけるダイズの生育と適応 第1報葉の調位運動の実態と葉温について. 日本作物学会紀事 62: 401-407.
6. Isoda, A., Yoshimura, T., Ishikawa, T., Nojima, H. and Takasaki, Y. 1994. Solar radiation penetration and distribution in soybean communities. Japanese Journal of Crop Science 63: 298-304.
7. Isoda, A., Yoshimura, T., Ishikawa, T., Nojima, H. and Takasaki, Y. 1994. Effects of leaf movement on radiation interception in field grown leguminous crops III. Relation to leaf temperature and transpiration among soybean cultivars. Japanese Journal of Crop Science 63: 657-663.
8. Wang, P., Isoda, A., Wei, G., Yoshimura, T. and Ishikawa T. 1994. Growth and adaptation of soybean cultivars under water stress conditions II. Effects of leaf movement on radiation interception. Japanese Journal of Crop Science 63: 699-705.
9. Wang, P., Isoda, A. and Wei, G. 1995. Growth and adaptation of soybean cultivars under water stress conditions. III. Yield response and dry matter production. Japanese Journal of Crop Science 64: 777-783.
10. Isoda, A., Aboagye L. M., Nojima, H. and Takasaki Y. 1996. Effects of leaf movement on radiation interception in field grown leguminous crops. IV. Relation to leaf temperature and transpiration among peanut cultivars. Japanese Journal of Crop Science 65: 700-706.
11. Isoda, A. and Wang, P. 2001. Effects of leaf movement on leaf temperature, transpiration and radiation interception in soybean under water stress conditions. The technical bulletin of Faculty of Horticulture, Chiba University 55: 1-9.
12. Isoda, A. and Wang P. 2002. Leaf temperature and transpiration of field grown cotton and soybean under arid and humid conditions. Plant Production Science 5 : 224-228.
13. Wang, C., Isoda, A., Li, Z. and Wang, P. 2004. Transpiration and leaf movement in field grown cottons under arid conditions. Plant Production Science 7: 266-270.
14. Wang, C., Isoda A. and Wang, P. 2004. Growth and yield performance of some cotton cultivars in Xinjiang, China, an arid area with short growing period. Journal of Agronomy and Crop Science 190: 177-183.
15. Inamullah and Isoda, A. 2005. Adaptive responses of soybean and cotton to water stress I. Transpiration changes in relation to stomatal area and stomatal conductance. Plant Production Science 8: 16-26.
16. Inamullah and Isoda A. 2005. Adaptive responses of soybean and cotton to water stress II. Changes in CO₂ assimilation rate, chlorophyll fluorescence and photochemical reflectance index in relation to leaf temperature. Plant Production Science 8: 131-138.
17. Isoda, A., Mori, M., Matsumoto, S., Li, Z. and Wang, P. 2006. High yielding performance of soybean in northern Xinjiang, China. Plant Production Science 9: 401-407.
18. Isoda, A., Konishi, H., Wang, P. and Li, Z. 2007. Effects of different irrigation methods on yield and water use efficiency of sugar beet in the arid area of China. HortResearch 61: 7-10.
19. Isoda, A., Mao, H., Li, Z. and Wang, P. 2010. Growth of high-yielding soybeans and its relation to air temperature in Xinjiang, China. Plant Production Science 13 : 209-217.
20. Shahenshah and Isoda, A. 2010. Effects of water stress on leaf temperature and chlorophyll fluorescence parameters in cotton and peanut. Plant Production Science 13 : 269-278.
21. Miyauchi, Y., Isoda, A., Li, Z. and Wang, P. 2012. Soybean cultivation on desert sand using drip irrigation with mulch. Plant Production Science 15: 310-316.
22. 宮内陽介・磯田昭弘・李治遠・王培武 2012. 中国乾燥地での腐植物質の葉面散布がダイズの生育と収量に及ぼす影響. 日本作物学会紀事 81: 259-266. v