

ヒマワリの葉中無機要素濃度と蒸散速度との関係

長井武雄*・藤山英保*・磯田英夫*

The Relation between the Transpiration and the Mineral Constituent of Leaf in Sunflower Grown on a Sand Dune Soil

Takeo NAGAI,* Hideyasu FUJIYAMA* and Hideo ISODA*

Summary

The relation between the inorganic nutrient contents of leaves and the transpiration rates in sunflowers (*Helianthus annuus* L.) grown on soils which received four levels of nitrogen, phosphorus, potash, calcium and magnesium fertilizers respectively were determined by a pot experiment.

The transpiration rates ($\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$) measured in the middle of June, varied according to the inorganic nutrient contents of the leaves. Generally, the rates were larger in the leaves rich in nitrogen or calcium, and poor in magnesium.

The transpiration rate was given by

$$Y = 1.72N + 0.98P_2O_5 + 3.96CaO - 3.60MgO - 2.78 \quad (R^2 = 0.820)$$

where, N, P_2O_5 , CaO and MgO = percentage of nitrogen, phosphoric acid, lime and magnesia in the leaf on the basis of dry matter, respectively.

緒 言

言うまでもなく砂丘畑土壌は毛管孔隙が少なく、保水力、保肥力が共に極端に弱い。このため、砂丘畑で農作物を栽培するには人工かんがいによる多量の給水が必要になっている。常時に行われる多量のかん水が肥料の流亡量を増大させていることは明らか

かなところであるが⁵⁾、流亡した肥料は追肥量あるいは追肥回数を増やして補わねばならないから、これによる濃度障害を避けるためにも、必要量以上の給水が行われているのが現況である⁶⁾。

ところで、作物の乾物生産に対する水分の効率は要水量¹⁰⁾、あるいは蒸散能率¹¹⁾をもって論じられているが、従来、不十分な栄養供給によって水分の

* 鳥取大学農学部作物栄養学研究室

* *Laboratory of Crop Nutrition, Tottori University*

効率が低下することが知られている^{1,10)}。栄養状態が不適当であると、乾物生産は水消費の多少よりも、むしろ栄養ストレスの影響を受けるために、水が乾物生産に有効に利用されなくなることを示すもので、このことから、砂丘畑における肥料流亡が養分供給にアンバランスをもたらし、水消費の増大を助長するであろうことが推察される。

したがって、砂丘畑で水管理の適正を期するためには、必要最少限の給水量とこれに組み合わせるべき施肥量が、作物ごとに明らかにされねばならないが、これにはまず、適切を欠く施肥あるいは水管理によってもたらされる作物の栄養状態が、さらにその後の生育量あるいは水消費量にどのような影響を与えるかを検討することも必要である。

第1表 供試砂土の性質

pH		N %	C %	可給態 mg		CEC me	置換性塩基 me				吸収係数	
H ₂ O	KCl			P ₂ O ₅ *	K ₂ O**		Na	K	Ca	Mg	NH ₃	P ₂ O ₅
6.2	5.3	0.103	0.036	1.63	2.66	1.78	0.09	0.08	0.40	0.69	76	55

* Bray法Ⅱ, ** N-酢酸抽出。

この土壌 4 kg を 5 千分の 1 アール・ポットに詰め、これに N と P 系列では 1 ポット当たり N と P₂O₅ をそれぞれ 0.2, 0.4, 0.6 および 0.8g, また K 系列では K₂O を 0, 0.2, 0.4 および 0.6g, さらに Ca と Mg 系列では CaO と MgO をそれぞれ 0, 0.05, 0.1 および 0.2g の 4 段階で施用した。このため、各系列の施用レベル 4 は共通の処理内容になっており、その施肥量は N 0.8g, P₂O₅ 0.8g, K₂O 0.6g, CaO 0.2g, MgO 0.2g である。各要素はそれぞれ化学試薬一級の NH₄NO₃, NaH₂PO₄・2H₂O, KCl, CaCl₂・2H₂O および MgSO₄・7H₂O を用いた。

1980年6月11日に各ポットに種子4粒を播種し、発芽後に適宜間引いて1本立てとした。各処理区に対する肥料は施用量の1/4を播種時に、また残り3/4を播種後30日以内に3回に分けて、いずれの場合も液肥として施用した。栽培期間中、1日1~3回ポット下部の排水口から漏水しない程度に十分量の灌水を行った。通常、夜間および雨天の日中はポット

本研究は以上の観点に立ち、出来るだけ効率のよい水利用を計るための基礎的資料を得るために、ポット試験によって砂丘畑土壌にヒマワリを栽培し、これに窒素 (N), リン (P), カリ (K), カルシウム (Ca) およびマグネシウム (Mg) などの無機要素をそれぞれ4段階のレベルで施用し、これによる葉中の無機要素集積量と蒸散速度との関係を検討したものである。

材料および方法

(1) 供試土壌および施肥量

ヒマワリ (*Helianthus annuus* L.) の栽培に供試した砂丘畑土壌の主な化学的性質を第1表に示した。

をガラス室内に、その他の場合は屋外に置いて、7月19日まで栽培を続けた。この栽培は3連制で行った。

(2) 蒸散量の測定と収穫物の分析法

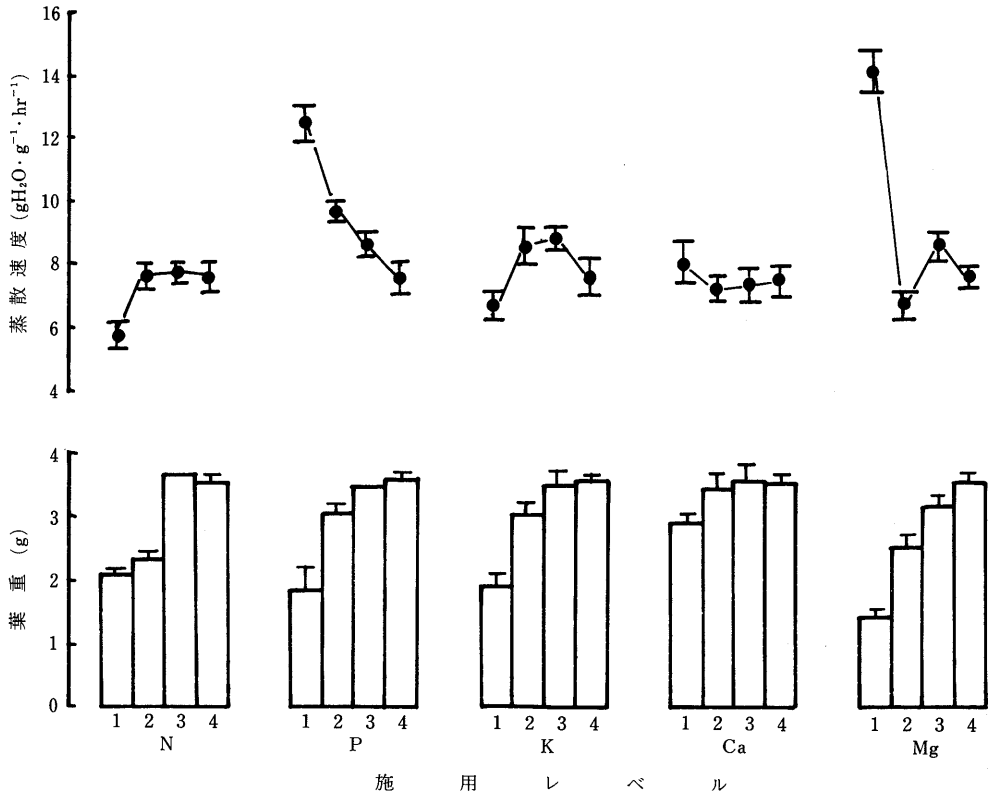
各ポットの排水口をゴム栓で閉じ、十分量の給水を行ったのち、ポット内の土面からの水分蒸発を防ぐためにビニール・シートで土壌表面を覆い、その上にさらに乾燥石英砂を2cmの厚さに置き、直ちにポットの総重量を測定した。7月17日(日中晴、最高気温27.3℃)10時に処理を開始し、16時に再びポット重を測定してこの間における重量減から1時間当たりの蒸散量を求めた。

7月19日に植物体の地上部を収穫後、葉(葉柄を除く)と茎に分け、60℃で通風乾燥して乾物重を測定した。葉について乾燥物を粉細後、ケルダール法あるいは混酸による湿式分解法によって得た分解液につき、N, P₂O₅, K₂O, CaO および MgO の含有率を求めた。

実験結果および考察

各肥料処理区の葉乾物重 (g/pot) と葉乾物重 1 g 当りの蒸散速度 ($\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$) を第 1 図に示した。

(1) 各処理区の葉重と蒸散量



第 1 図 各肥料処理区の葉乾物重と蒸散速度 (値は $\bar{x} \pm \text{SE}$)

本研究における地上部重量 (Y, g/pot) と葉重 (X, g/pot) との関係は

$$Y = 1.45 X + 0.62 \quad (r = 0.950^{***}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

となり、葉重の小さな区は地上部の生育が劣っていることを、この高い相関係数からも認めることが出来る。肥料三要素が不足している場合はとも角、Mg 無施用区の葉重も著しく小さく、本供試土壌はヒマワリに対して天然供給量の低い土壌であることがわかる。

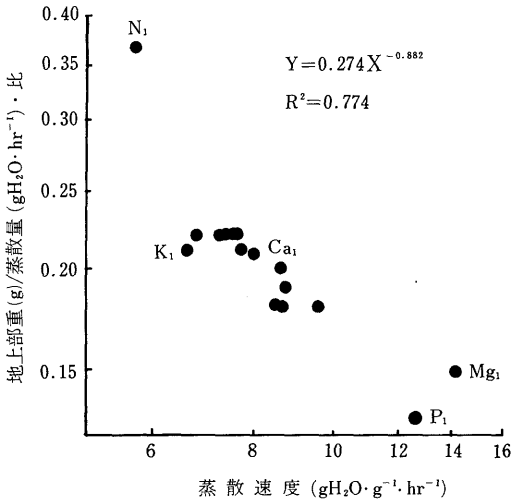
蒸散速度をみると、N と K 系列では施用レベルの低い N_1 区と K_1 区が小さく、一方、P 系列と Mg 系列では同じく施用レベルの低い P_1 区と Mg_1 区が大きい値を示している。Ca 系列は施用レベル間の差はほ

んど認められていない。

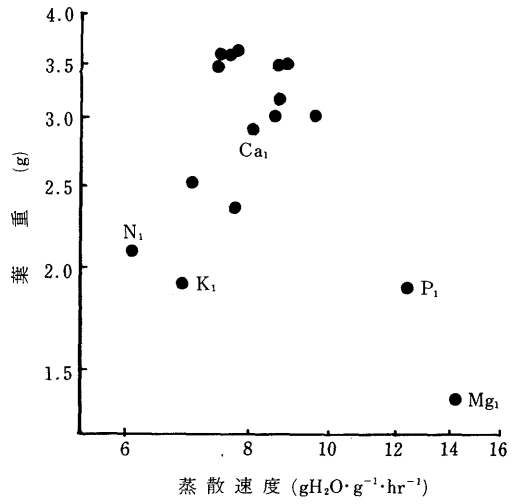
以上のように、本研究では肥料処理の内容いかんによって葉の単位重量当たりの蒸散速度に明らかな差を生じている。この蒸散速度 (X) と地上部重 (g)/蒸散量 ($\text{gH}_2\text{O} \cdot \text{hr}^{-1}$) · 比 (Y) との関係を見ると、第 2 図のとおり、両者の関係は

$$Y = 0.274 X^{-0.882} \quad (R^2 = 0.774) \quad \dots\dots\dots(2)$$

となり、大筋としては蒸散速度の増大に伴ってこの比が減少していく傾向がある。言い換えれば、蒸散速度が大きくなると、消費する単位量の水によって生存を維持できる地上部の重量がより小さくなる傾向がある。



第2図 蒸散速度と地上部重/蒸散量・比との関係

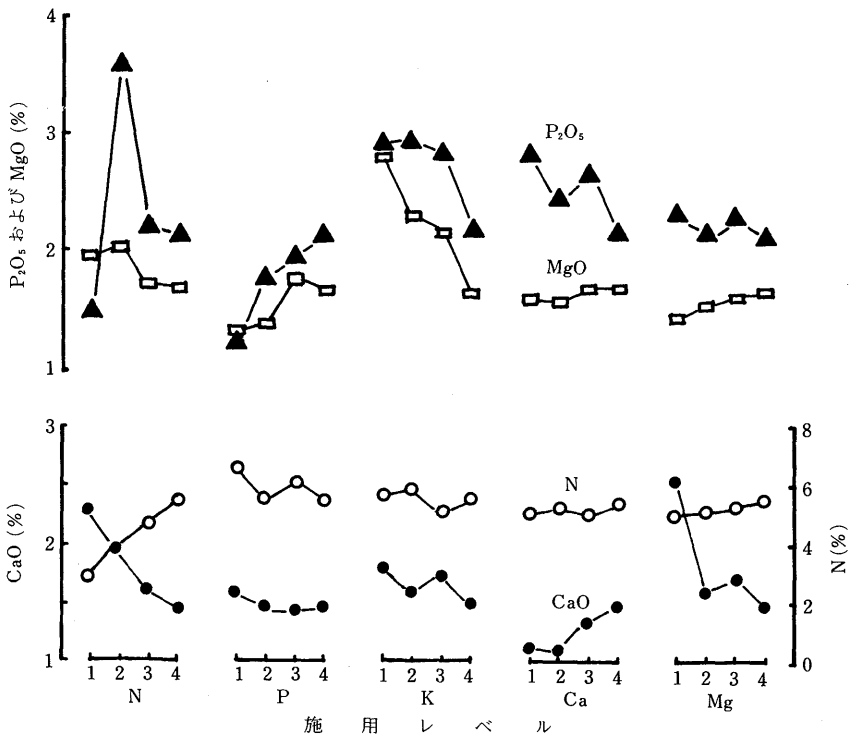


第3図 蒸散速度と葉重との関係

しかし、この変化の傾向を詳細にみれば、蒸散速度が6.0~8.0 gH₂O・g⁻¹・hr⁻¹の間では大体比が一定

している。

第3図によれば、蒸散速度がこの範囲にある処理区では蒸散速度の増加に葉重の増加が伴っている。



第4図 各肥料処理区の葉中要素含有率

しかし、蒸散速度が $8.0 \text{ gH}_2\text{O} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ を超えると葉重が減少しており、 P_1 区や Mg_1 区のように蒸散速度がある限度を超えている場合には、地上部の生育量の割には水分消費量が大きくなっていることがわかる。

(2) 各処理区の葉中無機要素含有率と蒸散速度との関係

各肥料処理区の葉中 N, P_2O_5 , CaO および MgO 含有率を示すと、第 4 図のとおりである。

とくに蒸散速度の大きい P_1 区および Mg_1 区について注目すると、これらの処理区における高い蒸散速度は N あるいは CaO の高い含有率と MgO の低い含有率に結び付いている。

蒸散速度と各種要素含有率との間の相関係数を第 2 表にあげた。 P_2O_5 と MgO が負の値を示しているが、絶対値は $MgO > N > K_2O \approx CaO > P_2O_5$ となっており、5 要素中 P_2O_5 が最も小さい。蒸散速度の大きな P_1 区では P_2O_5 含有率が低下しているが、同じ程度の含有率を示している N_1 区は蒸散速度が小さく、また Mg_1 区は P_2O_5 含有率が比較的高い値を示すなど、ヒマワリでは P_2O_5 含有率の低下が必ずしも蒸散速度が増大する条件にならないようである。

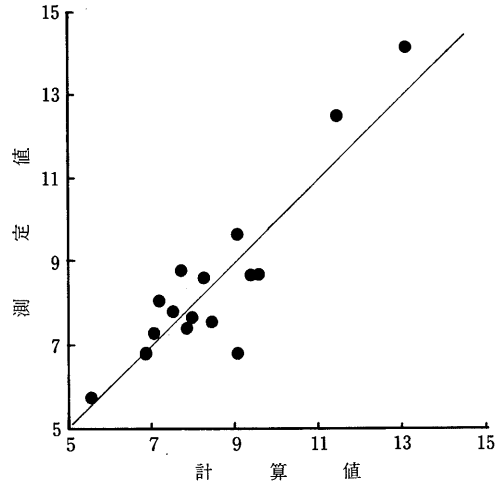
第 2 表 蒸散速度と葉中無機要素濃度との相関係数

N	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
0.4393	-0.2648	0.3296	0.3276	-0.4658

本研究では、 K_2O 含有率が P_2O_5 および MgO 含有率と強い内部相関（それぞれ相関係数は -0.5898^* および -0.9201^{**} ）を示すので、 K_2O を除く 4 要素含有率の蒸散速度に対する重回帰を求めると

$$Y = 1.72N + 0.98 P_2O_5 + 3.96 CaO - 3.60 MgO - 2.78 \quad (R^2 = 0.820) \dots\dots(3)$$

となる。これによる計算値と測定値との相関図を第 5 図に示したが、回帰式によれば、4 要素中 MgO のみが抑制変数として機能し、その含有率の増大が蒸散速度の低下に結び付く。



第 5 図 計算値と測定値の間の相関図

N, P_2O_5 , CaO および MgO の標準回帰係数はそれぞれ 0.824, 0.324, 0.828 および 0.770 で、これらの値から各要素が蒸散速度に対してかわる度合は

$$CaO (30.15\%) \approx N (30.01\%) > MgO (28.04\%) > P_2O_5 (11.80\%)$$

と判断される。

以上の結果から、ヒマワリの蒸散速度と葉中要素濃度との間には密接な関係があり、N や CaO 含有率が高く、MgO 含有率の低い場合に蒸散速度が大きくなっていることがわかる。

長井ら⁸⁾は種々の肥料処理を施した土耕試験で日本ナシ（二十世紀）の苗木を栽培し、蒸散速度を調査した結果、気温と蒸散速度との関係についての一般的な指摘^{2,3,9)}にもかかわらず、Mg 施用量の多い処理区では気温が上昇しても蒸散速度は必ずしも増大しないこと、そして蒸散速度 ($\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{hr}^{-1}$) と葉の要素集積状況 $[(K+3Mg)/P \cdot \text{比}]$ との間には密接な関係 ($r = -0.883^{**}$) があり、Mg の集積量 (mg/dm^2) が小さい処理区で蒸散速度の大きい場合が多く、また Mg 集積量が小さくても P の集積量が大い蒸散速度も大きくなって来ることを認めている。このようなナシ葉についての蒸散速度を抑制する Mg の効果は、本実験におけるヒマワリの蒸散速度に対し、抑制変数として機能する Mg の効果と極めて類似している。

従来、作物が消費する水分の乾物生産に対する効率は要水量（または蒸散係数）¹⁰⁾、あるいは蒸散能率¹¹⁾をもって種々論じられている。前者は乾物単位重量を生産する水量で表され、後者は一定の水量に対して蓄積された乾物重で表される。小麦の要水量に及ぼす要素欠除の影響を調査した石塚¹⁾の結果によると、 $-N$ および $-P$ は標準区の約6倍近く、 $-S$ 、 $-K$ は約4倍、 $-Ca$ および $-Mg$ は約3倍の水分を必要としている。このように N と P の欠乏がとくに要水量に大きく影響しているように思われるが、このほかに、とくに K が作物による水の有効利用に影響を与えるという指摘⁴⁾もみられている。

本研究では、乾物生産速度を全く考慮していないので、第2図に示したような地上部重/蒸散速度・比の小さい Mg_1 区の水利用状況を蒸散能率と軌を一にして論ずるわけにはいかない。むしろ、生育の現段階すなわち蒸散量測定の時点で水ストレスを回避するために必要とされる水分量が、 Mg_1 区では乾物重の割に他の区より多くなっていることを示していると理解すべきであろう。しかし、既往の試験成績からみれば Mg が要水量に与える影響は比較的低いと考えられるにもかかわらず、本研究における Mg_1 区は水ストレスを生じていないので、実際には蒸散速度測定後においても引き続き生長し、わずかであっても乾物重は増加するであろうから、短期間を限ってみれば、 Mg_1 区の乾物生産に対する水の効率は著しく低いものであるに違いない。本研究におけるように、 Mg が供試作物の生育の制限因子として強く働く場合には、 Mg の欠乏も N や P 欠乏と同じように要水量に大きく影響すると考えられるが、この点はさらに実験をすすめて検討したい。

いずれにしても砂丘畑では開墾後年数を経るにつれて、 K が集積して行く傾向⁷⁾のあることが明らかにされているので、 Mg の吸収が K の影響を受けやすく、且つ Mg が生育の制限因子となりやすい作物を砂丘畑で栽培するにあたっては、 Mg 肥料の施用についての格別の配慮が水分経済の上からも必要であると思われる。

要 約

砂丘畑で出来るだけ効率のよい水利用を計るため

の基礎的資料を得るために、1980年ポット試験によって、 N 、 P 、 K 、 Ca および Mg などの5種無機要素をそれぞれ4段階の施用量で与えた砂丘畑土壌にヒマワリを栽培し、葉中の無機要素集積状況と蒸散速度との関係を検討した。

得られた結果を要約すると次のとおりである。

(1) 7月中旬、晴天の日中（最高気温27.3°C）に測定した葉の単位重量当りの蒸散速度（ $gH_2O \cdot g^{-1} \cdot hr^{-1}$ ）は、 N と K の施用レベルが最も低い処理区で小さく、一方、 P と Mg の施用レベルが最も低い処理区で大きい値を示した。

(2) 蒸散速度と葉中の要素濃度（%）の間には密接な関係が認められ、 N や CaO 含有率が高く、 MgO 含有率の低い場合に蒸散速度が大きかった。

(3) 蒸散速度に対する N 、 P_2O_5 、 CaO および MgO 含有率の重回帰式は

$$Y = 1.72N + 0.98 P_2O_5 + 3.96 CaO - 3.60 MgO - 2.78 \quad (R^2 = 0.820)$$

であった。

参 考 文 献

1. 石塚喜明. 1947. 小麦の生育と養分の吸収及利用に関する肥料学的基礎研究. 寒地農学. 1: 1-194.
2. 鴨田福也・伴 義之・志村 清. 1974. 野菜の光合成及び蒸散に関する研究(1). 光合成・蒸散の作物間差異及び土壌水分との関係. 野菜試験場報告. A1: 109-139.
3. 加藤一郎・内藤文男・谷口利策・鴨田福也. 1965. 作物の蒸発散量に関する研究(IV). ブドウの蒸発散量について. 東海近畿農試報告. 13: 54-69.
4. Mengel, M. and Kirkby, E.A. 1982. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern. pp. 227-228.
5. 長井武雄. 1962. 砂丘土壌における灌水の滲透に伴う窒素の溶脱について. 鳥取大学砂丘研究実験所報告. 3: 54-60.
6. 長井武雄. 1981. 砂丘畑における地力低下と肥

- 培管理の問題点. 砂丘研究. 28(2): 41-46. 研報. 35: 1-7.
7. 長井武雄・藤山英保・柴原寿男. 1981. 砂丘土壌の養分供給力について. 砂丘研究. 28(1): 1-6. 9. 直井利雄. 1970. クワの蒸散量および蒸発散量に関する研究. 蚕糸試験場報告. 24(2): 247-285.
8. 長井武雄・萩原富士男・植原桂治. 1983. 日本ナシ (二十世紀) 葉の保水性と果実の品質に関する土壌肥料的的研究 (Ⅲ). 火山灰土壌に対するカリ, カルシウム及びマグネシウム肥料の供給レベルが苗木の蒸散量に及ぼす影響. 鳥大農 10. 玉井虎太郎. 1961. 水分生理編 (作物生理講座, 第3巻). 朝倉書店, 東京. p. 39.
11. 田崎忠良. 1978. 環境植物学 (田崎忠良編). 朝倉書店, 東京. p. 159.