

収量予測・情報処理・環境

格子交差法によるサツマイモ個葉の葉脈長の推定

吉村泰幸*・窪田文武
(九州大学)

要旨: 個葉における水や光合成生産物の輸送は主に葉脈を通して行われており、葉脈網の形態的特性が物質輸送機能との関連で光合成や蒸散作用の制御調節に関わることは十分予想される。そこで本研究では、サツマイモ2品種を用いて、個葉の葉脈長を推定するための方法として Newman の理論を基礎とする格子交差法について検討した。ここで用いたサツマイモ2品種における個葉の平均葉面積は 37.3 cm² であり、これらを対象にキルビメータを用いて直接測定した1個葉の平均総葉脈長は、404.7 cm であった。格子交差法による測定に際しては、サツマイモ個葉の裏面を複写機によって 200% から 400% に拡大し、拡大印刷用紙に格子を印刷したトレーシングペーパーを重ねて交点数を計測した。各個葉の実測葉脈長に対して、格子交差法によって推測した葉脈長は誤差 10% 以内であり、格子交差法は葉脈長推定のための測定法として有効であると判断された。

キーワード: 格子交差法, サツマイモ個葉, 葉脈長。

光合成作用の場である個葉の葉肉や葉緑体への水や養分の輸送あるいは葉緑体からの光合成生産物の転流に関わる要因については数多く研究されてきている。物質輸送に関わる生理作用は主に葉脈を通して行われており、光合成、蒸散の制御要因として葉脈の長さ、分布状態および太き等も重要な形質に含まれるものと考えられる。光合成速度やその構成パラメータの制御要因としての葉脈長や葉脈密度などの形質に注目した研究として、Liu ら (1973) や山本ら (1997) 等の報告が見られるが、研究例は少ない。複雑な分枝状を呈する葉脈の長さを測定することは容易でないことがその理由の一つと考えられる。著者らは、個葉光合成速度の調節、制御要因についてこれまで研究を進めてきているが、今後、葉脈形質と物質輸送や光合成速度との関係を明らかにしたいと考えている。そこで本研究では、個葉の葉脈長を簡易に推定する手法の一つとして格子交差法を応用し、その有効性を立証した。

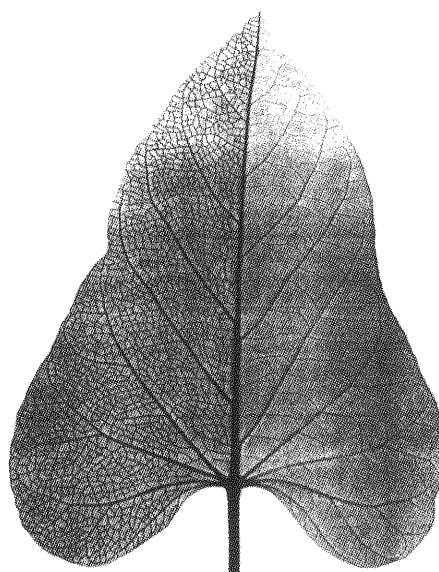
材料と方法

実験材料としてコガネセンガンと蔓無源氏の2品種を用いた。前者は高収量品種で、個葉光合成能力が高く、一方、後者は低収量の在来品種で個葉光合成能力も低い品種として知られている (Kubota ら 1993)。圃場で栽培中の2品種の植物体から展開完了後の個葉を無作為に採取し、測定に供試した。葉脈長計測に当たって、まず、採取した2品種個葉の裏面を複写機 (キャノン NP 5060) で 200~400% に拡大、複写し、複写用紙上の葉脈をキルビメータ (SAKURAI 製) で正確に追跡して、実測値を求めた。つぎに、5 mm×5 mm の格子枠を印刷したトレーシングペーパーを拡大複写用紙に重ね、格子と葉脈との交点数から葉脈長を計算した。実測値と推定値を統計学的に比較検討し、葉脈長推定法の精度を明らかにした。なお、細い葉脈

の複写はできないが、その部分を実物を見ながらペンで補足すれば肉眼で確認可能な葉脈はほぼ全て測定対象とすることができる (第1図)。

結果と考察

これまで、格子交差法を根長測定に応用した例は多い。根長測定では、一定面積の枠内に格子状に配列した直線と測定対象とする根の切断片との交差頻度から根長を算出、推定しようとするものであり、Newman の理論 (Newman 1966) を基礎にしている (Tennant 1975)。根長測定に当たっては、根系を切断し、根の断片を重ならないように開け平面上にランダム分布状態にすることが前提であ



第1図 測定に用いた葉身のコピー。
葉身左面は交点数を明確に計測するためにコピーの上からペンで葉脈線を強調したもの。

り、その上に格子を重ねて交点数を計測する。葉脈長を測定する場合、葉脈がランダム分布あるいはランダムに近い分布であれば格子交差法による有効な推定が可能であると考えられる。

第2図には、キルビメータによる葉脈長の実測値と格子交差法で得られた交点数との関係を示した。葉脈長実測値(y)と交点数(x)の両者の間には0.1%水準で有意な正の相関関係があり、回帰式($y=0.437 \cdot x$)が得られた。傾きを示す係数0.437は5mm×5mmの格子を使用した場合の格子定数であり、葉脈長は(1)式から推定される。

$$\text{葉脈長} = \text{交点数} \times \text{格子定数} \times 100 / \text{コピーの拡大率}(\%) \quad (1)$$

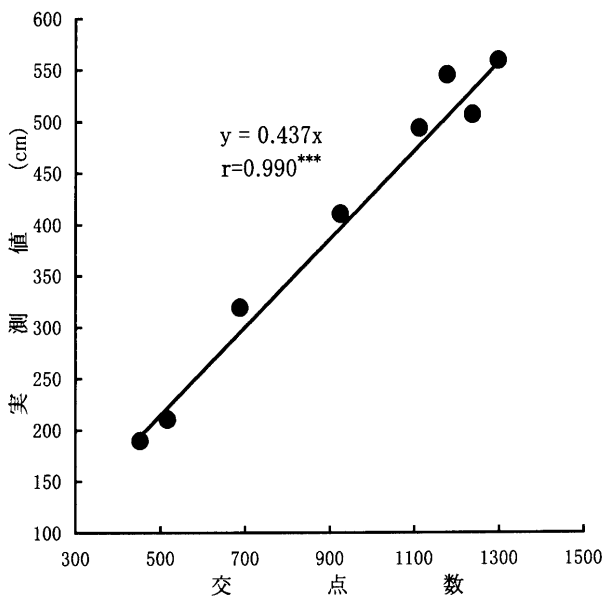
先に述べたように、交点数測定には測定対象となる断片がランダム分布であることが前提になるが、ここで供試したサツマイモ個葉の場合、葉脈は分枝形状であり、格子交差法の適用性の範囲を超えることが懸念されたが、第2図に示した様に、キルビメータを用いて直接測定した葉脈長の実測値と交点数の間には高い相関関係が得られた。

第1表に2品種の葉面積が異なる個葉を対象に実測値と格子交差法による推定値を比較した。直接測定した値と格

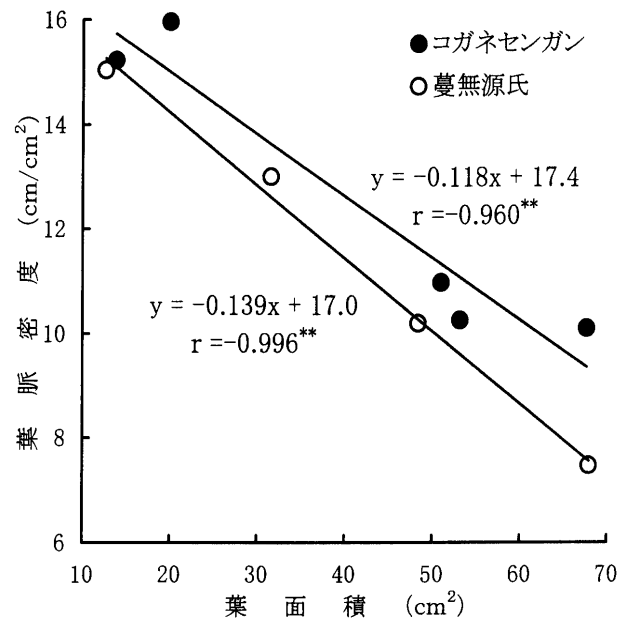
子交差法によって得られた値との間の誤差は、10%以内であり、格子交差法は葉脈長の推定法として有効であると判断される。このことは他の双子葉植物への格子交差法の適用の可能性を示すものであるが、イネ科などの単子葉植物では葉脈の伸長方向が平行であるなど分布の規則性が明確であるため、本手法による測定には工夫を要する。

格子交差法使用に当たって注意すべき点は、根長測定の場合と同様であり、測定対象の直線部分の長さが格子の一辺の長さよりも長くなければならない。短い場合は、格子と交差しない直線部分が存在し、葉脈長を過小評価する危険性がある。本研究では葉面積が異なるサツマイモ個葉を供試しており、個葉の大きさに応じてコピーの拡大率を200~400%の範囲に設定して葉脈の直線部分の長さを5mm×5mmの格子枠より大きくなるように配慮した。拡大率は個葉の大きさ以外に測定する作物の種や葉齢などによって適宜設定する必要がある。

次に、サツマイモ2品種の葉脈密度(葉脈長/葉面積)と葉面積との関係を第3図に示した。個葉の葉面積が拡大すると葉脈密度が低下する傾向が認められる。コガネセンガンでは葉面積が約20cm²から約70cm²に拡大すると葉



第2図 葉脈長の実測値と交点数(葉脈と格子)の関係。
実測値はキルビメータによる測定値。
***: 0.1%水準で有意。



第3図 葉脈密度と葉面積との関係。
**: 1%水準で有意。

第1表 葉脈長の実測値と格子交差法による推定値の比較。

No.	コガネセンガン					蔓無源氏				
	1	2	3	4	平均	1	2	3	4	平均
葉面積 (cm ²)	13.8	20.0	51.0	53.2	34.5	12.6	31.6	48.4	67.9	40.1
実測値 (cm)	210.6	319.3	559.6	545.7	408.8	189.4	410.8	494.4	507.4	400.5
格子交差法 (cm)	226.3	300.8	567.3	514.8	402.3	198.0	404.4	486.6	541.0	407.5
相対値	107.5	94.2	101.4	94.3	99.4	104.5	98.4	98.3	106.6	102.0

実測値はキルビメータによる測定値。

相対値は実測値を100として表した格子交差法による推定値。

脈密度は約 15 cm/cm² から約 9 cm/cm² に減少している。葉脈の粗密が光合成や蒸散などの生理作用に及ぼす影響について、ここでは明確にできないが、葉面積の拡大とともに葉脈密度が低下することは、葉面積が拡大した個葉では物質の転流、輸送効率が低下する可能性があることが予測される。また、有意差は得られなかったが、同じ葉面積の個葉間で比較するとコガネセンガンは蔓無源氏に比較して葉脈密度が高かった。個葉光合成能力に優れるコガネセンガンの葉脈密度が高いことは、本形質が光合成速度や蒸散速度を律速する一つの要因になり得るものと推察され、興味深い。

これまで、葉の形態的構造についての研究は数多く行われているが、養水分などの物質輸送に関して葉脈や維管束と光合成などの生理作用と結びつけた研究は少ない。Liu ら (1973) はインゲンマメ品種を用い、光合成生産物の葉脈への輸送効率が個葉光合成速度の品種間差を決定する重要な生理的要因の一つであると報告している。縣ら (1982) は、C₃、C₄植物 37 種を使って、維管束間距離、木部水ポテンシャルおよび蒸散速度を測定し、維管束間距離などの輸送に関する形態が植物の水分生理特性と密接に関わった形質であると報告している。山本ら (1997) はセイヨウナシ品種の光合成支配要因を解析するため、葉面積中に占める葉脈面積 (葉脈占有率) を画像解析法によって測定し、葉脈占有率は葉色度 (SPAD 値) との間に負の相関関係があることを認めているが、光合成速度との間には相関関係が得られていない。光合成、蒸散と葉脈長との関係を明らかにするためには、形態形成に影響する環境要

因を一定にした条件下で解析を行う必要があると考えられる。画像解析装置は計測精度に優れ、葉脈の長さ、密度、形状などを解析する手段として有力であると思われるが、高価であり、また測定技術を要する。これに比較して、ここで検討してきた格子交差法は、費用を要せず、比較的短時間に葉脈長を推定するための有効な手法であり、種々の作物個葉への応用も可能であるものと考えられる。

引用文献

- 縣和一・川満芳信・箱山晋・武田友四郎 1982. イネ科植物の光合成および蒸散速度におよぼす環境要因の影響. 第3報 野外におけるイネ科 C₃、C₄植物の蒸散速度と維管束間距離の比較. 日作紀 51(別2): 91-92.
- Kubota, F., Y. Yoshimura and W. Agata 1993. Stomatal movement and CO₂ exchange rate of sweet potato plant (*Ipomoea batatas* Lam.) in relation to water environments —A comparison between native and improved varieties— J. Fac. Agr. Kyushu Univ. 38: 97-110.
- Liu, P., D.H. Wallase and J.L. Ozburn 1973. Influence of translocation on photosynthetic efficiency of *Phaseolus vulgaris* L. Plant Physiol. 52: 412-415.
- Newman, E.I. 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. J. App. Ecol. 3: 139-145.
- Tennant, D. 1975. A test of a modified line intersect method of estimating root length. J. Ecol. 63: 995-1001.
- 山本隆儀・伊藤博祐・野堀秀明・佐々木宏 1997. セイヨウナシ葉の諸形質の変異および炭酸ガス拡散抵抗要因と光合成活性との関係. 園学雑. 66: 45-57.

Estimation of Vein Length in a Leaf of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* Lam.) by the Lattice Crossing Method: Yasuyuki YOSHIMURA* and Fumitake KUBOTA (*Fac. Agr., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581, Japan*)

Abstract: The transportation of water and photosynthetic products in a leaf is mainly performed through the leaf veins, and it is sufficiently predicted that the morphological characteristics of leaf vein nettings are responsible for the restriction and adjustment of photosynthesis and evapotranspiration in relation to the transporting function. We tried here to apply the lattice-crossing method based on Newman's theory to estimate easily the vein length in a leaf, using two sweet potato cultivars. The average area of leaves used here was 37.3 cm², in which the total leaf vein length measured by curvimeter was 404.7 cm. A tracing paper on which the lattice was printed was placed on a paper in which the abaxial surface of the leaf was copied with an expansion of 200% to 400%, and the number of crossing points of vein and lattice line was counted. The vein length could be estimated within 10% error as compared with the measured vein length. The lattice-crossing method provided a correct estimation for the vein length of sweet potato leaves.

Key words: Lattice crossing method, Sweet potato, Vein density, Vein length.