

作物の生長効率に関する研究(第3報)

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	山口,淳一 田中,明
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	41巻12号
掲載ページ	p. 509-513
発行年月	1970年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



作物の生長効率に関する研究 (第3報)

生育条件を異にしたトウモロコシの生長効率

山口 淳一・田中 明*

前報¹⁾において標準栽培したトウモロコシでは、発芽時より登熟前期にかけ生長効率が60~65%に維持され、登熟後期に至り急激に低下することを明らかにした。

本報では、上記のごとく生育の長い期間にわたって一定に保持される生長効率が、栄養条件により影響を受けるか否かを知る目的で光合成を制限する因子として光条件を、また代表的無機栄養素として窒素を選び、栄養生長期を対象にして実施した実験の結果を報告する。

実験方法および結果

実験 I 遮光処理の生長効率に及ぼす影響

トウモロコシ単交配系統 D403×D405(滝川原々種農場より分譲を受けた)を用いた。以下の実験も同様である。

2,000分の1アール土耕用ワゲルポットに、N, P₂O₅, K₂Oとして各4gの硫酸、過石、硫加を混合した北大風乾土壌10kgをつめ、1969年5月28日にポット当たり6粒播種した。北大農学部網室内で生育させ随時給水口より水道水を灌水した。6月10日に発芽、3葉期に4本立てとし、6.1~6.2葉期に達した7月2日に、遮光処理を開始し、その後17日間生育させた。

遮光は15メッシュ・ビニロン製白寒冷紗(透光率70%)と黒寒冷紗(透光率56%)とを一枚あるいは数枚組み合わせて、円筒型の底なし袋を作り、無処理、透光率70%、56%、22%、6%の5段階の処理区を設けた。以下これらの処理を[100%], [70%], [56%], [22%], [6%]と略す。実験はすべて2反復で実施した。

遮光処理開始直前と終了直後にポット当たりの呼吸を測定し、測定後その個体を試料として採取した。試料採取法、呼吸測定法、生長効率算出法はすべて前報に準じたり。この場合呼吸は暗所におけるCO₂放出量によって測定し、一定期間内における乾物生産量(ΔW)と呼吸量(R, C₆H₁₂O₆として算出)から生長効率は $\frac{\Delta W}{\Delta W + R}$ として算出した。

なお、遮光処理を行なった17日間の平均気温は20°C、日平均日射量は537 gcal·cm⁻²·day⁻¹であるが、網室の屋根はビニール膜で覆っていたため、透光率は55%で

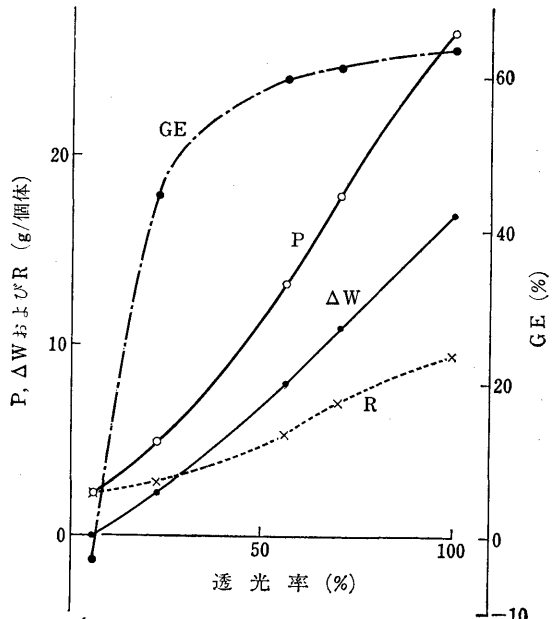
あった。

採取試料は風乾・秤量後粉碎し、粉碎試料につき各形態別窒素および炭水化物の分画定量を行なった。

全窒素(T-N)はガンニング氏変法により、水溶性全窒素(Sol-N)は85°C温水抽出液についてケルダール法によって得られた窒素に硝酸態窒素を加えた。T-NよりSol-Nを差し引き不溶性窒素(Insol-N)を求めた。また水溶性窒素定量に供試した温水抽出液について酢酸鉛で沈殿した窒素を水溶性たん白態窒素(Sol.-Prot.-N)とし、硝酸態窒素(NO₃-N)はフェノール硫酸法により比色定量した。アンモニア態窒素(NH₄-N)はコンウェイの微量拡散法により定量し、アミド態窒素(Amide-N)は希硫酸加水分解後NH₄-Nとして定量した。アミノ態窒素(A.a.-N)はL-ロイシンを標準にしてニンヒドリン比色法により定量した。

炭水化物については80%アルコール抽出分を糖とし、残渣の冷過塩素酸抽出分を澱粉として、いずれもアンスロン比色法によりグルコースを標準として定量した。なお糖と澱粉の合計を全炭水化物(T-Ch)とした。

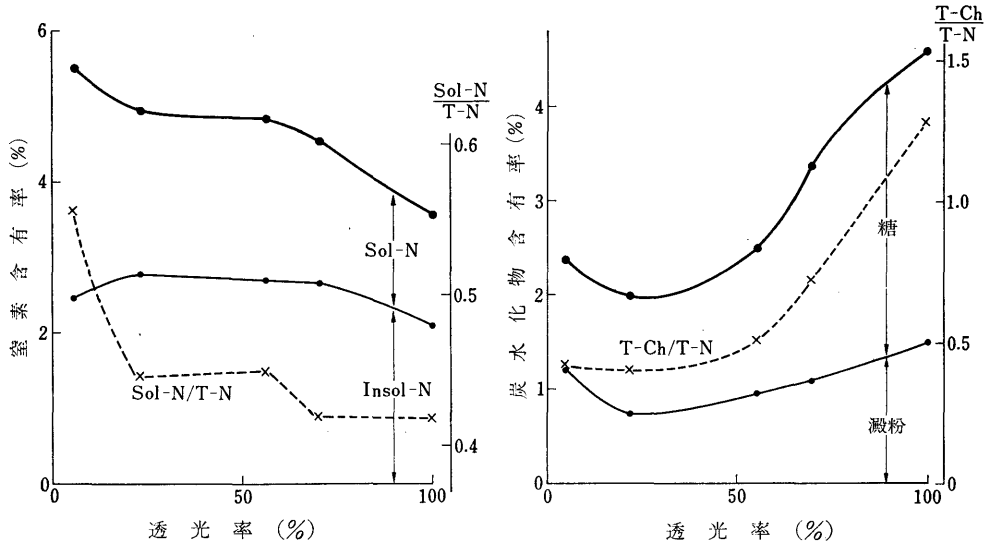
遮光処理により生長速度は低下し、処理後の葉数は



第1図 トウモロコシを遮光処理したときの乾物増加量(ΔW)、呼吸量(R)、純光合成量(P)および生長効率(GE)

* 本報告の概要は昭和44年12月土壌肥料学会北海道支部秋季講演会にて発表した。

** 北海道大学農学部(札幌市北9条西9丁目)昭和45年4月20日受理
日本土壌肥料学雑誌 第41巻 第12号 p.509~513 (1970)



第2図 遮光処理による窒素および炭水化物含有率, Sol-N/T-N および T-Ch/T-N 比の変化

[100%], [70%], [56%], [22%], [6%] においてそれぞれ 12.1, 11.2, 11.1, 9.3, 7.5 であった。

処理期間中の乾物増加量は遮光程度の上昇によりほぼ直線的に減少し (第1図), [6%] では葉齢が進んだにもかかわらず乾物重は処理前に比べ僅かながら減少した。なお, 処理開始前の乾物重は 1.8 g/個体 であった。呼吸量も遮光程度が強くなるに従い減少した。乾物増加量および呼吸量の和として算出したこの期間の光合成量は遮光により減少し, [6%] では呼吸量とほぼ等しかった。生長効率, 遮光によって低下したが, 50% 遮光までは 65~60% とほぼ一定であり, より強い遮光で急激に低下した。

処理終了時の地上部についてみると, 遮光程度が強くなるに従い, T-N および Sol-N 含有率は増加し, Sol-N/T-N も上昇した (第2図)。T-Ch 含有率は低下し, その結果 T-Ch/T-N は低下した。糖, 澱粉については T-Ch の傾向と類似であったが極度の遮光で澱粉のわずかな上昇が見られた。

NH₄-N, Amide-N, A. a.-N, NO₃-N も T-N と同じく遮光が強くなるに従い上昇し, 特に極度の遮光による増加がいちじるしかった。Sol-Prot-N についてはあまり変化がなかった (第1表)。

実験 II 培地の窒素濃度が生長効率に与える影響

パーミキュライト床で発芽させた 3.1~3.5 葉期の 19 日苗 4 本を, 1969 年 5 月 29 日に 16l 容のポットに移植した。水耕培養液組成は第2表のごとくで, 窒素は NH₄NO₃ および NaNO₃ (5:2) を用いて 0, 10, 60, 150, 600 ppmN の窒素濃度処理とした。水耕液更新は約 10 日ごとで, すべて水道水を用い, pH を 5.5 に調整

第1表 遮光処理したトウモロコシの水溶性窒素の形態別窒素含有率 (%)

N分画 透光率 (%)	Sol-Prot-N	NH ₄ -N	Amide-N	A. a.-N	NO ₃ -N
100	0.36	0.024	0.09	0.088	0.51
70	0.31	0.030	0.15	0.133	0.80
56	0.32	0.034	0.18	0.137	1.16
22	0.31	0.038	0.31	0.135	1.30
6	0.46	0.107	0.79	0.315	1.38

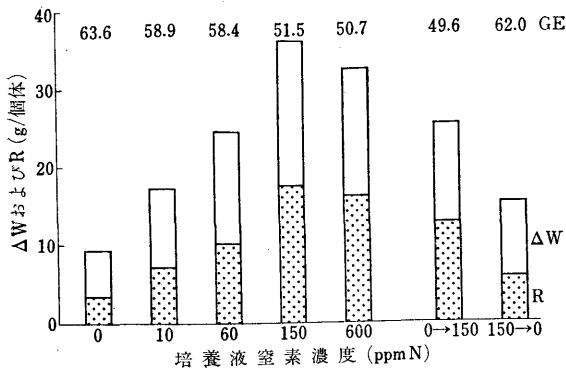
第2表 培養液組成

要素	供試塩類	濃度 (ppm)
P	NaH ₂ PO ₄ · 2H ₂ O	20
K	KCl および K ₂ SO ₄ (1:1)	60
Ca	CaCl ₂ · 2H ₂ O	20
Mg	MgSO ₄ · 7H ₂ O	20
Fe	FeSO ₄ · 7H ₂ O	3
Mn	MnSO ₄ · 4H ₂ O	1

した。水道水には NO₃-N が 5~8 ppm 含まれていた。

移植後 20 日間窒素処理を行なった後 6 月 18 日に呼吸を測定し試料を採取した。この時点において上記 5 処理に加えて, それまで 0 ppmN で生育させたものを 150 ppmN へ, また 150 ppmN から 0 ppmN へと移す処理を作り計 7 窒素処理区を設け, 2 反復にて実験を実施した。その後 23 日間この 7 処理によりガラス室内で生育させて後, 再び呼吸および乾物重の測定を行なった。ガラス室はできるだけ通風を計ったが, 外気温より平均 4°C 程度高く, やや徒長気味に生育した。

実験開始時の 6 月 18 日には窒素濃度処理により 6.2~7.2 葉と窒素濃度の上昇で 1 葉程度葉数が増加したの



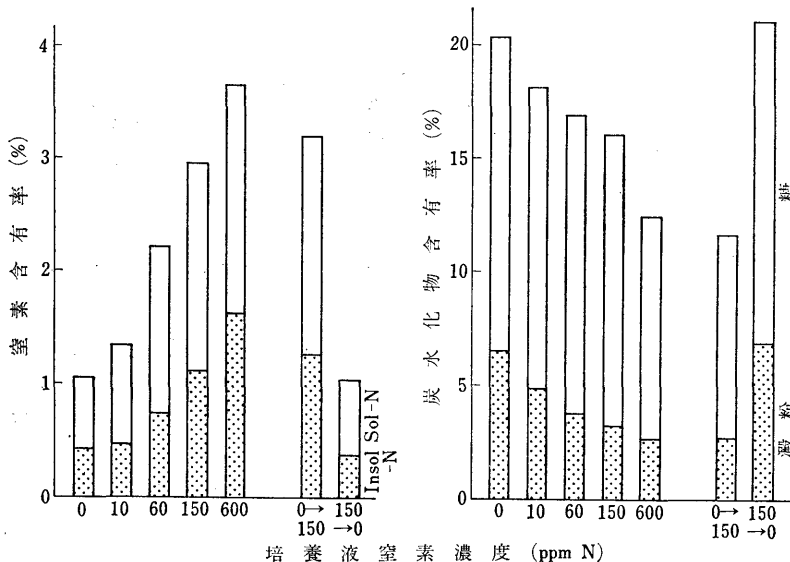
第3図 窒素処理による乾物増加量(ΔW), 呼吸量(R)および生長効率(GE)の変化

みであったが、終了時には 11.1~14.1 葉と3葉もの差を示し、個体当たり乾物重は 150 ppmN 区の 19.6 g から 0 ppmN 区の 6.7 g と大きな差を示した。

実験期間 23 日間の全植物体の乾物増加量は窒素濃度が 150 ppmN まで窒素が上昇するにつれて大きくなり、より高濃度で減少し、呼吸も同様の傾向を示した(第3図)。生長効率は窒素濃度の上昇ともない 64% より 50% へと低下した。

0→150 ppmN 処理区、あるいは 150→0 ppmN 処理区では乾物増加量、呼吸量とも 0 ppm と 150 ppmN 処理の中間の値をとり、生長効率は前者では処理中最低であり、後者ではほぼ 0 ppmN 区と近似の値を示した。

T-Nは窒素濃度が高まるにつれ上昇し、Sol-N, Insol-Nともに上昇した(第4図)。また糖、澱粉含有率はともに培養液中窒素濃度が上昇するとともに低下した。



第4図 窒素濃度処理による窒素および炭水化物含有率の変化

150→0 ppmN 処理区で T-Ch は処理区間最高であった。

Sol-N/T-N は処理窒素濃度の上昇につれて低下し、60 ppmN で最低となり、より以上の濃度で再び上昇した(第3表)。T-Ch/T-N は窒素濃度の上昇とともに低下した。

第3表 窒素濃度処理による水耕トウモロコシの Sol-N/T-N 比および T-Ch/T-N 比

窒素処理 (N ppm)	Sol-N /T-N	T-Ch /T-N
0	40.2	19.0
10	34.8	13.4
60	33.5	7.7
150	37.5	5.5
600	44.6	3.5
0→150	39.5	3.7
150→0	36.2	20.1

水溶性窒素中の形態別窒素(第4表)についてみると、Sol-Prot-N, NH₄-N, Amide-N, A.a.-N, NO₃-Nとも窒素濃度の上昇で上昇し、特に Amide-N, NO₃-N, A.a.-N で顕著であった。

第4表 窒素処理した水耕トウモロコシの水溶性窒素中形態別窒素含有率(%)

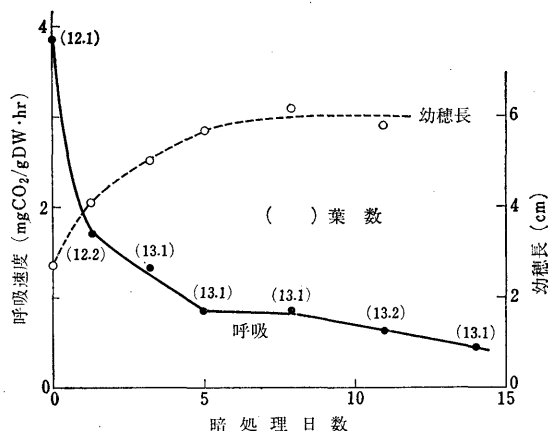
窒素処理(ppm)	Sol-Prot-N	NH ₄ -N	Amide-N	A.a.-N	NO ₃ -N
0	0.17	0.049	0.004	0.030	0.020
10	0.20	0.046	0.014	0.040	0.025
60	0.23	0.047	0.010	0.091	0.051
150	0.29	0.073	0.037	0.114	0.098
600	0.27	0.084	0.173	0.215	0.261
0→150	0.28	0.053	0.160	0.136	0.216
150→0	0.12	0.056	0.014	0.029	0.028

実験 III 暗処理期間中のトウモロコシの生長

実験 I の無処理区と同様に生育させたトウモロコシを 7月18日に暗室に移し、随時灌水し暗所における生長を 2週間追跡した。暗室内温度は 23±0.5°C で、暗処理後 0, 1, 3, 5, 8, 11, 14 日に呼吸、幼穂長、葉数、乾物重の測定を行なった。

暗処理開始時の乾物重は 18.6 g/個体、草丈 124 cm であった。暗処理開始後数日間は生長点での生育が認められた(第5図)。すなわち、葉数は3日間増加をつづけ、幼穂長は6日目頃まで伸長がつづき、その後完全に停止した。

処理開始時には第1葉のみが枯死していたが、3日目には第3葉まで、5日目には第5葉まで、8日目には第7葉まで完全枯死し、14日目には



第 5 図 暗処理による呼吸速度、幼穂長、葉数の経時変化

植物体全体が黄化した。

呼吸速度は 1 日間の暗処理で急激な低下が起こり、引き続き 5 日目頃まで減少し、その後緩やかに低下した。

論 議

各形態窒素や炭水化物含有率の遮光処理および培地中の窒素濃度に対応する変化は、水稻^{2,9)}の場合と同様の傾向であった。しかし Sol-N/T-N が水稻では 10~15% 程度であるのに比べ、トウモロコシでは 35~50% と大きな差である点は異なっていた。

実験 I と実験 II とを比較すると、NO₃-N および炭水化物含有率が両者間で非常に異なっていた。これは土耕と水耕との違いによるのか、網室とガラス室という環境の差異に基づくのかは不明である。

遮光程度を高めると NO₃-N 含有率が高まったが、これは光合成産物の不足からたん白合成能が低下したというだけでなく、NO₃-N の還元に光が必要である^{4,5)}ことを示すものである。

トウモロコシが活潑に拡大再生産を行なっている栄養生長期における生長効率は、60~65% に維持される。

植物体構成素材および呼吸源の主体である光合成産物の生成を投入日射量を調節することによって制限すると、乾物増加量は日射量の減少とほぼ比例して減少した。しかし光合成量が約半減するまでは、生長効率がほとんど一定であった。このことから、この段階では、光合成の減退により糖含有率は低下し、呼吸が低下するが、呼吸の質的な変化に起こらず、呼吸が正常に生長と結びついていると解釈できる。また、この範囲内では Sol-N/T-N はあまり変化せず、吸収した窒素のたん白質への取り込みも正常に行なわれると考えられる。しかし極度の遮光においては、乾物量が減少するにもかかわらず、植物体を維持するための呼吸が行なわれる。それ故 20% 以下

の透光率では生長効率は急激に低下した。この状態では Insol-N が減少し、NH₄-N、Amide-N、A.a.-N、Sol-Prot-N 等が増加したたん白合成が抑制されるのみでなく、たん白質が分解して Sol-Prot-N となりアミノ酸含有率が高まり、糖含有率の低下と関連してアミノ酸が呼吸源として使用されて Amide-N を集積したと見なすことができる。

培養液中窒素濃度の上昇に従い、生長効率は 64% より 50% へと低下した。これは植物体の窒素含有率が上昇し、炭水化物含有率が減少したためと考えられる。すなわち炭水化物合成が盛んなときは生長効率は高く、窒素吸収が増加し、たん白合成が旺盛になると炭水化物よりたん白質を合成するためのエネルギーを必要とするので生長効率が低下することを示すものである。

無窒素で生育させたものを高窒素条件に移すと、急激に窒素が吸収され、これがたん白質へ同化され、そのための呼吸が増大し、生長効率は低下する。逆に窒素が十分に存在する条件下に生育したものを無窒素下に移すと、たん白質合成はわずかで、その結果生長効率は高くなる。

暗処理によって光合成産物の新たな供給を絶った場合、生長は直ちに停止せず、生長部位の生育が引き続き認められた。すなわち、暗処理開始後 3 日目頃までは葉数の増加が認められ、6~7 日目まで幼穂長の伸長が起こり、体内貯蔵物質、あるいは古い器官の体構成物質の利用で生長点は生長し続けることを示す。

植物の生長にとって呼吸が必要であることは議論の余地がなく、正常状態にあるトウモロコシの栄養生長期では生長効率は 60% 強と見なすことができ、総光合成量に占める呼吸量の割合は 40% 弱である。この状態における呼吸は、積極的に生長に結びついている呼吸と、植物体維持のための基礎呼吸との 2 種の呼吸に分けて考えることができる⁶⁾。

実験 III の場合葉数増の停止時における呼吸を植物体を維持するに要す呼吸とみなすと、この時の呼吸速度は約 1.3 mg CO₂/g · hr であり、処理開始時の呼吸は 3.86 mg CO₂/g · hr であるゆえ、基礎呼吸の割合は約 33% となる。また幼穂の伸長停止時の呼吸を基礎呼吸とすれば約 22% となる。実験 I で遮光程度を次第に高くしてゆき、透光率 6% 付近で乾物増加量がゼロになったときの呼吸量を基礎呼吸量 (2.2 mg CH₂O/個体) と考えると、この値は標準区の呼吸量の約 23% に相当する。

以上の議論から、生長中の植物の呼吸の約 20% 程度は、基礎呼吸であると考えられる。そして、このようにして推定した基礎呼吸量を差し引いて、実験 I における結果から、通常の栄養状態で積極的に生長に結

びついていると考えられる呼吸量のみをもって生長効率を算出すると生長効率はほぼ 70% となる。

要 約

正常に生育するトウモロコシの栄養生長期における生長効率は 60~65% であるが、これが環境条件の変化にどのように影響されるかを調査するため、遮光処理、窒素濃度処理試験を実施し、以下の結果を得た。

1) 軽度の遮光では乾物増加量は減少したが、生長効率はほぼ一定であった。しかし強度の遮光下では生長効率は低下を示し、これは呼吸源にたん白質が使われた結果と理解される。

2) 培地の窒素濃度を高めると、乾物重は増加し植物体の窒素含有率は上昇し生長効率は低下した。ただし窒素過剰状態では乾物増加量は窒素適量区に比べ小さかった。一般に炭水化物の蓄積が旺盛な時は生長効率は高く、窒素吸収およびたん白合成が旺盛な時は生長効率は低下する。

3) 健全植物を暗所に移すと、光合成が起こらないで

も貯蔵物質または古い器官の構成物質により生長が引き続き起こった。暗処理により伸長が止り、あるいは遮光により乾物増加がゼロになったときの呼吸を、植物体維持に要する基礎呼吸と考えると、全呼吸に占める基礎呼吸の割合は約 20% であった。それゆえ、正常の生育においては、全光合成量中 10% が基礎呼吸により消費され、30% が生長エネルギー生成のための呼吸に消費され、60% が新たな植物体の構成成分となると考えられる。

文 献

- 1) 山口淳一, 原 徹夫, 田中 明: 土肥誌 41, 73 (1970)
- 2) 石塚喜明, 田中 明: 土肥誌 23, 159 (1953)
- 3) 藤原彰夫, 成田成一, 大平幸次: 土肥誌 22, 173 (1951)
- 4) 王子善清, 伊沢悟郎: 土肥誌 39, 380 (1963)
- 5) HAGEMAN, R. H. & FLESHER, D.: *Plant Physiol.*, 35, 700 (1960)
- 6) 田中 明, 山口淳一: 農及園 43, 907 (1968).