(部内限定配布資料)

NO. 04

乾燥地及び半乾燥地における主要作物の栽培技術

——小麦、トウモロコシ、ナツメヤシ編——

(部　内　資　料)

昭和57年3月

国際協力事業団
農林水産計画調査部

農計技
[redacted]
82－36

JICA LIBRARY
1008938[1]

国際協力事業団
受入
月日 '84.8.28
登録No. 14388
000
841
AFT

目　　次

I　小　　麦 …… 1

1. 生育環境 …… 1
2. 生育 …… 6
3. 品種 …… 12
4. 肥培管理 …… 16
5. 病害 …… 45
6. 虫害 …… 48
7. 収量 …… 51
8. 用途 …… 52

II　とうもろこし …… 54

1. 生育環境 …… 54
2. 生育 …… 56
3. 品種 …… 58
4. 肥培管理 …… 60
5. 病害 …… 81
6. 虫害 …… 85
7. 収量 …… 87

III　ナツメヤシ …… 89

1. 性状 …… 89
2. 生育環境 …… 89
3. 品種 …… 90
4. 肥培管理 …… 91
5. 生産量 …… 91
6. 用途 …… 92
7. 資源的価値 …… 92

はしがき

近年，中近東の乾燥地帯の開発や，アフリカサハラ以南の砂漠の南下現象等により乾燥地ないし半乾燥地への世界的関心が高まっている。今後このような地帯に対する我国への協力要請も増加することが予想される。

しかしながら，我国では乾燥地に於ける農業の経験は皆無に等しく，人材，参考資料ともに少ないのが現状である。いうまでもなく乾燥地の農業問題は，単に用水の不足のみならず土壌や灌漑水に含まれる塩基による生育障害や高温など特殊な栽培環境にある。

この度，農林水産計画調査部では，乾燥地に於ける作物栽培技術について，部内参考資料の作成を企画した。ここに載げた作物は乾燥地域で栽培される主要な作物の一部分であり，内容的にも今後さらに情報の積み重ねにより，充実を計る必要があるが，この資料が，今後乾燥地農業に携わる方々の何らかの参考になれば幸いである。

なお，本書の小麦，とうもろこし篇は主にI.ARNON氏の「Crop Production in Dry Regions,Vol2」の第2章"小麦"，第4章"とうもろこし"を参照している。又，本書の作成にあたり，当事業団農林水産計画調査部特別嘱託大田政之，島田輝男，森永繁治，仁部輝彦下条道夫，正崎雄三，富高元徳，草野孝久諸氏に多大なる御協力をいただいた事に対して感謝の意を表したい。

昭和57年3月

国際協力事業団
農林水産計画調査部長
山　崎　隆　可

Ⅰ・小　　麦

1. 生 育 環 境

小麦の理想的生育環境は冬期温暖な半乾燥地域，つまり生育初期にやゝ低温湿潤で，生殖生長期がやゝ高温寡雨なところである。雨期初めの低温湿潤時に播種し，乾期に生殖生長に入ることができる地域は限定される。冬期温暖な気候でも地域や年度によっては浸水や干魃の被害を受け初期生育を阻害することがある。春の降雨量不足は登熟不良を起し，逆の場合は銹病の発生原因となる。また高温で乾燥した東からの熱風シロコは幼穂を枯死させる。

冬期寒冷，夏期多雨の地域における秋～春播き小麦の栄養生長は春のやゝ寒冷な時に行なわれ，生殖生長は湿潤な時に行なわれるので，秋播きは冬枯れ，春播きは栄養生長期間の不足の危険性がある。半乾燥地域の場合，生育未期の１～２週間に降雨があることは稀であるが，作物の水分要求量は蒸散作用が盛んになるので増大する。高収量品種と適切な栽培管理により生産の阻害要因を除くことが可能になる。

＜雨　　量＞

乾燥地・半乾燥地の年降雨量は経済収益をあげるのに必要最低限であり，寡雨地帯では灌漑や小麦－休閑を交互に実施して２年分の雨水を溜めて栽培を行っている。小麦は旱魃に弱く，長期間の水不足に耐えられない。水分不足に対しては細胞を小さくし，稈長，葉面積・気孔の大きさを減少してしまう。細胞液の減少による生育低下や葉面積の減少により蒸散を抑制し，水分の摂取を小さくする。

冬雨区：　オ－ストラリアの小麦は生育期間の降雨量２５０～３７５mm の地域で栽培され，２５０mm 以下の地域で実験的栽培が行なわれている。地中海沿岸では３００mm を最低限として栽培が行なわれる。

夏雨区：　夏の降雨は生殖生長には不適当であり，生育は播種以前の土壌水分量に作用される。年降雨量３７５～５００mm では，生育期８５～９０日間の雨量は１５０～２００mm である。北米のグレ－トプレ－ンでの研究は，小麦は最低１７５～２００mm の雨量を必要とし，２５mm ふえるごとに１３５Kg／ha～２３５Kg／ha の増収が期待できるとしている。Mathews & Brown（１９３８）は水分供給量増加の効果は降雨や灌漑によっても同様であるとしているしまたLehane & Stople（１９６２）は穀物生産には最低１２５mm の降雨が必要であり，２５mm増すごとに２３０～２６０Kg／ha の増収になるとしている。グレ－トプレ－ン南部の小麦栽培は２～４月の降雨量，特に４月の降雨と密接な関係にあり，５月の降雨は生育を左右するものではない。Mathews & Army（１９６０）はグレ－トプレ－ン北部の秋播き小麦

地帯の生育期間中の最適水分供給量を225mm とし，95mmが土壌水分，130mm が降雨からとした。またBrown & Campbell（1966）は3,500kg／ha の生産をあげるためには約375mm が必要であるとしている。表－1はグレートプレーン北部の生育期間前の降雨量と小麦の収量の相関を示している。

	シーズン前降雨量（mm）			
	<100mm	100-149mm	150-199	>199
平均収量（kg／ha）	240	520	670	945
650kg／haの収穫をあげた年度数とその合計※	0/9	8/20	9/17	4/4

※650kg/haは生産コストを相殺するうえに必要な収量である。

表1：北米北部大平原地帯における小麦収量とシーズン前降雨量の関連性
（South Dakota 1923－47），（Pengra，1952）

年間降雨区：　年降雨量317mm，最低150mm，最高475mm の年間を通じて降雨のある乾燥地の冬小麦の収量は，発芽と初期生育時の土壌水分に左右される。Bennettet その他（1954）は春に，雨が多くても秋播き小麦の発芽を促すことはないとしている。またFinnel（1948）は播種時の土壌水分含量が生産を左右する重要な要素であるとしている。Hallsted & Mathews（1936）は，播種時に地表から1m迄土壌水分が充分あれば高収量が見込まれるが，土壌水分が不足していたり，地表面だけ湿っている場合は不作の可能性が大であるとしている。

適度な降雨量：　生育期間中の多雨は表水・播種期の遅れ・硝酸カリの溶解・病害の異常発生・倒伏といった現象を引起し，生産のマイナス要因となる。播種後の多雨は土壌密度を増し，初期生育を阻害する。オーストラリアの過去20年間の統計により，播種直後の月間降雨量が平均より25mm増すごとに550～660kg／ha 収量が減少するとMillington（1961）は述べている。

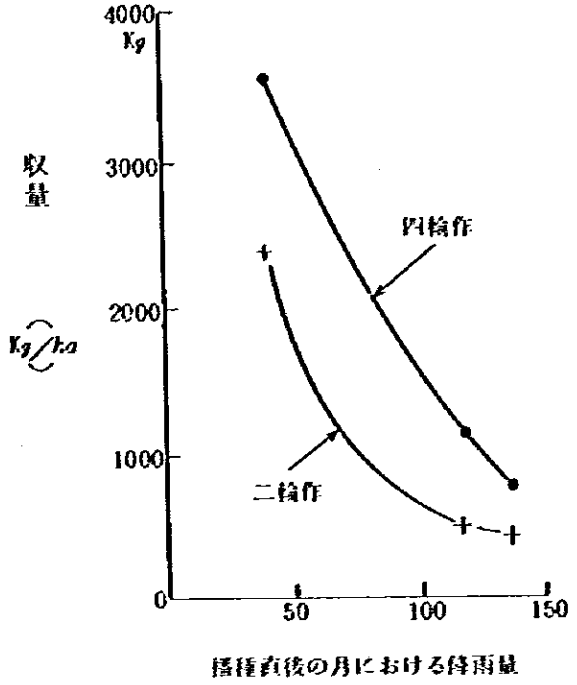


図２：二輪作，休閑～小麦及び四輪作，休閑～小麦～えんどう～牧草における播種直後の月の雨量と収量の関連性。オーストラリア農業調査ジャーナル　Millington (1961)

降雨量分布：

降雨分布は降雨量より重要であり，冬雨区では雨期の到来が遅れると発芽も遅れ，生育期間が短縮するため収量減となる。１２月～２月の降雨量は小麦の水分需要量を上回ってしまうが，降雨と水分需要が均衡すれば根群（Root - Zone)の土壌は湿潤となり，生殖生長期に充分な土壌水分を保持することができる。春の降雨が穀物の栄養生長期と一致する時は収量増に結びつくが，登熟期の降雨は銹病発生の原因となり収量減となる。

冬雨区の降雨量３００～３５０mm は，降雨分布がよければ相当な収穫を期待できる。この期間に平均して降雨がある場合は，雨水の大部分は地中深くに浸透せず蒸散作用により消失してしまうので根群は地表面のみに伸び大した収量は見込めない。一方，栄養生長期の２～３回の強い雨は土壌深く迄浸透し，蒸散量は比較的少ないので，生育遅延があるがかなりの収量が見込まれる。

＜気温と日照時間＞

水と養分以外の生育因子は気温と日長である。感光・感温性により，小麦は三つの種類に分けられる。

冬　型：日長が長くなるにつれ栄養生長期から生殖生長期に移行するため，数週間０～８℃の低温を必要とする。

春　型：生殖生長に低温を必要とせず，短日条件下で栄養生長，長日条件下で生殖生長を行なう。

中間型：冬型と春型の中間型，冬型とは開花と低温の相関がなく，春型とは冬の短日条件下では栄養生長が行なわれない点で異なる。

冬の気温（適地と分布）：

冬期の温度は播種期と品種を左右する。冬温暖で降雨があり夏乾燥する地帯：春型が雨期の初めに播種される。しかし，冬型は気温が高いため播種されない。

冬の寒さがやゝ厳しく，降雨量の少ない地帯：冬型が秋播きされて発芽し，冬期は倒伏したまゝ過し稀に降雪下となる。春期，日長が長くなると再び生育を開始し，夏期に登熟する。

冬の寒さが厳しい地帯：春型が春播きされ，晩夏に登熟する。

小麦の生育最低気温は３～４℃，最適２５℃，最高３０～３２℃である。

冬枯れ（耐寒性）：

冬の寒さに耐える程度は品種によって差があり，これを耐寒性という。耐寒性の強いものは秋播き性程度の高いものに多く，生理的には植物体内の細胞液の濃度の高いものに多いといわれている。初期生育期間中に２～４週間０℃に近い温度条件におかれると，体内に生理的変化が生じ，凍害に対する抵抗性が増す。新葉は通常より暗色味が増して小さくなり，体内水分含有量は減少する。小麦の生長点が土や雪に保護されている間は低温に耐えられるが表土の凍結と解氷がくりかえされると，根組織が破壊され作物が浮上ったりする。根組織の破壊に対する抵抗力は，根の定着力や作物各部の抵抗力に関連があると，Lamb & Grady（１９６３)は述べている。

晩　霜：

冬期温暖な地域でも降霜終期が遅れると凍害を蒙ることがある。早春の天候が不順で，晩霜の危険がある間に麦が成熟して出穂準備のために抵抗力が弱まるので，ひどい寒冷の害を蒙り，折角発育しつゝある穂の生長は止って死に，後に腐敗を起す。

風　害：

高温乾燥した熱風シロコは幼穂を枯死させることもある。登熟期のシロコは種子成熟を阻害し，種子は萎縮して収量減となる。Asana & Williams（１９６５)は２５℃以上の日中温度は収量減に結びつくとしている（図－３）。

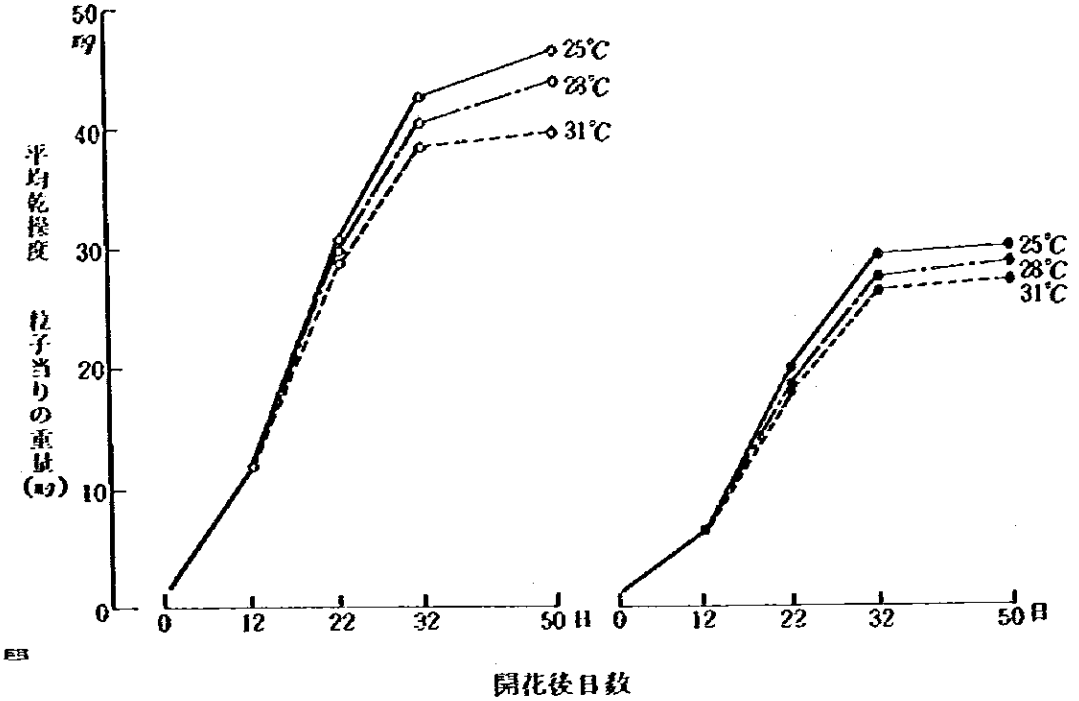


図3：二種類の小麦の種子発育に与える気温ストレス
「オーストラリア農業調査ジャデナル」
Asana & Williams（1965）。

Salmon（1941）は，シロコの時の気温上昇は常に致命的状態に至る訳ではなく，体内水分のアンバランスが主な加害要因であるとしている。

＜土　壌＞

小麦は半乾燥地帯の砂質土から粘質土に至る広汎な土壌で栽培されているが，主な生産地はChernozem·Chestnut，Red-Chestnutといった土壌地帯である。耕土が深く排水良好な砂壌土，壌土，埴壌土が最適である。一方最適土壌水分下では土壌構造が密な方が粗であるより収量が高いのは粘土含量が多いので保水力が大きいためである。粘土は粒子が細かいために自然土孔の孔隙も多く，また表面に水を吸着する性質が強く蒸散を抑制し作物に対する有効水分が生育後期まで残存するためである。生育初期の雨量が不足すると埴土で栽培される小麦は壌土より短稈で分けつが少なくなる一方穀粒重の植物体乾物重に対する比率は高まり，収量も多くなるとLehane & Staple（1962）は述べている。また，蒸散が多い年は壌土・砂壌土より収量面で埴土が優り，逆の場合は壌土・砂壌土が優る（Lehane & Staple，1962）。

2. 生　　育

＜発　芽　前＞

穀物種子の休眠ははとんどないといってよく，収穫後の乾燥で後熟は充分行なわれる。小麦や大麦は種子量の４０～５０％の水分を吸収した時に発芽を始める。最適発芽温度は２０～２２℃でそれ以下では発芽勢は衰え，４℃以下では発芽しない。また２２℃以上では発芽は不揃いとなり，病原菌に侵されやすくなる。

乾燥地では土壌中に全く水分の無い時に播種されることが多いが，発芽力は長い間保持される。播種後の雨量が発芽には充分であるが２～３日で蒸散してしまう場合，発芽は止まり植物体は脱水してしまう。発芽中の小麦や大麦の種子は，生育がある段階をすぎていれば脱水に対する耐性を持っている。

Milthorpe（１９５０）は小麦の旱魃の害を三つに分けて述べている。

(1) 発芽した幼芽は長さ３～４㎝までは旱害を受けない。また脱水した幼芽は水分の供給があれば生育を回復し健全なものと同様に生育する。

(2) 初生葉形成迄は幼植物体は９８％水分を失っても伸長中の根のみが死滅する。初生根の分裂組織の細胞分裂が行なわれている限り旱害からの回復は可能で，初生葉は新しい根が機能し始めると生長を再開する。

(3) 初生葉が急速に生長する時期を過ぎると，わずかな水分損失は生育速度に致命的な影響を与える。

分裂組織の細胞は旱魃に強いが，伸長する部分の細胞は原形質に物理的に加害されると死滅し回復不能となる。ロシアの研究者Genkel & Henkel（１９６２）は播種前の種子の水浸漬と乾燥を数回繰返えすhardeningによって耐旱・耐暑・耐霜性が増し，旱魃下でも良い収量を見込まれるとした。これは水分供給が限られている時にきわめて重要な処置と云えるが，西側の研究者達によって未だ追認されていない（Waisel，１９６２）。

＜発　　芽＞

深く播種すると，発芽は遅れる。種の深さと関係なく最初の節や根は地表近くで伸長する。乾燥地で深く播種するのは，浅く播種してわずかの降雨で発芽するがその後，枯死してしまうのを防ぐためである。また灌漑地でも発芽直後の地表面の乾燥と再度の灌水を避けるためかなり深く播種する。しかしあまり深く播くと光合成が行なわれる前に水分を失い，幼植物の生育や活着率が減退する。栄養生長期は幼芽の発現から止葉の展開まで続く。

＜栄　養　生　長＞

栄養生長期は主に葉と分けつの生育が盛んである。（図－4）。

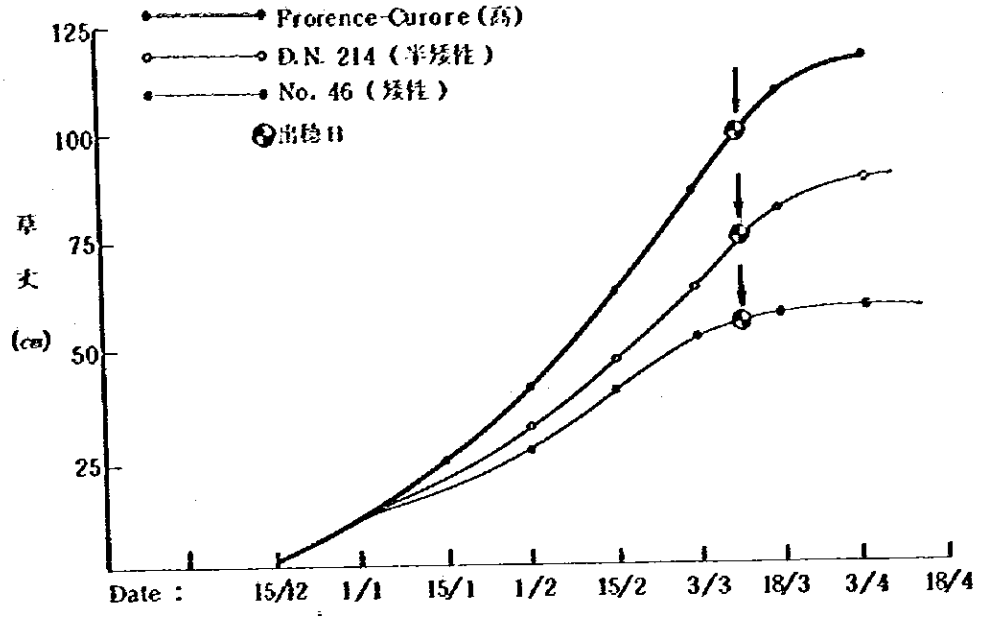


図4：地中海気候下における3種の冬播き小麦の成長曲線。
Ephrat et al (1965)。

分けつの出現

分けつは播種後30－40日経って初めて出現し，急速にその数を増し，40－50日後にピークに達するが栽培条件が良好であれば出穂までつづく。

すべての分けつが開花期迄，生育するわけではなく，あるものは出穂前に枯死し，特に茎の上部節にできたものは発育不全の穂をつけ結実しない。（Friend, 1965）。

分けつ数は遺伝子と環境条件に左右される。深く播くと発芽種子が地表に出る前に貯蔵養分を消耗し，植物体を弱体化するので分けつ数が減る。

恵まれた気温，充分な水分，多量の窒素肥用で浅く播くと分けつの数を増す。

栽培環境と播種密度が適当であれば100ないしはそれ以上の分けつをつくることができる。但し，圃場では，種子が厚播され，個々の苗木は1～3の分けつしか作らない。

一般に，早期に形成された分けつは後期のものに比較して強い生命力を持ち，穂も大きいものを作る（Bunting & Drennan, 1966）。

花芽形成

花芽形成は頂部生長点が花穂塊に変わり，苞と花芽が葉と補助茎に代って作られると始まる。

花芽形成前に重大な水分ストレスや栄養不足が生じれば，穎花数が減る。

逆に，この期間に好条件に恵まれると，花軸上に余部の茎節を作る。

これらの茎節はその生長段階における条件によっては，結実穂にも成長することができる（Single，1964）。

茎の伸長から出穂

花芽形成の後，分けつの発生は止り，茎は急速に伸長する。

最下部の節間が最初に伸び，やがて二番目の節間が伸長を始め，すぐに一番目の節間長と同じ長さになる。三番目の節間は多少遅れ，四番目は最初の二つが生長をやめて後に伸びる。

発育中の穂は最上葉葉鞘の中で上方へ押される。各節間の生長は下方より始まるが，その理由は上部はすでに固くて暗緑色であるのに，下部は柔らかく明るい色をしているからである。

茎の各部と個々の植物の数ケの分けつの同時成長には相当量の水分と養分を必要とし，それは穂の出現と共にピークに達する。

気温と栄養の条件が悪いとき，または過度の水分ストレスの場合には，沢山の茎になる穂の発育は完全に停止し，生残った穂でさえ大部分の穎花は退化する。

窒素肥料の追肥のタイミングは大切で，過剰追肥は早い時期に分けつ過多と栄養生長を作り出し，もしこの時期に水稲給が不充分であれば危険性は大である。

逆に，この時期に窒素が不足すれば，穂の正常な発育は阻害され，土壌水分を有効に使用する力を失ってしまう。

＜開　　花＞

受粉と出穂：

生殖穂胞の成熟は出穂直前に起こる。受粉は閉ざされた小花の中で起こり，穂がまだ止め葉（ブ－ツ）のさやの中に閉じこめられているときに始まる。

従って，自花受粉が一般的である。

受粉後まもなく，穂は止葉から現われる。乾燥温暖な気候の中で出穂後に起こる他家授粉はわずか全体の１％以下である。

しかし，この数字は大きな生物学的意味を持ち，限られた規模にせよ，本質的に自花受粉植物であるものに種の変異の継続を保証する。

一穂の受粉は約６日間で完了し，すべての穂は１０日後に受粉を終える。

この期間の穂は低温，過熱，水分ストレスに極端に弱い。

出穂の時期は主に遺伝的特性によって決まるが，環境要因にも影響される。

以下に述べるように，光合成の生産に積極的な役割りを果たすのは止葉が出たあとである。根の生長は穂形成時にゆるやかになるか，完全に停止する（Strebeyko et al.，1963)。

穀粒の充実と成熟

受粉後，同化物は急速に発育中の穀粒に移る。しかし，出穂前の光合成活動は潜在生産能力を決定することにより穀物生産に間接的に影響する（Thorne，1965)。

例えば

(a) 一穂粒数は出穂前に決定される。

(b) この時期に出穂後に光合成活動をする葉面積も決定される。

栄養生長期の活発な葉生長の間接的影響は，本葉数枚時までの葉にできる黄銹病が収穫量を著しく減少させる事実によって示される（Davidson，1965)。

下位の葉は一般に老いて，穀粒の成熟後期は活動しない。茎中の養分含量は低レベルで，このため，小穂状花への寄与は小さい。

穀粒の中の乾燥物質の大部分は開花後の同化作用によって生産される。このため，潜在生産性の予測は出穂後もなお緑部を失わない植物部分すなわち，穂を含む止葉茎節上のサイズ生育期間及び光合成活動に大きく左右される（Bunting & Prennan，1966)。

温帯と半乾燥との品種には収量差が生じる。穂の相対的寄与は乾燥または半乾燥の状態の中では最も大きい。

Asana & Saini（1958)によれば，これは葉の早い老化によるという。一方，Davidson（1965)は，出穂後の活動葉の面積が収量に及ぼす若干の影響はオ－ストラリア品種が半乾燥条件下で作られるべく選ばれたためだとしている。

受粉後２～３週間，急速に生長する穀粒はまだ緑で，白く濃い液が充満している。

この段階（乳熟期）の終りに，胚芽は完全に発育し生理的成熟をとげ，適切な条件を与えれば発芽が可能となる。次の２～４週間，茎と上部葉から穀粒への光合成物質の移動速度は増加をつづけ，下葉は枯死する。

穀粒は一様に生長した後，水分を失ない始め，水分含量が２５～３０％に減ると一般にいう“糊熟”期に入る。

名前の通り，穀粒の中味はもはや液状ではないが，澱粉質が増加したため糊の固さを持っている。

植物の上部はしばらく同化と子実へ光合成物質を移転しつづけるが，次第に枯れてゆく。根は活動停止し，水分の吸収はとまり，低部の節間は黄色に変色し枯死する。完全に成熟すると穀粒は固さを増し，もう指では割れなくなり，水分は１４－１６％に減少する。乾燥の結果，穀粒は小さくなり，頴苞の中でゆるく維持される。

穀粒の成熟中は茎葉部分と根から穂に向けて窒素の大量移転がある（Williams，1955）。高温や水分不足といった成熟を早める環境因子は，植物器官から穀粒への光合成物質移動期間が短いために，しほんだ穀粒をつくることになる。こうした穀粒は多量の窒素と少量の澱粉を含んでいる（Shutt & Hamilton，1934：Shollenberger et al.，1949）。

インドにおける圃場観察では平均最高／最低温度が約２５／１２℃のとき穀物の発育に最良で，この温度が穀粒の充満期に維持されたものは灌漑を用いない栽培方法でも生育良好であることが判明した。

これより高温では，穀粒の重量増加は穀粒の呼吸作用の増加（Asana & Williams，1965）と多分穂の早すぎる黄色化と穀粒発育の停止の結果抑制されることになる。

＜根　の　発　育＞

冬麦の根の発育は中央ネブラスカで研究された。１１月，播種８週間後の根の発育は，地上部の植物体は小さくても，すでに広範囲にわたっていた。根の発育は，土壌が湿っていれば，１ｍ以上の深さにも延びた。

４月，春の生長再開時の生活根は湿度の高い地域に限られた。一次根組織は機能をやめた。

６月の収穫４週間前の根は，湿度状態の良い場所では深さ４ｍに達した（Kmoch et.，1957）。

＜倒　　伏＞

生育過多の原因，たとえば，良好な土壌水分摂取に多量の窒素供給が加われば倒伏の原因となるし，過繁茂は低部の節間に対する光をさえぎり，茎を細長いひ弱なものにしてしまう。

大農法，暴風や根腐れ病も倒伏を引起こす。

生育初期の倒伏は厚播きをさけ，早期の窒素肥料を控えれば回避することができるが，この方法は雨の少ない所では好ましくない。

倒伏が生育初期に現われれば，羊や牛を放牧することにより，被害を軽減することができる。出穂前の倒伏は収穫にわずかしか影響しない。つまり，植物生長が重大影響を受ける前に倒伏が回復する。倒伏が出穂直前に起こることは，受粉が不完全になる。出穂後のものは正常な穀粒の形成と成熟を妨げる。それは上葉から穀粒への同化物質の移動が適切でないからである。

成熟まぎわに起こる倒伏は大豊作（Heavy yield）のためであり，収穫をより困難にすることである。

過敏期（susceptible stages）の倒伏は，収穫困難による穀粒ロスとは無関係に生産量，テスト重量，穀粒重量を大きく減ずる。

出穂時の倒伏による最も大きな損害は，次のようなものがある。

倒伏が生じる時期	減収率 %
出穂期	31
乳熟期	25
糊熟期	20
完熟期	12

表－2：倒伏時期が生産に及ぼす影響

倒伏妨止と減少に関する耕種的対策として遅播き，薄播き，適度の窒素施用などがある。しかし，倒伏の根本的理由は，小麦や他の小穀粒作物の茎が重味のある穂を支えるのに充分な形に立っている力が不足しているためである。従って，これまで，あるレベル以上に収量を引上げようとする努力は予想に反する結果を招き，倒伏を助長した。

最近数年，問題解決のための二つの大きな進展は生長調整剤と耐倒伏性の矮性・半矮性小麦の育種である（24ページ6を参照）。

＜生長調整剤＞

近年，ある種の生長調整剤によって小麦の生長調整方法が著しく進歩した。この中で最も研究されたのは，CCCと呼ばれるTrimethylammonium chloride (2-chloroethyl) である。

CCCの効果

CCC処理による主な組織上の変化は細胞壁の厚味が増したこと，茎内の維管束の数が多くなったこと（Mary & Presoly, 1963），節間伸長が抑制されたことである。その結果小麦に与えるCCCの一番の効果は穂物の茎が強化と短縮で，これにより倒伏とその生産に及ぼす悪影響が解消される。また，処理苗は許容量より高い窒素肥料に良く反応するようになる。葉は一般に影響を受けない。

そのほか，CCCの効果については次のような報告がある。

根の生長を助け，耐旱性が増す。Humphries al.（1967）による実験によれば，CCCは小麦の灌漑栽培にはそれほど大きな効果はないが，それでも非灌漑地より750Kg/haの増産を示した。

処理苗は未処理苗より，出穂時の乾燥時に枝梗を失うことが少ないようで，このため収穫も多い。

CCCは小麦の細胞をより小型化し，細胞質の密度をより引上げるために，処理苗の耐旱

性が養われるのであろう（Appleby et al，1966）。

Damaty et al.，(1965)はＣＣＣが旱害を受けても生産量を上げ，未処理のもの以上に水を経済的に使用することを発見した。

また，予備実験では，生長期の長期間の降雨量不足により萎凋した小麦を生長調整剤CCCで処理すると長雨により良く反応し，B995（Plaut & Heary，1966）とＣＣＣが耐塩性と樹液の浸透圧を向上させることが判明した（Damaty et al.，1964）。

ＣＣＣの0.5％溶液に１４時間浸漬した小麦種子を乾燥して播種すると，過度の塩害をはねのけることがわかった（Miyamoto，1962）。

収量構成要素に与える効果。

ＣＣＣ処理は収量を４０％アップし，対照区（未処理栽培）で倒伏が生じなかった場合は５～１６％の増加しかみられなかった（Pinthus et al，1966）。

ＣＣＣはあらゆる収量構成要素に影響し，単位面積当りの枝梗数を増し，一穂当りの粒子生産を高める（Pinthus & Halevy，1965；Humphries et al.，1967）。

マイナス効果

同時に多くのマイナス効果も発見された。たとえば，稍葉の長さを短かくし，深く播種した場合には，発芽を悪くする（Appleby et al.，1966）。

また，約7日成熟が長びく（Humphries，1968）。

使　用　方　法

ＣＣＣは種子にも生長中の作物にも使用することができる。

前者は散布方法が経済的且つ簡便である。種子を４時間0.5％のＣＣＣに漬けるか。２５％のＣＣＣとタルクを混合し，軽く全体的に混らしてもよい。

ＣＣＣを作物に使用する際の適時は，分けつが生じた直後の５葉鞘の頃であり，雑草駆除のための除草剤と混用することもできる（Humphries，1968）。

使用量は春麦：0.8Kg/ha，冬麦：1.7Kg/ha であり，散布しすぎると収量減退を招く。

3. 品　　種

何千という小麦の品種が世界の乾燥地で栽培され，新しい品種も次々と導入されている。

品種の区分基準は多様である。

ソ連では，Kornicke（cf Kornicke & Werner，1885）により初めて採用された方式に基づいて，成熟した穂と子実（頴苞の色と毛茸，芒の有無，及び芒の色と子実の色）の形態学的特徴に従って分類をされている。

＜小麦の種類＞

米国内及び世界の取引の場での小麦は穀粒の色と固さ，春播きものか冬播きもの一春，冬のタイプには無関係－に基づいて仕分けされ，指定されている（Reita & Briggle，1960）。

以下は主な六つの種類である。

－Hard red winter wheat（かたくて赤い冬小麦）

－Hard red spring wheat（かたくて赤い春小麦）

－Soft red winter Wheat（やわらかくて赤い冬小麦）

－White wheat（白い小麦）

－Durum wheat（マカロニ小麦）

－Red durum wheat（赤マカロニ小麦）

これらの中でも特に代表的なhard red winter wheatは，小麦の生長にそれほど厳しくない冬を持つ米国の乾燥地で栽培され，小麦粉の品質がよい。

hard red spring wheatは，冬が厳しすぎて冬枯れが起こる場所で栽培される。

春播き小麦は秋播きのように冬に貯えられた土壌水分を効果的に利用しない。それは，その根系がそれほど広くなく，生長の大半が暖い期間中に起こるからである。

これら二つの種類は最高品質の小麦で，堅いガラス質の粒子，高い蛋白度，強度なグルテン質と焼きパンのかたさを保有している。

soft red winter wheatは，多湿の地域に育ち，ここでは直接関係はない。

soft white winter wheat（やわらかくて白い冬小麦）（T.compactumとT. aestivum）は雨量が300～350㎜の地域で育つ。

粉はお菓子やクッキー（ビスケット）に向いている。

マカロニ小麦はhard red spring wheatよりやや乾燥した場所といったごく限られた地区で育ち，パン用小麦とは特性の点でいろいろと異なっている。

たとえば，茎は一般に長くてそまつな芒を持ち，穂の近くで節が多くなる。さらに，穀粒は通常長く，するどく，角ばっていて，ブラシが短い。極度にかたく，半透明で，琥珀色をした白麦タイプである（Matheson，1959）。

＜在来品種と改良品種＞

原始的な農耕を用いているすべての小麦栽培地域では，累係的自然淘汰と意識的選択の両方から生じた数多くの品種が見られる。それらは一般にかたく特種な環境条件には良く適応するが，近代的栽培法にはあまり良く反応を示さない。このため，度々他地域から導入された改良品種を使い，新技術により収量増加をはかることがまず第一の必要条件である。

乾燥及び半乾燥地域の伝統的小麦生産における在来品種の大部分はマカロニ小麦タイプで，栽培法の近代化により，大部分がaestivum型がそれに取って替わった。(プレート1（a）に例証)

<矮性・半矮性小麦>

最近の小麦改良に関する最も劇的な出来事は，高収量の矮性小麦育種の成功である。過去における小麦のための土壌改善は，見方によっては，自己破壊であった。あるレベルの肥沃度を越えると，全部の生産力のある品種がひどく倒伏した。このことは収穫作業を困難にしたのみならず，倒伏した穀粒が正常に成熟しないため，収量減少を引起こした。このため，育種者は過去一世紀，近代的栽培技術で生産可能な重量穂を支える強い主稈を持つ品種の開発に努力を重ねてきた。しかしながら，耐倒伏性は茎の径や長さ，組織の力，根組織の性質と広がり方，植物の高さと葉数，穂の重量，こうしたファクターの相互作用という複雑な因果関係にあった。

たとえば，短稈種は一般に根の発育が貧弱なため，根つきが悪く，また茎の長いものは広い根組織を持っているが組織の力が不足している。

含まれる遺伝学的ファクターが複雑なため，倒伏に強い小麦の育種はごく最近までわずかな進展しかみせていなかった。この難題に初めて突破口を開いたのは日本人の育種者達であった。彼等は肥沃な田んぼで米との輪作で栽培できる品種を必要とした。彼等は多くの国で育種計画には必ず導入された「農林」と呼ばれる系統を作りあげた。半矮性品種は一般品種より35～50％短い。短茎は節間の長さの短縮からきている。半矮性種の粒子重量に対する茎重量は1.5で，ちなみに標準種では2.5であった。芒を含む穂は植物の背丈の$\frac{1}{3}$を占めることも少なくない。半矮性種における芒性は標準ものより高く，ほとんどが芒をつけた（Vogel et al.,1963)。

「農林」系統を用いた育種活動はなお続けられ，メキシコ・シナロア州・CIANO（東北農事研究所）で改良され，ここから矮性と半矮性小麦は乾燥，半乾燥地域の多くの国へ導入され，灌漑や天水条件下で栽培されている。（参照：プレート1(b))。パン用小麦（T.aestivum)の研究のほかに，メキシコではN.E.Borlaug 他によって六倍体のマカロニ小麦から四倍体へ矮性遺伝子を移植した（T.durum）（Anon,1960)

半矮性種の利用はメキシコの国内平均収量を100kg/ha 高めた。農民へ配布後四年以内に，これらの品種はメキシコの小麦生産地の95％以上に普及した。矮性と半矮性品種群は多くのタイプを持ち，特に耐旱性が強い。

イスラエルのNegev での灌漑試験では半矮性品種N46 の水分蒸散量はイスラエルで一般的な高茎品種Florence×Aurore 8193と，各種土壌水分状態の下で同じであったという。

試験では，半矮性品種が無灌漑でも，表３で示されるように灌漑率を変化させてみても普通のものより収量が高かった。

水を１㎜補給する度に普通品種は１４Kg/ha 収量増加であったが，半矮性は２４Kg/ha であった。

処　　理	追加水量 (mm)	半矮性 (N.46)	普通 (Florence ×Aurore 8193)
無　灌　漑		3,590 kg/ha	2,000 kg/ha
早期灌漑（11月）	150	4,730	3,290
晩期灌漑（４月）	120	4,240	3,410
早期・晩期灌漑	240	4,980	3,710

表－３：半矮性と普通品種の収量（雨量300mm）（Shimshi, 1967）

上記試験中で観察された興味深い事実は半矮性品種の気孔が日中開放されたままなのに対し，長稈品種は気孔の開放は朝方の数時間に限られ，良好な土壌水分と蒸散条件下でもそれ以後は閉じたままであったことである（Shimshi, 1967）。

オーストラリアでの乾燥地で輸入された二品種（Mexico 120とChile 113）はいずれも同国の小麦ベルトの環境に順応し，国内で育種された最良の商業品種と同等の生産量を示したのは輸入品種としてはきわめて珍らしい。メキシコ120の芒を含む穂の丈はたびたび植物全長の$\frac{1}{3}$にも達した（Pugsley, 1964）。

イスラエルでは，異なる雨量地帯での最適半矮性品種と最適普通種の収量比較では前者が後者を５０～７０％しのいだ。天水下で6,000Kg/ha以上の生産があった。半　性種は一般的な黒銹病に強く，多くは黄，茶といった銹病にも強かった。しかし，半　性品種のほとんどはSeptoriaに弱く，品質も普通のものに劣った（Ephrat et al., 1965）。

米国における最初の半矮性種は１９６１年に発表された。Gainesと呼ばれたこの品種は大平洋西海岸の肥沃地の非灌漑と灌漑地区で，それぞれ9,000と10,600Kg/ha の生産記録を示した（Anon, 1961：Vogel et al., 1963）。

Gainesは，普通品種よりも発芽が遅く，わずかに発芽力が弱かった。従って，潜在収量を得るためには注意深い管理が必要である（Anon, 1961）。

テキサスでは，灌漑条件下と年間雨量が８７５㎜以上の場所で半　性品種が在来種を上回る収量をあげた。

なお，５００～６２５㎜の雨量の乾燥地では普通品種と同等かそれ以下の収量であった。

半矮性系統は畝幅と播種率に関しても定着した品種と同じ反応をしめしたが，窒素の施肥量についてはより大きい生産反応をみせた。植物の全長と品質特性の因果関係は判らな

かった（Porter et al., 1964）。

ユタでの三年の研究では，灌漑下で育てられた硬くて赤い三種の半矮性春小麦は生長初期に窒素を施用した結果，同じく三種の硬くて赤い普通の春小麦より施用分だけ多い収量をあげた。

収量増加はより多くの初期分けつを作ったからであった。両方に窒素肥料を施用した場合，半矮性小麦から得る収益は普通のもののほぼ二倍になった（プレート2）。燐肥を加えてもとりたてた効果はなかった（Woodward, 1966）。

＜ハイブリッド小麦＞

正常な葯と花粉は特性染色体遺伝子間と細胞質のある要素間の調和とバランスに左右される。ある小麦には正常な葯と花粉が作られることを妨害する"非染色体遺伝子"の突然変異が細胞質の中に現われることがある。しかし，植物はもし強力な繁殖力回復遺伝子が細胞核の中にあれば立派に花粉を作るだろう。交配と戻し交配によって，二つの構成要素を分離することが可能である。回復遺伝子を持っていない系統に雄性不稔誘発細胞質を与えれば，雄性だけの系統を作りだすことが可能である。繁殖回復遺伝子を商業品種に与えれば，強力な雄性遺伝が受継がれる。

T.timopheevi-Soviet Georgia とアメリカの半野生，半栽培小麦は雄性不稔の材料として目下利用されている。この品種の細胞質の欠陥的突然変異因子は二つの強力な繁殖回復遺伝子により抑えられている（Rodriguez et al., 1966）。

メキシコCIANO のハイブリッド小麦育種計画では，7,500kg/ha－最高の生産力を持つ白花受粉品種より50％近く多い量－を越える優良種が作り出された（Rodriguez et al., 1966）。

雄性不稔を利用すれば，生産上に及ぼす雑種強勢の一般的影響のほかに，一つの系統の中に特異な複数特性を－たとえそれらが支配的あるいは不完全に支配的であっても－同時に保有することが可能である（Wilson & Ross, 1961）。

銹病の発生に対して抵抗力を高めるためには，究極的には，それぞれが農耕上と品質上の特性の一つの表現型を持ち，且つ多数の遺伝子的要因から生じる病気に対する抵抗力を持った多系統のハイブリッドを開発することである。ハイブリッド小麦の主な問題は受粉を起こす風である。小麦は多産な花粉を作らないし，交配受粉にも向かない（Shebeski 1965）。

4. 肥 培 管 理

冬 雨 区

近東地域の土地が何千年もの間，あますところなく作物生産に利用されてきた場所では，

肥沃度はきわめて低く，利用できる肥料は放牧された家畜が落すふんでしかなかった。こうしたわずかな増加に反して，切り株はそのまゝ地面に放置されている。しかし，収量は減らず，非常に低い500～700kg/haといったレベルで比較的安定している。

Essafi（1964）はチュニジアで行われている小麦一休作の標準的二年輪作による腐植土の年間ロスは約1.5%であると発表している。

有機肥料や緑肥の供給源がないのであれば，ヘクタール当り収量は5,000kg として，作物残渣を充分に確保して，非常に低い有機肥料の現状維持をすることが必要であろう。

低生産が充分な作物残渣をもたらさなければ，悪循環が繰返され土壌肥沃度は減少して低生産性はいっこうに改まらない。こうした状況下の生産性向上の試みの中で，充分な降雨のある地域で土壌肥沃度を高める最も有効な方法は豆科植物と輪作を行うことだということが判った。オーストラリアでは家畜の放牧用，イスラエルではサイレージ乾草用に利用されている（Arnon, 1965)。

米国の冬雨区においては，休耕は普通で作物は夏雨区よりも少なくない降雨条件で栽培されている。375mm 以上降雨がある地区では夏期休耕は減少し，代わりにえんどうなどの作物が植えられ，小麦の連作にとって充分な降雨がある時でも肥料が使用されるようになっている。

中緯度の夏雨区

天然の肥沃度があり適切な降雨のある土壌では一般的に小麦を連作し，雑草がひどくなった時に一年休耕する。年間350～375mm 以下の降雨量不足の地域では，休耕は欠かせないものとされている。緑肥用作物は少なくとも年降雨量450～500mm の地域で経済的に栽培可能で375mm 以下では効果が無いことが判明した（Army & Hide, 1959)。

夏雨と冬雨地域の根本的相異

表－4の数値は輪作形態を変えた場合の夏雨と冬雨の間に見られる効果を示している。

収量 (kg/ha)	休作地栽培			連続栽培		
	夏雨		冬雨	夏雨		冬雨
平均雨量	436mm	550	388	436	550	388
＜ 325	15	17	0	44	33	0
＜1,300	61	36	0	88	62	100
＞1,300	39	64	100	12	38	0
＞2,600	5	12	83	0	5	0

表－4：夏雨と冬雨区における雨量別小麦収量の相対的頻度（Mathews，1951）

凶作と低生産性は平均年降雨量550mm の夏雨区での方が400mm 以下の冬雨区よりもはるかに多い。またいかなる条件でも連作の生産性は一般的に低い。休耕する場合の減収率は夏雨区では連作に比べてわずか$\frac{1}{2}$～$\frac{1}{3}$でしかなかった。冬雨区の休耕体系では1,300Kg/haを越えたが連作では1,300Kg/haを割った。2,600Kg/haを越える収穫は連作からはほとんど得られなかった（Maihews，1951）。

灌漑輪作

小麦が古くから主要な作物である灌漑地域，あるいは灌漑導入後も引続き小麦栽培を行っている地域は輪作がごく一般的である。その理由は，水の管理供給により可能となる高度な換金作物栽培に必要な進歩した生産技術を採用するには農業技術があまりにも低すぎるからである。

乾燥地における近代的集約農業の灌漑作付順序では，小麦は連作に入れる最後の作物である。この場合，小麦はその他の主要輪作作物の根の病気を回避する機能を持っている。穀物は土壌を充分に乾燥させ，収穫後の深耕の一つの準備となる。土壌は土塊のまま数ケ月間日光光線にさらされ，その間にしつこい雑草の地下茎は死滅する（巻1）参照）。

土塊は最初の雨で砕かれ通気性のある土壌の優れた耕地となる。

混作

インドでは混作が広く実施されている。Punjabでは小麦の60％が混作である。小麦

と混作されるものには大麦，ひよこ豆，亜麻仁，とうがらしがある。肥料が使用されない窒素を欠く土壌での小麦－豆科の混作は一つの利点かもしれないが，Uttar Pradesh 試験所は小麦とひよこ豆の混作はこれらを別々に輪作する場合より収益が低いと指摘している（Pal，1966）。

小麦に対する前作物の影響

比較的雨量の多い夏雨区（年間平均降雨量約600mm）では，休耕は小麦に続く作物の収穫量を約$\frac{1}{3}$ほど増加させる。

ソルガムの後の小麦作は良く管理された連作よりも収穫が少ない。

小麦はとうもろこしやささげの後では良いが，これらの作物は半乾燥地域の灌漑のない場所では良く育たない。綿花後の小麦はソルガムやとうもろこしの中間である。

緑肥作物は休耕後のこうした作物の収量を引上げる点では効果はなかった（Locke & Mathews，1953）。

冬雨区の消耗した土壌では，豆科をサイレージ，干草・青草用に刈取ったり，家畜を放牧したり，あるいは緑肥とした後に作った小麦が最も高い生産量を示した。このほかの小麦の前作物としてよいものはごまとひょうたん（水瓜と甘味メロン）である。

穀類，ソルガム，大麦，小麦にとって豆は前作物として不適当である。

表－5はキプロス島における前作物の小麦に及ぼす影響を示している。このデータに示される低生産性は地中海地域の大部分で行われている原始的農耕の特徴である。

leaves

輪作	5カ年平均収量（kg/ha）
小麦連作	190
休閑	480
緑肥	720
豆	260

表－5：キプロス島，雨量300～375mmにおける前作物の小麦収量に与える影響（Littlejohn，1956）

＜耕作と苗床の準備＞

苗床準備の時期と方法は各地域でまちまちであり，伝統農法と機械化レベル，冬雨または夏雨，冬麦または春麦，作付順序などによるからである。冬雨区の土壌は夏の終わりには通常乾燥していてかたい。伝統的農法を行っているところでは苗床準備と播種は雨が土を25～40cmの深さまでやわらかくした後でのみ可能となる。時間的制約があり播種期を逸すると

生産減少は避けられない。

牛，ろば，馬，らくだなどの家畜に軽い在来の鋤をつけ耕起する。鋤は耕作の過程で使用する唯一の農耕具である。

条播きできる幅で線状の畝が作られ，種を播いて土を盛る。もっと乾燥した地域では原始的な点播が行われる。種子をまばらに播き，土盛りは約３５㎝離れた狭い幅に種子を集めるようにして行うのである。

近代的農場での苗床準備の方法は主に小麦の前作物に依存する。

大型機械を所有する生産者は乾いた土を夏から秋に鋤返すことができる。あまり耕しすぎると土は砕けて細くなり，保水力を失い，侵食の危険が増し，最初の雨で表面が固くなってしまい，発芽を大いに妨げる。最初の降雨後に湿った土を鋤返すことは，夏の場合と比較して，小麦の生産にとって好ましいとはいえない。なんらかの効果があるとすれば，それは鋤返しの差にあるのではなく，整地の遅れから生じる播種期のずれによるものと考えられる。

干草用の豆科作物を栽培した畑は刈取後すぐ鋤返され，播種に先立って一ないし二度耕起される。

条播したソルガムのような作物の栽培後は，一回の軽い耕起で充分である。休耕後には，播種前にツ－ルバ－を使用するカルチベ－タ－による耕起が一般的である。

条播機（ｓｅｅｄ－ｄｒｉｌｌ）はディスクハロ－や耕耘機に取付けることができ，整地と播種は一度の作業ですむ。

米国，カナダ，ソ連の半乾燥夏雨区で行なわれている近代的な小麦の整地作業の主な目的はできるだけ有効に水分を保持することである。

地表にほこりのおおいを維持することをねらったドライ・ファ－ミング方式と呼ばれる方法の失敗と最近開発された代替方式〝切り株おおい農作〟は章Ｘ川，巻１に記述されている。

要約すれば，これらの地域の小麦の整地準備は雑草処理，効果的な土壌水分保持，及び早くて斉一な発芽を約束するしっかりした播種床作りを目標にしている。

これらの目的を達成するには，すき返しは最低限にとどめ，特に土壌の行過ぎた粉砕はできるかぎりさけるべきである。

カンサスで行われた耕起深度の研究では，１８㎝より深い耕起は，小麦にとって経済的に無意味であることが立証された（Heyne et al.，１９６４）。

３５～４５㎝まで下層土を耕起することは小麦の生産量を増すことにはならない。

整地は，充分播種に先がけて行われるべきである。初めの整地作業は通常Duck-foot cultivator，chisel，片道ディスクプラウで行われる。これによって土壌は土塊状態になり，ほとんどの作物の残渣は地表に出され，従って侵食を防ぐ助けになる。

播種直前まで切り株を鋤返さないでいると，夏期の雨が無駄に流亡してしまい，生育初期

がひ弱になり，著しい収量低下の原因となる。従って，収穫後早目に耕起し，播種までに除草することが，土壌水分の最大限の保持につながる（Locke & Mathews，1953）。

また早目の耕起は，植物にできるだけ多量の硝酸カリを供給する点で効果がある。

わらと切り株の焼却

わらと切り株の焼却は，主として整地の妨害にならずに根株で越冬をする病害防除のためにしばしば実行される。

数世紀にわたり有機物が堆積しごく最近耕作が始められたような土地では，わらや株の焼却は非常に適切な方法で多少ではあるが収穫の増産につながる。

夏雨区においては，37年間経って切り株の焼却がわずかな生産減少を見せ始めた（Bennett et al.，1954）。

同じような結果が冬雨区でもあった。オレゴン（平均雨量400mm）では，土壌の有機物と窒素は，小麦～休作の輪作が行われた34年間にわらを焼却した時は続いて減少する傾向を示し同時に小麦の生産が減少した。しかし，放置されたわらに窒素が加えられなかったときは焼却された場合ほど土壌の有機物と窒素の保持に影響を与えなかった。窒素を施用しなかったわらは分解作用が進行する中で完全に消滅したようであった。これとは逆に，ある種の窒素肥料が耕起前にわらに加えられると，窒素保持力が向上し，小麦の収穫が増えた（Oveson1966）。

こうした結果から，窒素施用量は放置される作物の残滓の量によって調整されなければならないことがわかる。

<肥　料>

乾燥地域においては，水分と養分の供給が小麦の生産を左右する主要素である。養分は予想される水分にバランス良く供給されなければならない。土壌水分は一般に予知できず，しかも極端に変化するため，正確な施肥料，特に窒素施肥量を決定することは生産上の最も困難な決定事項の一つである。

生長期の水分供給とは別に，養分要求量と種類とは土壌の種類と肥沃度，栽培経過，生長期の水分供給量及び播種品種により異なる。

窒素に対する小麦の反応

乾燥地小麦の窒素施用に対する反応に主に影響する要素は，(1)播種時の土壌に含まれる硝酸塩，(2)播種時の土壌に含まれる水分，(3)生長期の雨量と分布，(4)施肥の時期である。

(1)　土壌に含まれる硝酸塩

施用窒素に対する小麦の反応の相異は土壌水分量だけではなく，播種時の土壌中の窒素量による。

たとえば，大陸性半乾燥気候を持つ米国の大平原の乾燥耕作地は，地中海性気候のカルフォルニアの耕地の窒素量の３～６倍である。（Luebs & Laag. 1964）。

小麦の蛋白質含有量は各地域の窒素施用量の指標となる。年降雨量２５０～５００mm あるオレゴンの冬雨区の窒素施用しない小麦の蛋白質含有量は８％以下で窒素施用によって実質的生産量の増加が得られることがわかった。

蛋白質含量９％以上は窒素供給が十分であることを示し，相対的に他の要素が収量を抑えていた（Hunter et al., 1961）。

グループ		蛋白含有%	N肥の影響 生産	蛋白
極	低	9.4	大増	軽効(7分減)
	低	9.4～11.3	増	増
中	間	11.3～13.8	小増	増
	高	13.8～15.8	減	大増
極	高	15.8～	無効	無効

表-6：窒素施用による収量と蛋白質含量の増加
（Russel, 1964）。

低窒素の土地で雨量が少ない条件下では，休作によって乾燥地の小麦に窒素を適格に供給できるとは限らない。

カルフォルニアで年降雨量が２２５～３７５mm のとき，１５年間にわたる３２回の実験のうち１８回に窒素施用による収量増加があった。実験の$\frac{1}{3}$では，窒素による増収が２２０Kg/haを越えた（Luebs & Laag. 1964）。

冬雨区では，小麦栽培休耕をはさまないとき，小麦が水分を充分に活用するには土壌中の利用できる窒素が余りにも少なすぎる。

休耕が実施されると，土壌温度が硝酸生成に好ましい時に水分供給が可能となる。(Mathews. 1951)。

年間雨量３２５mm 以上の地域で休耕した場合収穫は高いが，連作に窒素肥料を使えば収量は半減するだろう（Mathews. 1951）。

冬麦に関するネブラスカでの最近の研究では，窒素肥料が連作小麦の収量確保，充分な水使用効果や穀物の蛋白含量にとって必要であることが判明した。しかし，半乾燥地域で

は，無窒素休耕区小麦の平均収量が窒素施用連作区より2.6倍も高かった。

窒素を使用した連作小麦は窒素を使わない休作小麦のたった71%の効率の水しか使わなかった。

窒素施用をしない休耕小麦の蛋白質含量は窒素施用連作区と同じであった（Smika. 1970）。

二次耕作が行われると，耕地の窒素の大部分は重い作物の残滓のために結合する。こうした情況下での窒素に対する作物の反応は在来のすき方法より顕著で，ソルガムの後に小麦が播かれたときの情況に類似している。

(2) 播種時の有効水分

中央ネブラスカの半乾燥地における硝酸生成率が7PPMの連作土壌では，約20kg/haの窒素肥料を50～60mmの播種前水分に加えられると最高の収量が得られる（図5：対比，Ramig & Rhoades. 1963）。

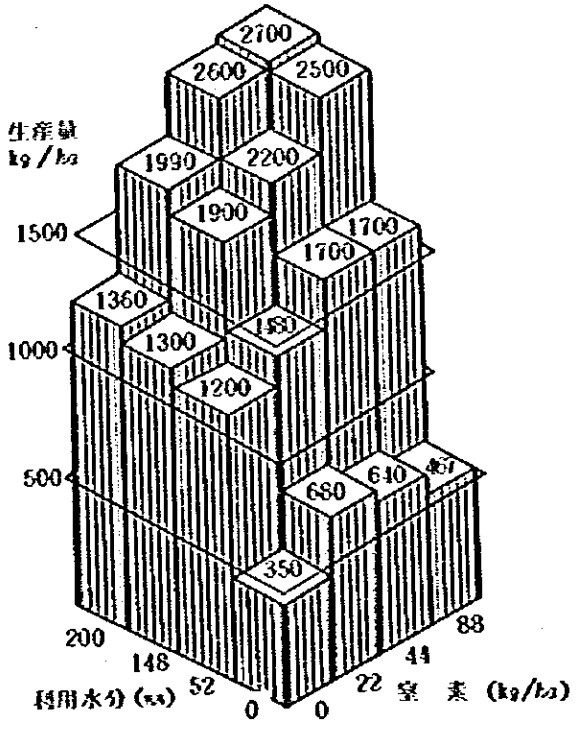


図5：連作冬麦の収量に及ぼす播種前水分と窒素肥料の効果。
Raming & Rhoades (1963) ,American Society of Agronomy

ノース　ダコタでは，播種時の土壌水分が増えるにつれて，増収効果を引出すために必要なＮＰ率が増加することが判った。増収のために必要なＰ以外のヘクタール当りＮ量は

貯蔵水分５０㎜以下で２２Kg

同　５０～１００㎜で４４Kg

同　１００㎜以上で６６Kgであった。

播種時に利用できる土壌水分が多いほど，Ｎに対して有利に反応するのに必要な季節雨量は少なくてすむ（Bauer et al.,１９６５）（図６）

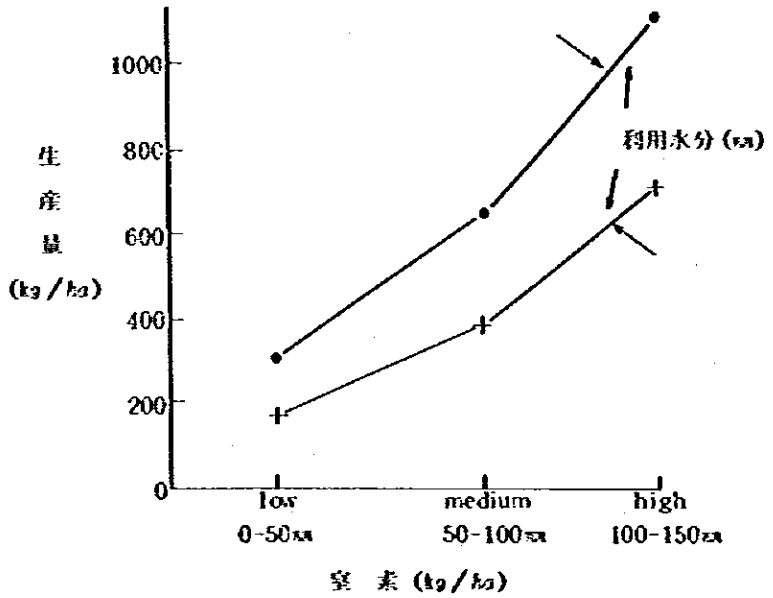


図６：小麦の播種時の土壌水分量，生長期の雨量とＮＰ施用効果
（６６回のトライアルより得られたデータに基づくもの）
Norum（１９６３）。American Potash Institute

(3) 生長期の雨量と分布

一般に，播種前の土壌水分の少ない雨量３００㎜ 以下の土地の窒素利用価値は限定される。たとえ施用が有効であっても，絶対的増収は肥料代を相殺するほどではないだろう。

たとえば，オクラホマで雨に恵まれたシーズンに窒素肥料を使ったところ，８カ所のうち７カ所で著しい増産が見られた。

翌シーズンの異常乾燥に増産があったのは，８カ所のうちわずか１ケ所だけにすぎなかった（Eck & Stewart,１９５４）。

東部ワシントンでは，連作地で４６カ所のうち３７カ所で，また夏期休耕地では６６カ所のうち５５カ所で窒素肥料による増収があった。しかしながら，極端な旱魃年には９カ所のうち８カ所まで増収効果は得られなかった（Leggett et al.，1959）。

ネブラスカでは，比較的恵まれた水分条件下で，N施用区が無施用区より地下２m迄の根がより良好に生育し，従って下層土水分をより完全に利用した。

追加水分は１５気圧より大きい浸透圧で取り除かれた（Raming & Rhoades，1963）。

雨量が平均を大きく下回る年の窒素施用効果の低さは翌年の残存効果によって一部つぐなわれた。

(4) 窒素肥料の使用時期

供給水分が規制因子でなければ，小麦の収量は，窒素が作物の生長期を通じて適切に施用されたときには増産可能である。

花芽形成時にNが不足すれば，穂当り一次枝梗数が極端に減少するだろう。穂当り穎花数は施肥Nが０～８㎏の間で２倍以上になった（Single，1964）。

出穂時のN使用は，すでに現われている花に影響はない（Thorne，1965）。

しかし，植物の生長期を通じて適量水分が供給されることは，乾燥地小麦では一般的にありえない。

播種時に窒素施用し水分供給が出穂まで順調でも，受粉と種子形成時に不足すれば一般的に減収となる。

最初に多量の硝酸塩と充分な水分と組合わされると，過繁茂となりひいては水分の早期枯渇を引起こし，二次分けつの生育を貧弱にしてしまう。従って，これらの発育率は低くなり，以下の理由により穂の数が少なくなる。

(a) 早期枯渇により生育後半に水不足が生じる。

(b) 作物の過繁茂により光度レベルが低くなる（Storrier，1965）。

初めの土壌硝酸塩が低ければ播種時に使用される窒素を分施したり，あるいは出穂前に追肥し，危険を大幅に回避することができる。施肥の適期は主に雨量分布によりシーズンごとに異なる。

追肥は播種前に窒素を多用する必要がないという利点を持っている。農民は生育状況により施肥効果があると分かってから使用に適切ればよい。

一方，肥料が有効に施用できる期間は一般に短いし，作業は天候条件に左右される。

冬雨区（イスラエル）では，窒素の追肥が播種時の施用より効果的であることが判った。二度の追肥はNの使用総量が同じでも一度のものより増収効果がある。

前作物が干草用豆科植物と穀粒ソルガムの時，一度あるいは二度の追肥は播種時の一回限りの施肥に比べてそれぞれ２０％と７５％の平均増産を示した（Karchi et al,1964）。

同様に冬雨区のオレゴンでは，低雨量地区（３７５㎜以下）の１５２カ所にＮを播種時に使用したところ１０９カ所で，また追肥として使用した場合には１１２カ所でかなりの増収があった。その平均増収は表－７に示されている。

窒素施肥量（kg/ha）	生産増加（kg/ha）	
	播種時施肥	追肥
22	116	319
44	663	572
66	793	728
88	793	774
100	793	822

表－７：少雨量地域の小麦生産に及ぼす窒素の効果

低雨量地域での施肥効果は播種時で１６％，春期追肥で１９％と低かった。早期施肥では１３％，追肥では７％の減収となった。従って，追肥の増収効果は早期使用よりわずかに低いが減収には若干影響が少ない（Hunter et al.,１９６１）。

イスラエルとオレゴンの間に見られる窒素施用効果の差は，オレゴンの冬の気温の方が低いので冬期の硝酸生成と小麦の生育を妨げることから生じたものだろう。

ネブラスカ－夏雨区－の窒素施用時期によって生じる差は小さかった。秋期の窒素施用は春期の窒素施用を３年のうち２年までもしのいだ。

分割施肥と初秋か春に行なった一回施肥の間には収量差はなかった（Ramig & Rhoades,１９６３）。

カンサスでも同様の結果が得られた。ここで一回施肥として播種前，播種時の秋，冬あるいは早春における窒素の追肥使用と，二回の分割施肥では窒素を使用しない栽培と比較して同じ増収効果があった（Heyne et al.,１９６４）。

施肥時と分割施肥に対する小麦の反応差は環境条件の相異によるものである。寒い冬の地域で播かれた冬麦は活着後すぐ休眠期に入る。この時期の低温は硝化作用を妨げ，少量の雨では充分な溶解をうながすことができないのである。従って，秋期の窒素施用は生長を回復し，その要求が最高となる春に全部が活用される。逆に暖かい冬と雨のある地域の初冬の温度は硝化作用と植物生長を維持するには充分な時，播種時に肥料を多用する

と異常生長が現われたりする。雨量の大部分は冬期に集中し，かなりの窒素分溶脱をひき起こす。

春は窒素要求の最高期でN追肥が行われていなければ最低レベル供給と一致する。同時に蒸発散作用が最高で雨量が最低の時期では，植物の異常生長は明らかに不利である。

窒素施肥量

南カリフォルニアでは窒素施用率を変えた10の現地実験から次のような結果が得られた（Luebs & Laag, 1964）

N施肥率（Kg／ha）	重要反応の数
(N_1) 17-22	5カ所のうち1カ所で増産
(N_2) 34-44	10カ所のうち4カ所で増産
(N_3) 68-88	10カ所のうち2カ所でN_2を越えた増産
	10カ所のうち3カ所で減産（わら生産は倍増）

表-8：小麦生産に及ぼすN施肥率の影響

休耕と小麦の交互作では30～40KgN／haが南部カリフォルニアの半乾燥条件下ではほぼ最適である。（Luebs & Laag, 1964）。

これより低い施用率は増収効果をなくし，高すぎれば逆効果の危険が増す。中央大平原の奨励施用率は35～55KgN／haである（Heyne et al., 1964）。

東部ワシントンの乾燥地小麦には以下の施用率が最良の結果につながることが判明した。

年間雨量（mm）	N施用率（Kg／ha）
＜250	22-44
250～325	22-66
＞325	33-88

より乾燥した地区の雨量の少ない年には施用は控えられる（Leggett et al., 1959）。

西部オクラホマでは，最も経済的な施肥率が44Kg／haで，これによって平均700Kg／haの増収を達成した。

灌　漑

西パキスタンでは播種時に65KgN／haが施用され，灌漑小麦の最高の増産を得た。植株当たりの成熟穂の数と1,000粒重は増えた（Wahhab & Hussain, 1957）。

インドの砂漠地では多くの現地実験によって，土壌の種類にはほとんど関係なく窒素施用により灌漑小麦の収量が増加した。しかし，多くの土地で小麦の施肥効果は窒素と燐の組合せから得られた。

44Kg N，22Kg P_2O_5／haの混合に対し平均490Kg/haの収量増加があった。(Pal,1966)

充分な土壌水分が有効に使用された場合の窒素収支が図7に明示されている。

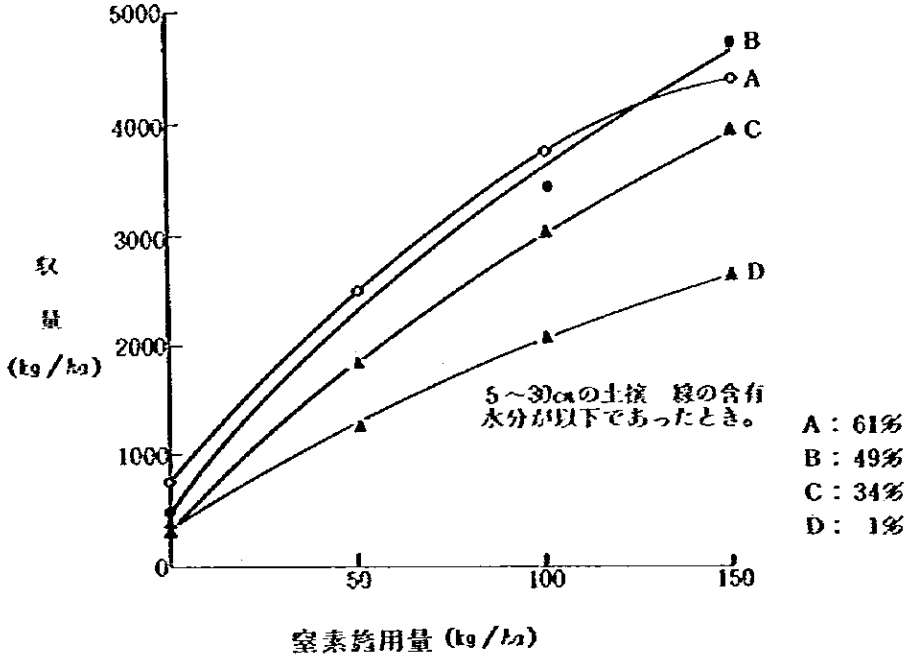


図7：乾燥地における生産量
各種土壌水分条件下での施肥量と小麦収量の関連性
Fernandez & Laird (1959) the American Society of Agronomy

蛋白質含有量に及ぼす窒素の影響

25～30Kg N／haほどの施用が増産効果があるとしても，蛋白質の含有量を増すのは稀で，逆に減少させるかもしれない。50～60Kg N／haではわずかに蛋白質が増え，100～110Kg N/haのでは大幅増となる。

植物の窒素蓄積が開花時にほとんど完了するため，穀物の蛋白合成用の窒素の主要源は植物自身の中に存在する。(Boatwright & Haas, 1961)。

燐

乾燥地における小麦に対する燐施用効果は窒素より不安定である。その効果は土壌が供給する燐の量，播種時の土壌水分，季節の雨量に左右される（Power et al., 1961）(図8)

また土壌温度が燐吸収とそれによる植物反応に影響を与える。

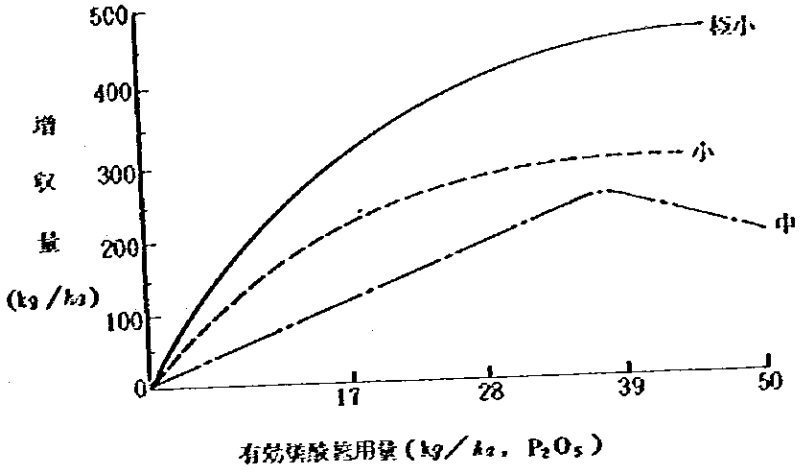


図8：燐施用量が小麦収量に及ぼす効果－燐を中，小，極の割合で含む土壌。Anon.(1967) World Farming

土壌中の有効燐酸

近東では数世紀にわたる土地利用によって，耕地は一般にやせおとろえており，施肥が冬穀物に著しい効果を与えている。

やせ地の穀物のPに対する反応はそれほどではない。過燐酸肥料が干草あるいはサイレージ用の豆科作物の栽培を含む輪作の中で干草部分に供給されるとすれば，やがて，小麦への燐施肥はあり余るようになる。

キプロスでは小麦－休作の交互作に窒素は休年中に蓄積され，小麦の収量は供給燐の量によって規制されている。小麦が連作されると窒素は蓄積されず，小麦は地中の燐が枯渇するまで窒素肥料に影響される。小麦に対する窒素施用に限界があるため，燐にだけは反応しない。土壌の燐が使い尽されると，小麦は窒素と燐の混合にのみ反応する。(Littlejohn, 1958)。

土壌が燐を欠いているのは普通である。オーストラリアのほとんどの土壌では燐施用効果は，たとえば過燐酸肥料を65～130kg/ha施用しただけで目をみはるものがある。

農民は播種以前の時期に過燐酸肥料の施用をできるだけ早く実行することだ！(Watt, 1948)。

窒素との相互作用

燐施用効果は有効態窒素の量に大いに左右される。

たとえば，多量の硝酸塩を保持した休耕後の土地で生育した小麦は，窒素が不足した土壌で連作したときよりもP施用効果がより大きかった。

過燐酸の250Kg/haの四年連続施用では，休耕後で平均1,730～3,260Kg/ha，切り株－播種栽培で1,120～1,320Kg/haの増産を示した（Donald，1964）。

最も乾燥したオーストラリアの土壌で記録された燐施用の絶大な効果とは対称的な条件の南カリフォルニアでは燐施用効果はたいしたことはない（Watt，1948）。

1950～1963年にかけて実施された14の肥料試験のうち増収効果のあったのは2回にすぎず，効果のあったものは窒素肥料との混合使用で得られ，220～440Kg/haの増収があった（Luebs & Laag，1964）。

一般に土壌中の燐が少ないところでも，冬麦の初期生育は，温度が，0℃以下では燐施用によっては生じないだろう。燐吸収は温度が18－27℃の時である（Gingrich，1965）。

土壌の有効燐の量は前作，特に燐肥料に大いに関係している。

穀物栽培に直接使用された過燐酸肥料中の燐の10－20％以下が作物に吸収される。

南オーストラリアでの現地実験では，天然の燐が欠乏している土壌に23年間過燐酸肥料をヘクタール当り全部で3トン与えたところ，小麦－大麦－休耕の栽培体系の小麦は，5年間現在与えられている過燐酸肥料に対する反応は見られなかった（Piper & Vries，1964）

北大平原の中程度の典型的燐不足茶色土壌で10年以上にわたって2年に5回の割合で20KgP／haを投下したところ，0－15cm層で炭酸水素ナトリウム溶解燐がほぼ倍加した。収穫穀物は施用燐の30％を吸収した。この条件下で小麦は投下燐には反応を示さなかった（Power et al.，1961）。

原則として，過去に多量の過燐酸を施用した土壌では収穫毎に減少する燐酸量を充分に補えば，それで足りるだろう（Piper & Vries，1964）。

オーストラリアでは重炭酸ナトリウム抽出方式により決定された30mm以上の土壌中燐があれば，燐肥使用は不要であると考えられている。これ以下では，施肥量は土壌検定で調整される（Esdaile & Colwell，1963）。

播種時の水分含有量

生長初期，小麦と大麦の燐吸収は登熟時より比較的大きい比率で行われる。かくして約$\frac{1}{3}$の燐は初期生育に使われ，乾物重の$\frac{1}{4}$が形成される。残りの$\frac{2}{3}$は次の3週間に吸収され，その活動は出穂時にピークとなる（Boatwright & Haas，1961）。

年間平均雨量300mm以上の北東モンタナは，貯蔵水分と雨量が上記平均値であったとき

燐施用が春麦の増収に役立った。播種時の土壌水分１２５㎜では，燐施肥が平均１３０Kg/haの増産をもたらした。また，２５㎜増す度に燐に対する増収効果は７０Kg/haあった（図９：cf.Power et al. 1961）。

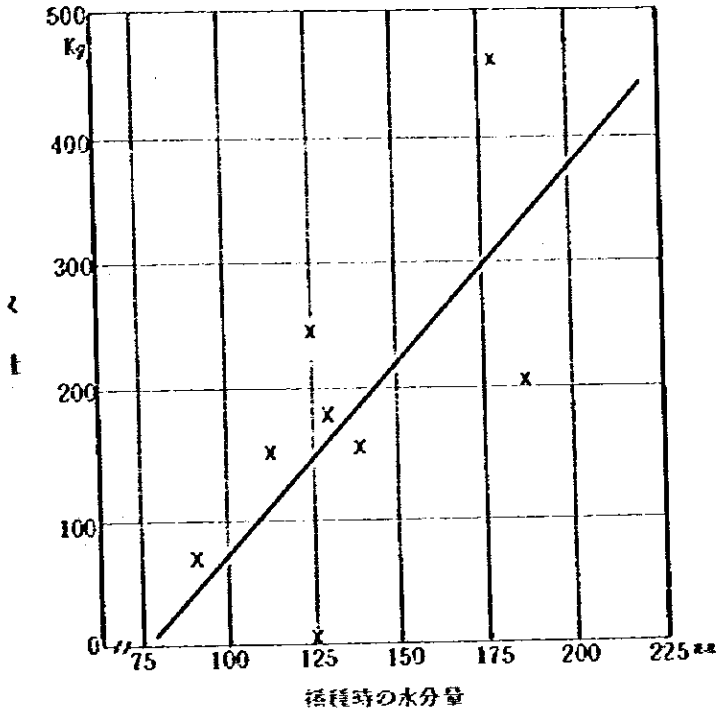


図９．小麦：土壌水分と燐施肥による春麦の増収効果。Power et al.，(1961) the American Society of Agronomy。

重過燐酸肥料と種子とがヘクタール当り３４Kg・１６.５Kg の割合で使用された。

グラフに示される増収効果は各実験の使用と未使用区の平均収量の差である。グラフは土壌水分が２５㎜増す毎に約７０Kg/haの燐効果が期待できることを示している。

季節雨量

米国北部グレートプレーンのＮとＰが若干不足する特有の褐色土壌で実施された肥料実験では，休耕－小麦と交互に栽培された春麦と冬麦が春期生育期にＰとＮＰ肥に反応することが判った。冬麦は春期生育開始二週間後まではＮとＰ施用の効果はなかった。

一方，春麦は発芽三週間以内に加速的な生育を見せた。効果の大部分がＰによるものだったがＮＰ混合はＰだけの時よりより生育を促進させた。ＮＰ区の麦は無施用区より暗緑色が濃く，草丈が高く，株数が多かった。対照区よりも初期の生育段階で土壌水分を多く利用した。従ってＮＰ区が通常は先に出穂したにもかかわらず，土壌の乾燥状態は出穂時により強

かった（Brown & Campbell 1966）。

冬麦の出穂と登熟は春麦より10～14日早く，ヘクタール当りでも約350kg 収穫が多い。これは，出穂時とその後の水分が不足したとき，より早熟でしかもより高い生産能力が春麦よりも良好に冬麦が燐とNP肥に反応したからではない。

春麦による燐吸収は，生育初期に充分な土壌水分がなく，燐の溶解が行われないときに著しく低下した。従って，出穂後まで有効な降雨がない年の春麦の燐肥料の利用は相当制限されよう（Power et al., 1961）。

土 壌 温 度

北大平原では燐の追肥が土壌温度に対する作物の反応を減退させ，生育最適土壌温度の変化から植物を守ることが判明した。

燐施肥に対する効果は温度変化に左右されるので温度は燐施用効果の主要因子の一部となっている（Power et al., 1964）。

施 肥 量

オーストラリアでは当初400kg/haの過燐酸を施用し，その後少なくとも4～5年間年に250kg/haを継続使用すると絶大な効果があることが各地で明らかにされている。（Watt, 1948）。

カンサスでは平均45kg P_2O_5 /haの燐酸施用が妥当であることが判った（Heyne et al., 1964）。

総 括．上記肥料の施肥量は机上のものでなく，各乾燥地域で実際に受入れられている肥料使用量の実例とみなすべきである。特に窒素過多は小麦の栽培にとっては危険である。それは土壌水分を早く枯渇させ，倒伏を増し，葉の病気に対する抵抗力を弱め，成熟を遅らす。

比較的多目の窒素は，出穂後の土壌水分に制限がなく，相当なわらの残滓が地表に放置されている畑では，倒伏に強く且つ高生産力を持っている品種に効果があることが立証されている。

次の場合，窒素施用効果は通常みられない。

1. 有機肥料が前シーズンに与えられたとき。
2. 肥料を使用し且つ良く管理された牧草地の後作。
3. 旱魃，燐酸，あるいは他の制限因子により，生育が不充分であるとき。
4. 重大なかび病が減収を引き起こすとき。

降雨量の不安定性を考えると，半乾燥地での施肥は年度によって減収や増収をもたらすだ

ろう。

施肥効果の相対的比率は第一に地域の平均雨量に左右されるだろう。比較的平均雨量が多い地域でも，施肥効果があがった年がそうでない年を下回る場合もあるだろう。が長い目でみたその平均効果は豊作年における高収量によって施肥の経済性を成立させうる。

窒素の最も望ましい施用法は窒素が不足する播種時に適量を使い，そして生育状況と春の水分状態が確認された時点で追肥を行うことである。総施肥量は土壌検定に従う。作物の施用効果があがらなかった年には，肥料の残存量が次の栽培に期待することができる。

<播　種>

種　子　処　理

小麦に最も広く使用される種子処理剤はAgrosan,Ceresan,Ceresan M といった有機水銀化合物である。

種子処理は黒穂病（Tilletia caries）に効果的で，土壌微生物の感染から穀粒を守る。これは土壌水分が発芽に充分な柔弱を種子に与えない場合に有効である。

種子処理は一般に種子洗浄設備により実施され，処理済み種子はその発芽力を損われることなく保存することができる。但し，保存場所は乾燥し且つ換気が良いことが条件である。

播　種　時　期

播種時期と栽植密度は地域と気候により異なる（図１０）

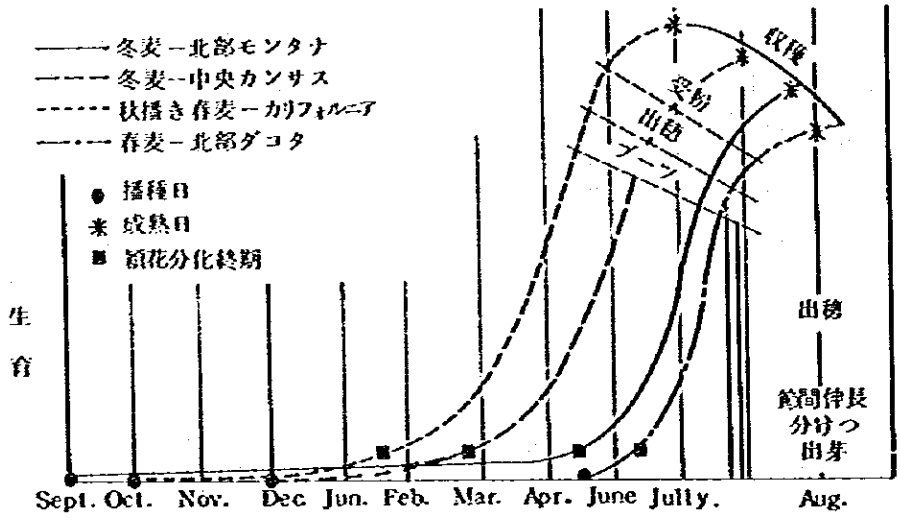


図１０：小麦の生育と播種時期の関連性。Ouisenberry & Retiz (1967), the American Society of Agronomy。

低緯度地帯

冬温暖降雨夏高温の典型的地中海気候地域の播種は晩秋と初冬に実施される。

たとえば，近東では冬麦は雨期（afir）が始まる前の乾いた土壌か，通常１２月（shetawi)の降雨の短い期間に湿った土壌に播くことができる。播種日は収穫を大いに左右し，栽培の成功と失敗の決定的要素ともなる。

原始的農耕を営む農民にとって，充分な降雨がなければ畑を耕すことはできない。しかし，近代的農機具を使う農民にとって，播種時期の決定は重大である。近代的農機具を用いた整地と播種は，最初の降雨後よりも，土が乾燥している時の方がはるかにてっとり速く経済的である。

農具は乾いた土壌では敏速に，効果的に働く，そしてやがて雨が降れば，作物は理想的な土壌水分と温度の下で発芽する。しかし，にわか雨が土を早目に湿らし，その後乾燥した天気が長びけば，種子は発芽するが幼芽はたちまち枯死してしまうだろう。

最初の降雨後のトラクターによる播種は，しばしば畑地の残存物に邪魔されるため，afir 播種よりも困難で，同時に土壌をかためることになる。

降雨の間隔が短かすぎて，その間に播種を完了することができない場合も度々生じ，播種の遅れによる減収が起る。

畑はそのシーズン中に播種されないまゝであることさえある。一方，最初の降雨後に雑草が芽を出せば，整地の間に退治すればよい。

水分の多い重い土壌で播種が最初の雨まで延期されれば悪条件下でも小麦は通常発芽する。土壌水分過多と低温は種子の大部分を腐敗させる。

オープン　スタンドは雑草の侵入を助け，播種前に除草することの利点を失うことになる。

温暖で乾いた地域では，冬麦のafir播種が穀物の収穫に最終的に不利な過繁茂を誘発するし，雑草との競合もきびしい。

こうした情況下の播種は通常最初の雨の後まで延期されるべきである。他方，冷涼少雨の地区では早期播種が限られた水分供給を最も有効に使いこなすために非常に重要である。

つまり，乾燥温暖な地域の播種は最初の降雨後まで待たなければならないがこうした明瞭な断定は他の地域ではもっとむづかしい。

生産者は播種時期に合せた品種を選び，最初の降雨後に排水がよく軽い土壌に播種したり，重粘土壌にafir播種することによって危険を減らそうとするだろう。

中緯度地帯

圧倒的に夏雨型の中緯度地帯では播種時が主に冬の寒さに左右される。冬が秋播き麦の越冬にとって厳しすぎれば，麦は土壌条件が整地を可能にし，温度が良好な発芽を約束するに足りるだけ高まるのを待って春に播かれる。

早目の播種は比較的寒くなく雨の多い春の間に満足すべき栄養生長を約束し，夏の猛暑がやって来る前に出穂を可能にする。また早播きすると幾分生長期は長目になり，春麦の生長期が非常に短いという不利な条件を考えると重要なことである。

開花を促進するのに充分な低温が冬にあり，冬枯れの心配のない地域の作物は秋に播かれる。冬麦は春に比べて，より長い生育期を持つのでより高い収量の可能性を持つ。冬麦は最良の春麦品種よりほぼ二倍の生産をあげることが判っている（Bennett et al., 1954)。

冬麦の播種適期は低温が発育を止める前に苗が三葉期に達することができるような時である。

小麦畑で秋の放牧が実施されるところは，冬が訪れる前に食べられた植物体が充分に回復するように，ほかより早目に播種が行われる。

無計画な放牧は減収につながるが，あまり生育が早すぎるならば，軽く放牧することによって倒伏をさけ，収量を良くすることができるだろう。早すぎる播種は栄養生長過多を起し，水分の浪費と冬枯れに対する抵抗力を弱める結果となる。

標準品種が10月中旬前に播かれると，総乾物量が増加するが，その大部はわらで，倒伏と減収を招く。

逆に，半矮性品種は４００㎜ の雨量地区で９月初旬に播かれると最高の収穫をあげた（図１１：cf.Bentler & Foote, １９６３）。

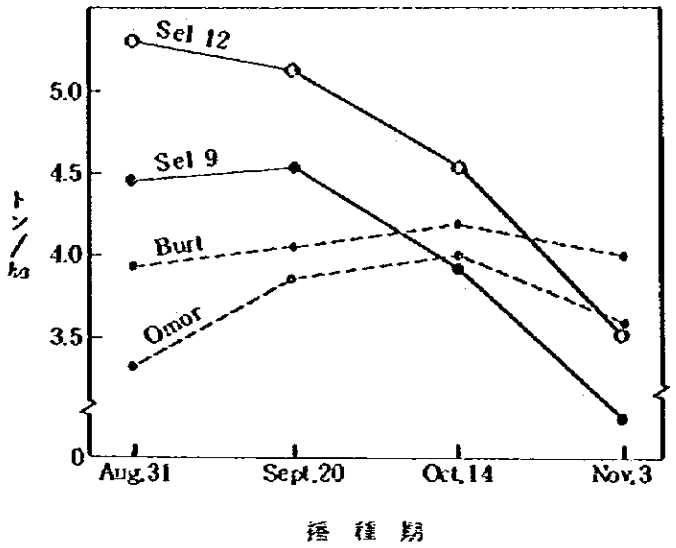


図１１：降雨量４００㎜区における播種時期を四つに分けた場合の半矮性と普通品種の収量

遅い播種は低温が生育を停止させる前に強い根組織を作りあげ，幼芽を出すための充分な時間を与えられないために，高収量にはつながらない。

このような麦は冬枯れに弱く，また物理的打撃が土壌の凍結と解氷によって引起こされる。また遅播きの麦は早播きのものよりも成熟がおそく，かびによる被害を受け易い（Heyne et al., １９６４）。

播 種 量

通常乾燥地域の播種量を決定する主な要素は作物に供給される水分と予測される水分量である。つまり，乾燥度が強ければ，それだけ厚播きする。

一般的にいって，多湿と遅目の播種は播種量を多くし，低温と早目の播種が普及している場所では量を少なくする。

標準的播種量は１８～１３０Kg/ha で，最も一般的なのは６５Kg/haである（Perterson １９６５）。

乾燥地の冬小麦の最適量は畦間１６㎝で１００Kg/haであることが判った（Bennett et al., １９５４）。

冬麦地帯の低湿度地区では播種量は２２Kg/haである。

一般的な湿度条件に基づいて播種量を決定することは考えられる程効果的ではない。好

条件下での小麦の発芽は，播種量を抑えても，作物の発芽期の水分条件がよければ密生を許してしまう。湿度が通常危険になるのはシーズンの後半のみである。また，オープン・スタンド（空間を持った栽培）は容易に雑草の発生を許し，栽植密度の低さは水分節約効果とならない。

中央カンサスでは休耕地小麦の三カ年の平均収量は立毛数２２０本／㎡以下のとき減少した。薄播は成熟のおくれ，テスト重量の減少，徒長，１平方メートル当りの穂数の減少を引起した。しかし，高密度よりも穂は長く，越冬率は高かった（Wilson & Swanson 1962)。

原始的農業では，農民の不安定な経済事情により，種子を節約する傾向がある。整地と播種方法もまた原始的であるために，発芽後の活着率は通常低い。こうした理由で，薄播きが一般的である。

土壌水分条件が比較的良好な土地の最適収穫密度は３００～３５０穂／㎡である。比較的少ない株当りの分けつを増すか分けつによらずに密植よって上記密度を達成する相対的利点は章Ｘ，巻１で述べてある。

現在，小麦の播種密度は広範囲で採用されているが，収量にもとりたてるほどの影響はない。５００㎜以上の降雨のある冬雨区の小麦と大麦の一般的播種量は１２０－１５０㎏/㏊である。これまでこれらの比較的厚播きすることは，植物体の密生が雑草対策に有効であるところから正当性が立証された。

Karchi（１９６３）は土壌肥沃度の増加，窒素施用，除草剤使用の組合せにより，収穫を減ずることなく，小麦は$\frac{1}{2}$（７０㎏/㏊），大麦は$\frac{1}{2}$以上（２５－５０㎏/㏊）播種量を減らし，相当の種子を節約することが可能であると指摘した。

これらの量から，平方メートル当り苗１５０，同穂数３００が得られた。大麦は苗４０～１００，穂数は１４０～４００/㎡だった。

非常に類似した結果が標準的な畦間に小麦５５㎏と８４㎏/㏊の播種をした夏雨区で得られた。この両者には事実上収量は同じであった。畦間が狭いものより広いものはわずかに収量を減じた。これは播種量が多いより少ない方でより顕著だった（Kiesselbach et al., 1934)。

播　種　深　度

小麦にとって最適播種深度は約５㎝である。これより浅い播種は，土壌表面が発芽を維持するにしては余りにも早く干あがるために，発芽不揃いとなる。深すぎると，発芽がおくれ，幼芽に対する病害虫の危険が増し，植物体を弱めて発芽を失敗させたりする。

深さ１０㎝の播種ははほ４０％発芽を減らすことが判った（Chambers, 1963)。

播種が降雨前の乾いた土壌で行われるとき，深さを８～１０㎝にして，軽い雨の後の発

芽を避けようとするのが普通である。この雨は実生の発育にとっては不充分で，更に降雨が必要である。しかし，実際の経験から，このような環境下では浅い播種が深いものより危険が少ないことが判っている。

軽い雨の後，地表は浅く播かれた種子が発芽後の生育を行う前に乾燥してしまう。この段階では乾燥はきわめて有害なのである。逆に８～１０㎝まで浸透する雨は，その後の生育に必要十分な水分ではないが萌芽と発芽を完全に終らせてしまう。このため，実生は，その後適時に雨が降らないときは枯死するかもしれない。

播種機と播種密度

小麦の播種は，原始的農業を除いて，１５～２０㎝間隔の条播機によって完全に代行されるようになった。

理論的には正方形植えが最も効果的である。つまり，これによって隣接する葉の重複を遅らせ，競合を最低限に抑えられるからである。

実際小麦にとって，正方形植えは非常に狭い畦巾を必要とし，機械による播種は地表の残滓によってしばしば邪魔されるために非常に非効率的である。

乾燥地では，初期に畦間で幼植物が競合するため，畦巾が狭すぎると生育を遅延させる－低雨量の年には有利。

他方，比較的広い畦巾と狭い株間の長方形植は収穫を不利にしよう。

多くの実験により完全な正方形播種は高生産をあげる上での必修条件ではなく，最良の収穫は極端な矩形と正方形播種のある中間点で得られるだろうということが指摘された。一般的にいって，通常用いられている１５～２０㎝内外の畦巾で播種した場合の収穫上の利点は小さく且つ不確定である（Holliday，１９６３）。

播種時に土壌が湿っている所では（夏雨地域における冬麦），その湿った土壌に播種することが大切である。

条播機にプレス車輪をつければ発芽前に種子の囲りの土壌が干あがる危険を少なくするだろう。

種子を狭い畦に播くセミ条播機は，土壌表面が既に乾いているが内部の湿った土壌に容易に種子を播くことができ，多くの覆土する必要もない。これらの条播機によって，畦巾は普通２５～３５㎝とされる。

カリフォルニアでは，農機具で正常な作業をするには湿りすぎのとき，飛行機による播種が行われ，種子は覆土されずに放置される。

＜除　　草＞

冬温暖降雨の地域では播種と同時か若干遅れて雑草が生えてくる。気候条件は小麦と畦間

の雑草の生長に同じように影響する。これまで原始的な農業の除草作業は非常に骨の折れる手仕事だった。これより近代的農業の良く管理された輪作体系下では作物の密生に頼った。厚播きはせめてもの抑制方法であった。そして，雨の少ない状況下では，高密度の植物を維持するのに水分が不充分であるために目的が達せられない。

水分量に合わせて播種密度を調整することは，薄播きによる空間を雑草がすぐに占領することを考えると実践的ではない。輪作は雑草駆除に役立つが問題の解決には至らない。早期に刈取った干草作物は繁殖する小麦種子を多くの冬の雑草から守る；冬作物はやむことのない雑草の生長を抑える（たとえば，Cynodon dactylon や Sorghum halepense）；夏の作物の中耕は雑草の除去を助ける。；冬の休耕は一年生と広葉雑草の量を減らすのに効果がある。

しかしながら，最良の管理をもってしても，除草剤の出現まで，雑草は収量減少の重大なファクターであった。

コンバインは穀物と一緒に刈取った雑草の種子を選別し，機械の後に播き散らすので一層事態を深刻なものにした。

冬麦は，比較的乾燥した寒い地域ではほとんどの雑草に競り勝つ。麦は発芽後，ほとんどの雑草が発芽を開始する前に定着する。春になって生育条件が整うと，穀物は急生長しほとんどの一年生雑草と力強く争う力を身につける。

夏に伸びる雑草は繁茂し始めるのは遅すぎて，早目に刈取られる小麦に影響を与えることはない。しかし，小麦の発芽が土壌水分不足や他の要因によって不揃いであれば，立毛のまばらな状態が初秋と春に雑草をはびこらせてしまう（Heyne et al., 1964）。

Goat Grass (Aegylops cylindrica)，Cheat (Bromus secalinus) のような越冬一年生草は冬麦と同様なライフ・サイクルを保持していて，小麦の収穫前に種子が熟し地上に落ちてしまう。

小麦の連作は，雑草の繁殖によって生産経費が嵩しくなることもある。雑草の効果的処理は夏の休作かソルガムのような作物をとり入れた輪作においてのみ可能となる。

除　草　剤

広葉雑草は 2.4 - D と MCPA によって効果的に除去できる。小麦は 2.4 - D に発育のある段階では敏感だが，散布は一穂に分けつ後の時期と 20 ~ 25 cm の高さまでに限られている。

小麦に対する除草剤使用の安全期間については不正確な点が少なくない。それは異った環境条件と品種による 2.4 - D に対する耐性と感受性の相異によるものであろう（Hodgson et al., 1964）。

イスラエルでは，小麦が 2.4 - D に最も敏感であったのは幼穂形成期だった。ha当り

0.5 Kgと 1.0 Kgの活性成分を散布したところ，収穫は１９％と３４％まで減少した。この減収は小穂花当りの穀粒の数が減少したためであり，穂の奇形自体は収量にはあまり影響しなかった（Pinthus & Natowik, 1967)。

除草剤使用後の土壌水分量は大変重要である。

2.4 - D使用後 4 ～ 8 日間水分が供給されなければ，収穫に大きなダメージを与えるが水分状態がよければ小麦の幼植物はほぼ完全に回復することが判った。これは多分根の損傷と関係があるのだろう（Johanson & Muzik, 1961)。

イネ科雑草

主に 2.4 - DとMCPA 使用による新しい除草方法は雑草の繁殖力を著しく低下させたが，完全な問題解決には至らなかった。多くの場合，イネ科の一年生雑草，主に Phalaris spp と Wild oats (Avena spp) は，一年生広葉雑草の繁殖が組織的な化学除草により抑制されるために急激に繁殖する。雑草の発芽抑制，Diallate (2.3 - dichloroallyl diisopropyl thiocarbamate)，Triallate (2.3.3 - trichloroallyl diisopropyl thiocarbamate)は野性からす麦の駆除に顕著な効果を持っている。

淘汰は雑草と播種作物の根の深さの違いによって増加する。

サスカチェワンでの２年に亘る現地試験では，小麦の深さが７ cmで，処理剤がこれより浅く播種後に混入されたときに最も効果があった。最も信頼できる処理法は使用後ただちにまぐわでならすことだった（Molberg et al., 1964)。

野性からす麦が 1.5 ～ 2 葉期のときに Barban (4 - chloro-2-butynyl-m-chlorocarbanilate）を散布すれば生育を阻止することが判った。

除草剤と作物の競いは別々に作用し，これらの雑草に対する効果は増加的となる。

休 閑 除 草

小麦栽培に先立つ休耕中の休閑除草は侵食防止上必要な地表に残された作物の残存の維持を大いに単純化することができる。また，耕作を必要とせず雑草からの水分損失を抑止し，土壌構造の単純化を少なくすることができる。

夏雨半乾燥地域では，Atrazineが休耕中の除草を充分に行ったが，残留物が小麦栽培にしばしば損害を及ぼした。

休耕除草は休作 - もろこし - 小麦といったロ - テイションでは実行可能だろう（Penster et al., 1965)。

休耕地での化学的除草が適切であれば，小麦生産は耕耕地の場合の収穫と同じである（Baker et al., 1956)。

風水侵食は休閑除草によってうまく阻止されるだろう（Alley & Earl, 1962)。

作閑除草は休耕年中の伝統的耕作方法より以下の場合，結果的には劣るであろう。

1. 除草剤が残留し，小麦栽培に悪影響を及ぼすとき。

野生小麦が雑草群の主な構成要素であるとき特にそうである。

2. たまには，雑草種子が薬品処理が行われた畑で発芽もせず，薬品による影響も受けずに残っているかもしれない。

とうした種子が整地中で混入されれば，作物に大被害を与え，休耕中に機械的処理をした場合と比較して，減収は避けられない（Black & Power, 1965）。

＜灌　　漑＞

小麦への補足灌漑は，比較的小さな機器で広い面積を灌漑する比較的安価で軽量な移動式灌漑パイプと効果的なオーバヘッド・スプリンクラーの開発の結果，経済的且つ実用的になった。

灌漑の効果

冬雨区：雨量が多い土地の補足灌漑は正常年には一般的に不用であり，万一の旱魃年の場合の予防手段としての役割を持つ。

少雨量地区の補足灌漑は，この地域の特徴である収量変動と不作に代って，多少とも一定した収量を維持するのを保証する。

たとえば，中央シリアの比較的恵まれた条件下でも，10年間に，旱魃と旱熱による不作3年，平年作4年で，豊作はわずか3年しかないと推定されている（Mann, 1946）。

夏雨区：北米の中央大平原の研究では，早春から成熟にかけての小麦は一日平均3～5㎜の水分蒸発散があることが判った。この時期，大平原地帯では，西部一帯を除いて充分な雨は通常期待できず，播種前に充分な水を貯蔵するか，生長期に灌漑を行うことが必要となる（Laude et al., 1955）。

同地区では，次の例から潜在的灌漑能力を評価することができる。大平原の褐色土壌（モンテナ），年間平均雨量250～325㎜地域では，春冬小麦の休耕－小麦輪作は，土壌水分が規制要因でない場合の潜在生産力の平均30％の収量を得ている（Brown & Campbell, 1966）。

米国小麦生産の中心地である北部でさえも，年間平均雨量425～525㎜地域でははぼ耕地の$\frac{1}{3}$が灌漑されている（Porter et al., 1964）。

各生長期の水需要

畑の小麦が栽培中常時，水不足にあることは珍らしい。不足期は通常水分要求期と一致する。

使用水量と灌漑時期の決定に当っては，小麦に対する水分供給効果を考慮しなければならない。

1. 発芽から分けつ完了までの幼植物は水の使用を控える。

この時期の灌漑（あるいは豪雨）は，土壌の通気性と植物の限られた根群からの硝酸塩が乏しいために逆効果を与えるので，この時期にはある程度の水不足の方が有益である。つまり，早期生育を抑制することによって，土壌水分の早期の枯渇が防げる（Lehane & Staple, 1962）。

2. 水需要は植物生長の最盛期に急速に増加する。この時期は茎が急生長するときに始まる。幼穂形成時，各穂の穎花数は水分不足により減少する。

3. 旱害の著しい時期は開花と穀粒形成期である。またこの頃は蒸発散作用が増加するために，多量の水を必要とすると共に雨の少ない時でもある。当期間の水不足は収量に最も強く悪影響する。穎花の分化と開花の間は乾燥には特に敏感である（Zavadskaja & Skazkin, 1960）。

開花時の水分不足は穀粒形成を減退させ，水分不足が登熟期に起これば，穀粒の平均重量は減ずる。

総して，水分不足時に生長の絶頂期にある器官が最も影響をうける（Williams U Shapter, 1955）。

状況は次の様に要約することができる。各生長期に水不足が作物に与える影響。

分　け　つ　前：分けつは抑えられるが，新たな水補給で活気づく。

出　穂　直　前：間節伸長率が下がる。

開　　花　　前：穂当りの粒子数に重大な影響を及ぼす。多分，小穂花開始と配偶子形成への影響の結果であろう。

開花時とその直後：粒子のサイズ減

粒子形成中の水不足延長：しほんだ粒子ができる。

小春によって吸収される約７０％の水分は９０cmまでの深さからとられる。Musick et al.,（1963）は１２０cm までが最深実用湿地深度であると結論している。

冬雨区における灌漑

地中海気候の冬播き小麦の一日平均水分蒸発散量と生長曲線が図１２に示されている。低雨量地区における最高の収量と効率的な水使用は播種前に深さ９０～１００cm まで土壌が湿っている時に得られた。これには１００～１５０mm の水を必要とした。作物が湿った土壌で播種されれば，雨に関係なく早く，斉一に発芽する。

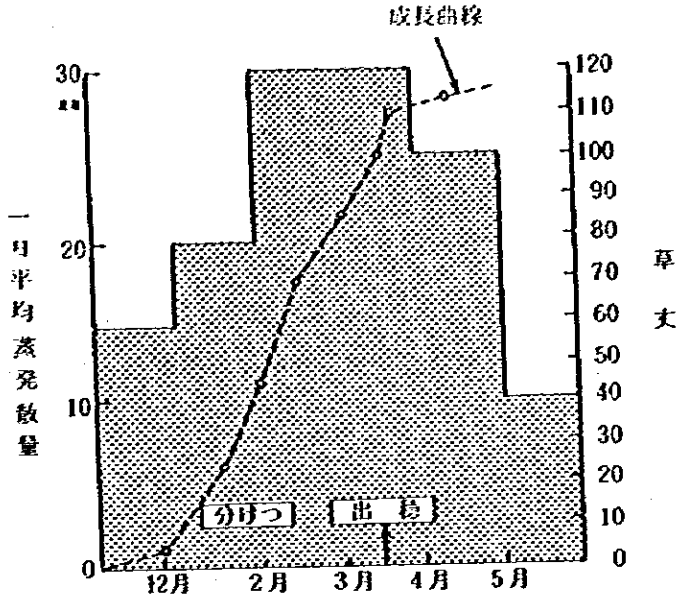


図１２：地中海気候における冬播き小麦の一日平均水分使用量（蒸発散）と生長曲線。（乾季節蒸発散量約３８０㎜）
Shimshi & Ephrat (1970)

通常，出穂までは灌漑は必要ない。蒸発散量は比較的少ないし，この時期は雨の最も多い頃と一致する。

一番穂が現われ始めるころ必要なときは，二番灌漑を行う。三番灌漑は穀粒形成期に必要となろう。

表－９は豊作にとって必要な水量を示している。

月	生育段階	水分量（mm）	水源
１０～１１月	播種前	１００～１５０	灌漑
１２～　１月	出芽～分けつ	５０～１００	雨
２～　３月	分けつ～出穂	１００～１５０	雨＋灌漑
４月	粒子形成	５０	雨または灌漑

表－９：小麦の水需要

好収量を得るには３５０～４００㎜の水分が上記のように供給される必要があることが判

る。

夏雨区における春麦の灌漑

春麦の灌漑研究では，相当量の減産が出穂中あるいは後の深刻な水不足の結果記録された。水不足が作物に一番大きく影響を与えるのは登熟期で，中程度の水不足さえも著しい減収につながることがわかった。

出穂前後の水不足は株当りの穂数，穂当りの穎花数，小穂花当りの穀粒の数を減じた。また，成熟に先立つ水不足は穀粒の重量を大きく下げた。

同研究から得られた結論は，穂ばらみ期以前の春麦の灌漑は，葉の萎縮からも判るような深刻な水不足が生じない限り効果がないことである。深刻な水不足は穂ばらみ期後は避けねばならず，生長期の水分が登熟前に枯渇してはならない（Robins & Domingo, 1962)。

<収　穫>

植物から穀粒への同化物質の供給が止まったとき穀粒が成熟したとみなす。この時期の穀粒はしまってはいるが，かたくなく，14％以上の水分を保有している。序々に穀粒は水分を失い，小さくなる。これが，今なお中東で行なわれている原始的収穫方法による収穫期である。鎌で刈取られた小麦は石のない丹念に準備されたかたくて，表面を持つ村の脱穀場に運ばれる。

脱穀は一緒につないだ数匹の牡牛を円状に引っぱって穀物を踏み出すか，あるいは役畜に引っぱらせた脱穀板"Luck el dras"を使って行う。板の下側は小さなあらい石が付けられていて，作物上を引っぱると脱粒される。それから穀殻をうちわを使って除き，その後不純物をふるいで除去する。

現在，世界の半乾燥地域の大部分の小麦はコンバインで収穫されている。乾燥地はこの点に関して湿地より有利である。前者では穀物が貯蔵のため充分に乾燥するまで収穫を引き延ばすことができるが，後者では経済的な農家用穀物乾燥機が開発されて初めて可能になった。

近代的な収穫方法では，穀物は袋に詰められず，タンクに集められ，バルクで運ばれ，貯蔵場か特別穀物サイロに貯蔵される。これは重い穀物の袋を扱うやっかいな仕事をなくし，病害虫による損失を減らし，且つ必要な貯蔵面積を節約した。

不思議なことに，この方法は原始的農耕で使われている方法への回帰である。そこでは，原始的な容器ではあるがバルブ貯蔵が原則である。

収穫の遅れは脱粒による穀粒のロスを引起こし，且つ次のシーズンに現われる自生雑草の量を増加させる。

脱穀は粒子の水分が14％以下になってから始められる。もし作物が緑の雑草を含んでいなければ，この水分のままで安全に貯蔵することができる。しかし逆に雑草が非常に多け

れば，まだ青い雑草が直接脱穀を妨げ，且つ貯蔵中の穀物の加熱を誘発する。

作物は草刈機で刈られ，高い切り株畑で数日間乾燥されてから，ピックアップ装置をつけた脱穀機によって脱穀することができる。

5. 病　　害

<銹　　病>Rusts

最も破壊的で伝染力のある病害である。この病気は著しい減産や完全な失敗さえも引起こす。収穫された穀物はほとんどがしほみ，蛋白質の含有量は低い。かび病のダメ－ジは光合成組織の破壊，菌による植物からの水と養分の吸収，及び植物の損われた表外皮を通じての水分ロスの増大によるものである。

黒銹病（茎銹病）Black(or Stem)Rust

黒銹病（Puccinia graminis ssp.tritici）は植物体の緑の部分，特に茎に生じ，植物が成熟に近づくにつれて黒色に化す赤っぽいいぼに特徴がある。この病気は小麦が生育する所ではどこにでも見られるが乾燥地では異常に高い湿度のシ－ズンにのみ流行する。

冬期温暖な地域では赤胞子（uredospores）が小麦の切り株と雑草の上に－年中生き残り，増加することができる。

新しい発生は１～３週間毎に行われる（Leonard & Martin，1963）。

黒胞子（teliospores or teleutospores）は酷寒の冬を生抜くことができる。

多数のヘビノボラス属の植物（Berberis spp.）が代りの枝寄生植物となり，その中でかび組織は強い伝染性の胞子（aeciospores または aecidiospores）が作られる性時期をすごす。

赤銹病（葉銹病）Broum(or Leat)Rust

赤銹病（Puccinia recondita）は乾地よりも湿地と半湿地でより大きな損害を与える。にわか雨の多い暖かくて湿った気候が病気発生には必要である。

菌は気孔を通して小麦苗に侵入し，主に葉と葉鞘を攻撃する。

オレンジ・ブラウンのいぼは黒銹病のものよりは小さい，が同様に植物が成熟するにつれて黒色に変わる。

赤銹病の生活環は黒銹病の場合と同様で，他の枝寄生植物はThalictrum 種（meadowrue，牧場ヘンル－ダ）とIsopyrum（Ranunculaceae，ウマノアシガタ科）である。赤の時期は自生小麦については冬を通してつづく。ほとんど全部のマカロニ小麦は赤銹病に強い（Dickson，1956）。

黄銹病（縞銹病）yellow(or stripe)Rust

黄銹病の繁殖は高温乾燥気候によって阻止される。従って，乾燥と半乾燥地域では目立

った被害はないがたまたま春の冷涼気候がつづくと，罹病率の高い品種を全滅させるような力を発揮する。

小さな，明るい黄色のいぼが穂や芒を含めた植物の緑の部分全体に現われる。その後いぼは癒合して長い縞になる。

このかびの寄主植物は小麦以外のイネ科植物では知られていない。銹病は種子伝染はしないので罹病した小麦から収穫した穀物を使用しても危険はない。但し，しぼんで品質は良くない。銹病の胞子は風で長距離伝播し，条件が良ければ山火事のようにたちまち伝染する。

〔注〕：カナダの北西部に飛んできた黒銹病と胞子が観察された。 そのうちの基の胞子はN.W.T.,Cape Bathurstに近い北極洋沿岸を越えて飛来したものだった（参照：Svensk Botanisk Tidshrift, 45(2), 320-54,1951）

冬小麦銹病は多くの生理品種（レース）を持っている。新しいレース（それらのうちの多くは非常に危険である）－は胞子形成中に生じる異なる生態型との交配や突然変異の結果出現する。

抵抗性品種の採用が防除の基本である。抵抗性品種に被害を与える新しいレースの継続的出現と新抵抗性品種育種計画の必要性が章XV 川，巻1で討議されている。

代替寄主植物，たとえばヘビノボラズ属のような植物の根絶が実施される主な予防手段である。これによって黒銹病菌の生活史を破壊し，交雑による寄生種の遺伝的変化を阻止する。

石灰硫黄合剤・ダイセンのような多くの殺菌剤で病気を防除することはできるが，感染期に一連の予防的散布が必要である。

＜セプトリア　ごま葉枯れ病（Septoria tritici）＞

この病気は小麦が栽培される所ではどこでも起こる。小さい斑点のしみが葉に現われ，葉を殺し，穀粒をしなびさせる。駆除方法は輪作と野生小麦の除去である。有機水銀化合物による種子消毒も効果がある（Dickson, 1956)。

＜根　腐　病＞

Pythium Root-rot

Pythium Root-rot (Pythium sppにより起こる）は小麦を連作する湿った土壌で大きな被害を与える。病気の発生は土壌の持りと窒素肥料過多によって増大する。豆科植物を含む輪作は病気の発生を減少させる。

小麦立枯病

立枯病（Ophiobolus graminis）は特に小麦が連作される乾燥冬麦地域に多い。

オーストラリアではこの病気により５０％の減収も起こりうる（Butler，1952)。発生は出穂時に見られ，植物体は黄色になり，しほみ，やがて白くなる。非感染作物を含む輪作が防除効果がある。

＜穂　の　病　気＞

裸黒穂病（Ustilago tritici と U.nuda）は半湿小麦生産地に最も多いが，近東のような半乾燥地域や小麦が連続栽培されない地域でも起こる。

花苞はゆるんだ胞子群に代わり，満開にある正常な穂は黒穂病にかかった穂から飛来する胞子により感染する。

胞子は花の中で萌芽する。病気にかかった種子は健康なものと見分けはつかないが菌を含んでいる。

菌に犯された種子が発芽すると生長を始め，植物体内で発育する。この黒穂病は健康な種子を使用することにより防除できる。健康な種子は清潔な畑から，あるいは生命力を損うことなく粒子内の胞子を殺すことにより得ることができる。

嫌気性処理方法は密閉した容器の中に水につけた種子を置く。菌は湿った種子の中では活動するが，酸素欠乏により死ぬ。

なまぐさ黒穂病（Bunt）

これはTilletia caries 菌により，小麦が栽培される所で起こるが特に乾燥地域に多い。種子処理による防除方法が知られる前は大きな収量低下の原因であった。

感染した植物の頭部は穀粒の代わりに黒い玉をつける。脱穀中に玉ははじけて，胞子が健康な穀粒に付着する。病気の小麦はトリメチルアミンによって生臭いにおいがする。

＜ウイルス病＞

小麦にはいくつかのウイルス病が発生する。えそモザイク病は硬実の赤い冬・春小麦に発生し，多くの雑草が寄主植物となる。小麦のAceria tulipae によって広がる。葉に黄緑の縞ができ，白化して死ぬ。植物は生育をやめ，しほんだ穀粒の小さな頭をつける。病徴は主に高温によって発現する（Dickson，1956)。

冬麦の遅播き，春麦の早播き，そして自生の麦や枝寄生植物を破壊する清潔な耕作は病気を減少させる。

抵抗性品種は知られてはいないが，若干のものは多い環境下で，耐病性を持っている

(Heyne et al., 1964)。えそモザイク病は種子感染ウィルスである。

<非寄生性病害>

小麦の穀粒は通常半透明，ガラス状または不透明で硬いが，これらの特徴は環境条件によって影響される。部分的にガラス状の小麦は"まだら"あるいは"黄実"と呼ばれる。

開花後のN不足と高い土壌水分がまだらの原因であるというのが通説である（Lipaett, 1963)。

まだらは通常より低い蛋白質と低い品質につながっている。窒素施用はまだらの繁度を少なくする。

6. 虫　　害

<wheat-stem maggot>

wheat-stem maggot（Meromyzz spp）はアメリカ，ヨーロッパアジアで発生する。成虫は最初青味がかった緑色で時が経つにつれて黒い縞を持つ黄色に変わる。活動中のうじは細く，光沢があり，青味がかったグリーンである。

幼植物では，幼虫の食害により一本以上の分けつが死んでしまうことがある。完全に生長した小麦では，穂を早く乾燥させ，粒子をしなびさせる結果となる。

効果的な防除手段はまだ判っていない（Dahms, 1967)。

<あ　ぶ　ら　虫> Aphids

多くの種類のあぶら虫が小麦に深刻な被害を与える。その中でも最も有害で分布性の強いものの一つがGreenbug（Schizaphis graminum）である。

この虫はアメリカ，ヨーロッパ，アフリカ，アジアで広く発生する。

あぶら虫は樹液を吸い，植物組織中に有毒な液を注入して害を与える（Chatters & Schlehuber, 1951)。

いくつかの有機燐系殺虫剤，例えばパラチオン等が有効である。

<Wireworm>

多くのWireworm類の幼虫が小麦に被害を与える。幼虫は細く，かたく，光沢があり，動作が緩慢で，三組の短い足を持っている。

完全な成虫になるには1～9年がかかる。幼虫は発芽中の種子，根，茎の地下部を食害し通常植物を枯死させる。

γ-BHC，アルドリン，ディルドリン　などの農薬による土壌消毒が効果的である。

(Dahms, 1967)。

<根 切 り 虫> cutworm

Army Cutworm(Chorizagrotis auxiliaris) とPale Western Cutworm(Agrotis orthogonia)のような根切り虫が米国の半乾燥地域では大きな経済的被害を与えている。

幼虫は地下の植物体を噛い荒す。両方ともDDT (注) のような有機塩素系殺虫剤で防除することができる (Dahms, 1967)。

〔注〕：持続性があり，生態系を破壊し，人間の健康を害する漸増的効果を持つために，現在では使用に反対する意見が多くなっている。

<suni bug>

SUNI BUG (Eurygaster integriceps) は植物と穀粒から液を吸取る黄茶色の虫である。収穫を含めた穀物の製粉品質はその破壊行為によって低下するだろう。
パラチオンの散布が効果的である (Rivnay, 1960)。

<sawfly (はばち)>

多くの種類の蜂が小麦に被害を与え，Black-grain Stem Sawfly (C.tabidus) は北アフリカと東南アジアで発生する。成虫は黒と黄色ですずめばちに似ている。足のない幼虫は小麦の茎にトンネルを掘り，植物体を弱らせ破壊する。幼虫は農薬に強い。

天敵が通常ははばちを制御する。輪作と耕起をして切り株を完全に覆うことが効果的な防除手段である。

<hessian fly (麦ばえ)>

麦ばえ (Mayetiola destructor) は温暖な地域の重要な小麦害虫である。旱魃はその繁殖には向かないが，カリフォルニヤ，オレゴン，北アフリカのような半乾燥地帯には発生する。成虫は長さが3㎜程度の黒っぽい体を持ち，数時間しか生存せず，葉の表面に赤くて円柱状の卵を生む。幼虫は最初は赤いが，後白くなり，植物汁液を吸って生き，幼植物の枯死と出穂後の倒伏を引起こす。幼植物の感染を避けるため播種時期を変えることと自生小麦を無くすことは非常に有効な予防手段である。

麦ばえに強い品種が開発されたが，全品種が全部のはえ科に強いわけではない。

<Grain moth>

Grain moth (Syringopais temperatella) は近東の旧式栽培条件で育つ小麦の最大の害虫である。成虫は毛で縁取られた茶黄色の羽根を持つ小さな蛾で，その卵は春に地中にうみつけられる。一週間後に黒い頭と足を持つ黄茶色の幼虫が現われる。えさが見つからないと幼虫は地中にもぐり，そこで夏をすごし，充分に雨が降った後に若い小麦が分けつし始めた頃だけ現われる。その後幼虫は黄色に変わった葉に取付く。被害をうけた植物の大部分が枯死することもある（Rivnay, 1960)。

grain moth は近東の伝統的農業では至る所で発生し，被害が甚大なためファラーの "el Doodeh" -害虫と呼ばれている。

蛾を完全に退治するには近代的農機具を作ってより深く且つ充分に鋤返して，害虫が土壌から出て来て植物体を喰荒すのを防ぐことである。

<angoumois moth>

Angoumois の成虫（Sitotroga cerealella)は小さく，黄茶色をしている。

温暖な地域では畑の穂の上に卵を生み，幼虫になって穀物の中に押入る。成虫（蛾）は貯蔵期間中に発生し，次の世代が貯蔵穀物に被害を与える。温暖な地域ではひと夏に4～6回の世代交代が行なわれるため（Rivnay, 1960)，貯蔵穀物の損害は大きなものとなろう。コンバインにより収穫された穀物は幼虫が脱穀シリンダーの動きによって殺されるために被害からまぬがれる。

<rice weevil (コクゾウムシ)>

コクゾウムシ（Sitophilus oryzae)の成虫は長さが約3㎜の小さな茶黒色の虫である。穀物は畑においても被害を与えるが，主なのは貯蔵中に起こる。卵は穀物につけた穴の中に生みつけられる。白い足のない幼虫が数日後ふ化し，穀物の内胚乳を喰荒す。夏になると昆虫は四週間に満たない生活史を終える。雌は数百の卵を生む能力を備えているため，短期間に大きな被害が生じる恐れがある。

個人農場では，再使用前に貯蔵庫を清潔にし，最初の被害の徴候で消毒することが大切であろう。

<昆虫以外の害虫>

大部分の小麦の被害はMierotus gueniheri,Meriones tristrani のような野ねずみによってもたらされる。Thallium sulphate をまぶした毒麦や，幼植物にToxaphere を散布することによって効果的な退治ができる。

7. 収　　量

表－１０は半乾燥気候諸国の小麦の年生産量を集計したものである。その数値から引き出されうる最も重要な結論は以下の通り。

(a) 伝統的栽培法にたよる国では，雨量の変動の結果，約５００～８００Kg/ha の間で生産が変動している。

収量による変動率は大きいが，実際の数値では非常に小さい。気候のいい年でもha当り収量の増加は微々たるものである。

(b) 類似した気候下の国でありながら生産に格差があるのは近代的農業と伝統的農業から来たものである。こうした対比については図１３にメキシコとチリの生産傾向として表示されている。

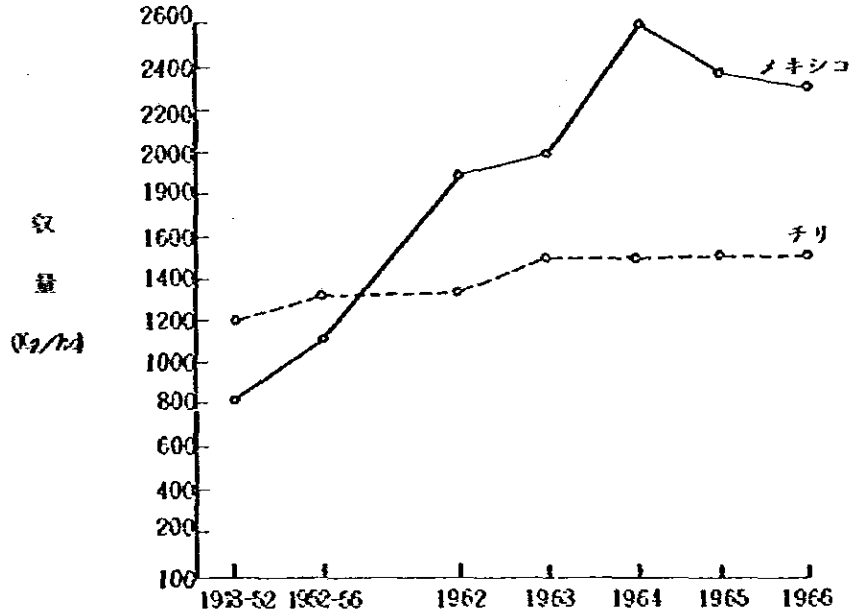


図１３：類似した生育条件を持ちながら対称的進展状態にある国の生産傾向比較。FAO（１９６８）に基づく。

この比較から得られる一つの結論は，気象上の制限因子にもかかわらず，生産技術向上によって収量が二倍以上に増加するのが可能であるということである。三シーズンに亘り各国で得られた最近の平均収量は，メキシコ 2,350～2,570Kg/ha，イスラエル 1,320～2,270 Kg/ha で，同期の収量 3,840～4,250Kg/ha のイギリスのような雨量に恵まれた上にさらに近代化した諸国と比べるとなお低い。

イギリスの例は灌漑による水分供給量向上による増収の可能性を示すものだ。

但し，アラブ首長国連邦の収量2,680～2,770Kg/ha（同年比較）でもわかるように灌漑だけで充分ではない。

（平均収量Kg/ha）

国名＼年度	1948-52	1952-56	1962	1963	1964	1965	1966
Mexico	880	1100	1950	2080	2570	2400	2350
Chile	1190	1280	1260	1510	1550	1500	1490
Cyprus	640	880	980	950	680	1460	920
India	660	740	890	790	730	910	820
Iraq	480	580	680	290	500	590	480
Israel	670	1010	1090	1040	2270	2090	1320
Jordan	700	640	390	370	990	1000	470
Lebanon	730	810	1100	1090	850	720	1030
Pakistan	870	750	820	830	830	860	750
Syria	770	620	970	760	750	860	650
Algeria	620	680	800	830	530	600	430
Morocco	610	690	810	720	780	790	500
Tunisia	490	500	460	590	620	470	540
Australia	1120	1210	1250	1340	1380	1000	1530

表－10：半乾燥気候条件下における小麦収量（F.A.O.，1968）

8. 用　　途

小麦の内胚乳は蛋白質細胞間質に含まれる澱粉粒から主に作られる。内胚乳の主な蛋白質はグリアディンとグルテニンで，ほぼ同量である。

水を加えると"グルテン"の名で知られている膠質状の固まりになる。発酵パンのスポンジのようなN含量の少ない状態を作るのはパン麦のグルテンである。

グルテニンはグルテンにかたさを加えたもので，一方グリアディンはやわらかく，粘着力があり，結合する（Pal，1966）。

小麦の最も重要な用途は焼パン，お菓子，ビスケット等の製粉である。また小麦は朝食ばかりでなくマカロニ用のセモリ－ナ（小麦粉のふるい残り）も作り出す。工場用としてはクリ－ニング，食糧と製紙産業に使われる澱粉の原料となる。

＜小麦の品質＞

マカロニ品種のグルテン固有の特徴はマカロニ産業用のセモリ－ナの製造に向いているがパ

ン粉用には向いていない（Matheson，1959）。

製粉用の小麦の価値を決定する主要素は穀物中に含まれるグルテンの量と質である。グルテンの量は環境要素に負うところが大きく，一方質あるいは特徴は主に遺伝子のコントロールによる。

グルテン含有量に影響を与えを主要素は成熟期間の長さで，この期間が短くなるとそれだけグルテン割合は高くなる。このため，乾燥地小麦生育地域に見られる条件は高グルテン含有量の小麦栽培に適している。通常，植物成熟中の高温と低土壌水分はこの時期を短縮し誘ちなため，高蛋白質小麦を生産することになる。

例外的な環境下では，冷涼多雨の天候が成熟を遅らせるので，穀物はよりかたくなる。

灌漑は，成熟期を延長するとき，少ない窒素とグルテンを含むより重い粒子を作る（Shutt & Hamilton，1934）。

小麦の蛋白質の量は環境ファクターに強く左右される－土壌水分，養分供給，温度，日長及び成熟期の長さなど。

小麦の蛋白質にはアミノ酸リジンが不足している。

一般に小麦の蛋白質の量と蛋白質内のリジン量は反比例する。

Ⅱ　トウモロコシ

1. 生育環境

<温　度>

トウモロコシは，暖地作物で，夏季の平均温度が１９℃以下や，夏の夜間の平均温度が，１３℃以下に下る場所では，栽培されない。（Shaw,1955），発芽の最低温度は，１０℃で，発芽は，土壌温度が１６℃乃至１８℃の場合には，非常に速やかで，かつ均等である。約２０℃の場合には，通常，播種後，５～６日で発芽する。

この時期のトウモロコシの生長は，土壌温度１５℃乃至２７℃で非常に高まり，深さ１０cmに於ける地温がこれより高いと生長は低下する。しかし深度１０cmに於ける平均温度を，１９℃乃至２１℃に高めると，６週間経ったトウモロコシの最高成長力が倍加した。（Allmarasその他，１９６４）。気温が３０℃～３５℃になると，トウモロコシの宗生の硝酸還元酵素作用が著しく低下するので，窒素代謝を阻害する。その結果，たん白質含有量が低下して，たん白質の組成に変化が生じた。（Heyne & Lande,１９４０）。

受粉時に於ける，過度な高温と低湿度とは，受粉と受精に悪影響を及ぼし，着粒数を減らす。この時，土壌温度が低いと，絹糸の抽出がおくれ，結実が更に減る。生産高に悪影響をあたえ始める温度は，３２℃前後と思われる。

耐暑性に及ぼすHeterosisの効果

トウモロコシは生長につれて，高温の影響を受けやすくなる。（HeyneおよびLande,１９４０），自殖と雑種が高温下で栽培される場合，雑種の生育は，自殖が高温障害の徴候を示し，遂に生育できなくなってしまう温度でも，正常なことが観察された。（Mc WilliamおよびQriffing,１９６５）。

この現象の生物化学的根拠は，ホモ接合体の自殖に於ける高温に敏感な，ランダムな一組の遺伝子の累積に由る。これら遺伝子は，温度不安定酵素を造るのに対し，優性効果により，雑種の中に，同じ場所で，熱安定酵素を造ることによる。（Langridge,１９６３），従って，雑種トウモロコシの長所の１つは，耐暑性が高まることと思われる。

<降　雨　量>

トウモロコシにとって望ましい気候は，播種期前に，根部深度までが圃場容水量に達する，土壌を湿らせるだけの降水量で，栽培期間中，最低３７５mmの降水量のある気候である。

トウモロコシは，水の要求量が著しい故に，天水条件下では殆んどが，十分な高温 ― 平均温度２０℃～３２℃，栽培期間１３０日以上の湿潤地域（平均降雨量６００mm以上）で，

栽培される。しかし，湿潤地域に於いても，要水量のピーク時は降水量を上廻るから，かんがいがしばしばおこなわれ，かつ，経済的に正当化されたいま，低緯度の乾燥地域では，高温と低降水量の総合的影響が，天水栽培トウモロコシ生産を右左する重要な要因となっている。

トウモロコシの古い葉の気孔は，1週間以上続く，厳しい旱ばつに，著しい影響を受け，後に好ましい湿潤支配に戻り，葉が膨張を回復し，正常な外観になっても，正常の作用は回復しない。

トウモロコシは，生育初期の方が後期よりも旱ばつ抵抗があるのはたしかである。生育初期に萎凋した葉は，土壌の湿潤状態が改善されると，通常，完全に回復してCO_2を吸収するのに反し，後期の段階で，旱ばつをこうむったトウモロコシは，完全に回復しない。そのために，生育後期の旱ばつ害を回避するために，東アフリカの旱ばつ地域で普通おこなわれているようにトウモロコシの播種をはやくするのが好ましい。であるから早播きしたトウモロコシは，おそ播きしたトウモロコシが，湿潤な状態で播種できるにもかゝわらず有利である。又，おそ播きトウモロコシよりも，栽培期間が長い長所がある。（Glover，1959）

トウモロコシはかんがい条件下では，低緯度の乾燥地域で栽培される全穀作物中，最高の生産能力がある。高緯度地域では，初期の温度は涼し過ぎる上，栽培期間は，トウモロコシの生産を十分にさせるには短か過ぎる。

＜日　　長＞

トウモロコシは短日植物である。長日は，栄養生長期，葉数，植物体の大きさなどを高める。

＜土　　壌＞

トウモロコシにとって理想的土壌とは，保水力の高い，深い，中程度のきめの，排水のよい土壌である。しかし，広範な土壌条件下でも栽培でき，作物を充分に管理すれば，高収穫量が得られる。最適のPHは弱酸性から中性土壌である。

＜塩分濃度＞

トウモロコシは，発芽中は，耐塩性が高く，塩分濃度の増加は，発芽をおくらせるが，或る時点までは，出芽率に決定的影響は及ぼさない。（KaddahおよびGhowail，1964）しかし，トウモロコシは，塩分濃度に比較的敏感と思われる作物に属するから，塩類土壌に於ける栽培あるいは塩水によるかんがいには適さない。

2. 生　育

<発芽，出芽，栄養生長初期>

温暖な高湿の条件下では，播種後，4，5日で出芽する。温度が最適以下の場合，14日以上要する場合がある。播床の水分が足りなくても，出芽がおくれる。鞘葉が地表に出現するとすぐに，最初の本葉2枚が発育を始める。栽培条件が好ましいと，3日に一枚の割合で葉は輪生に展開する。通常，苗は2週間で，5，6枚の開いた葉と，充分に広がった初生根系があるので，穀粒の中の貯蔵養分にもはや頼らない。以後，葉の急速な生長期間が続く。

<雄穂形成>

雄穂形成は，4枚目の葉が出葉してからはじまる。この段階では，幼葉の形成はすでに完了し，葉数は遺伝因子，日長その他環境的諸条件により，すでに，最終的に決定されている。これは，出芽後約3週間に生じるが，この時苗の長さは，35～45cmになる。この時点の生長点は，依然として，土表面の上数センチにすぎず，葉が高さの大部分を占める。数日後，生長点の外観と機能は変わり，幼雄穂が認められる。（Hanway.1962）。

<雌穂形成>

雄穂形成から7～10日後に，幼雌穂が生長点の横に形成しはじまる。

花芽形成から雄穂抽出間の栄養生長

花芽形成後わずかで，全葉の展開を終了させる。茎は，急速に伸びはじめ，栄養吸収速度が急速に高まる。葉の面積が5～10倍に増え，茎の長さが，5～100倍に伸びる。

全葉が最大面積に達するまでに，最初の3乃至4枚が，機能を失う。この段階では，雄穂は十分に生長するが，輪生の葉の中に囲われている。

<生殖生長>

雄穂が形成されて約5週間後，最上部の節間が急速に伸び，雄穂が現れ，数日後に，花粉を落す　2・3日後に，糸が現れ，受粉するまで伸びはじめる。これは，トウモロコシの生育にとって，最も重大な段階で，水分と養分の要求量が最高に達し，この期間中のこれらの不足は，収穫高に重大な影響を及ぼす。

<受　　粉>

トウモロコシの花粉は通常雄穂が受粉可能になる２～３日前には成熟して落ち始め，他家受精を促す。多くの昆虫が飛来するが受粉は殆んど風媒による他家受粉である。花粉は，絹糸に着いて密着する。各花粉粒子は，絹糸上のどこでも発芽できる。受粉は，１４日以上続く場合がある。通常３～５％を超えないが限られた量の自家受粉がおこる。乾燥地域に於ける高温で乾燥した気候では，通常，受粉期間は短く，数日を超えない。絹糸抽出のおくれは，受粉が不完全になる可能性がある。

<穀粒の生産>

受粉後，一切の栄養生長は止まり，雌穂が約３週間，急速に生長する。最上部の穂の包被が最初に現れて，急速に成長しはじめる。包被の中の穂は，最初は，約２５㎜の長さであるが，間もなく急速に伸びはじめる。各節には，穂原が認められ，単一穂のハイブリード種に於いては，原則として１穂だけが出穂し受粉されるから，ほかの穂は成熟しない。しかし，多産性のハイブリード種に於いては，１本以上の穂が現れる。

穀粒には，乾物の蓄積期間が続き，トウモロコシが，生理的に成熟して，乾物の蓄積が止るまで絹糸抽出後約６０日間，毎日一定の速度で続く。その後，水分喪失がおこり，その間に，穀粒が熟して，葉茎の残りは枯れて死ぬ。

<乾物の蓄積>

トウモロコシに於ける乾物の蓄積は，典型的なＳ字型曲線をたどる。出芽後，乾物の生産は，最初は遅々としているが，６週間たつと，急速に加速する。その後，およそ２ケ月間に乾物の蓄積は，均一になり，雄穂の出穂時までに，最終量の約半分が造られる。乾物の最大生産量は，雄穂出穂時と絹糸抽出の期間に生じる。（Sayre，１９４８）成熟すると，生産された全乾物の約半分は，穀粒となり，主として，でんぷんの形をとる。（Sayre，1955）。

<根の組織>

メソコタイルの下部に生じる幼根または初生根および種子根は，一次根系を形成する。その後メソコタイル上部（胚軸上部）にクラウン（冠根）と呼ばれる新らしい根群を作り，これが永久的な主根系となる。

根の生長は，受粉がおこる時までに事実上止る。成熟すると，根の２％（重量）が，地下６０㎝にあるにとゞまる。

平均的なトウモロコシの，根の乾物重は３０グラムにすぎない。

3. 品　　種

トウモロコシの品種は，たゞ1つの種属，Zea maysに属するが，最も多様な環境状態に適応された品種の数は顕著である。ある早熟品種は，70cm以上には伸びないことや播種後約50日で穀粒の成熟することが判っている。又，ある極端な品種は，高さ7mに生長し，栽培期間が300日を超えるものもある。

<品　種　群>

トウモロコシの品種は，大きく6つに分けることができる。これらは完全に累系交配ができる。これらの違いは，僅かな遺伝因子に因る。

デントコーンまたは馬歯種トウモロコシ

このZ.mays indentataは，成熟穀粒のcrownの中のへこみ（dent）が特徴である。胚乳は，大体等しい割合のやわらかい粉状のでん粉と，堅い角質でん粉とから成る。粒の中のへこみ（dent）は，柔らかなでん粉の収縮によって生じ，これは大体，粒の中央にあるのに対し，角質でん粉は ── 穀粒の両側にある ── は，収縮が小さい。

フリントコーン：

フリントコーン（Z. mays indurata）は，円い粒が特徴である。胚乳は，主として，角質でん粉から成り，穀粒の中央に，粉状でん粉の小さな芯がある。フリントコーンは，一般に，デントコーンよりも，生長力が強く，分げつの傾向が大きく，成熟が速い。

スイートコーン

スイートコーン（Z. mays saccharata）には，糖分の大部分がでん粉になる胚乳がある。穀粒の成熟中に，胚乳を乾かすと，穀粒が収縮してしわになる。この種のものは，生食用やカン詰め用に，未成熟のまゝ収穫される。

ポップコーン：

ポップコーン（Zea mays everta）は，穀粒の先端が尖った形をなし，胚乳は殆んど，全く角質である。加熱すると，胚乳は，「ポン」とはじけ，容積が最大30倍に増える。

ワキシーコーン

このグループの胚乳でん粉（Z. mays ceratina）は，完全にアミロペクリンから成り，タピオカでん粉と同じような特性がある。

栽培されている品種の殆んどは，はじめの２つのグループ，デントコーンとフリントコーンに属する。デントコーンの変種は，最大の生産能力があり，フリントコーンは，広範な栽培条件によく適応する。

<ハイブリードトウモロコシ>

ハイブリードトウモロコシの生産方法と，伝統的な自然交配種に対する優越性は，充分に知られているから，こゝで詳しくのべる必要はない。

トップ交雑と複交雑とは，農業に於いて使われている主な方法である。単交雑は，ほかの交雑よりも，生産性と均一性で上廻る可能性があるが，種子の生産には，ほかのよりもずっと費用がかゝる。単交雑は，通常かんがい栽培条件下でその長所を発揮するのに対して，複交雑は，天水栽培にも広く用いられている。

ハイブリードの高収量能力は栽培環境条件が好適で，その長所が発揮される場合には多収を結果するが，原始的方法や不良栽培条件下で栽培されるときは，自然交配の品種に劣る可能性がある。単交雑と複交雑は，通常，トップ交雑よりも劣る。受精が暑い乾いた気や土壌の水分の不足などの恵まれない気象条件下でおこなわれる場合には，非常に均一な，単交雑や複交雑は不利である。自然交配種と程度の低いトップ交雑は，ずっと不均一であるが，長期間，花粉を生産し続ける。この受粉期間の少なくともある時期は，恵まれた条件を得られる可能性が高い特性は，受精が数日で終ってしまうハイブリードよりも有利である。要するに，ハイブリードトウモロコシの利用は，改良された栽培技術や恵まれた，或いは管理された水分供給と結び付けなければならない。

多収性ハイブリード

昔は，単穂（single-eared）トウモロコシは，穂の大きさに人気があったことゝ，手で収穫するのが原則であった時には，収穫がずっと容易であったために，多穂（multi-eared）トウモロコシよりも好まれた。

多穂（multi-eared）トウモロコシは，トウモロコシとテオシントとの交配により，開発された。これらハイブリードの穀粒は，通常，たん白質が平均１２～１４％あるのに対し，テオシントは，単位乾燥重量当り，トウモロコシの約２倍のたん白を含有する。

コンパクトハイブリード

コンパクトと呼ばれる半矮性の突然変異体は，植物全体の大きさが，比較的に小さいのが特徴である。地力の高い，管理された水分の供給条件下では，コンパクト自殖は，最適な栽植密度下に於いて，通常のハイブリードよりも，生産能力の勝れていることが確認されてい

る。

コンパクトハイブリードでは，ずっと高い栽植密度水準が可能となった。栽植密度を極端に増して通常のハイブリードの半分が穂をつけないレベルまで密植してもコンパクトハイブリードは良い結果を示した。

生育初期の段階ではコンパクトと通常のハイブリードを区別するのはむずかしい。成熟すると，前者は後者の草丈の半分しかない。開花中の，コンパクト苗の栄養生長は非常に制限されるから，雄穂形成と生長のために，光合成産物を多く使える。

コンパクトハイブリードは，多穂性単一稈タイプをはじめ，着穂率の高い分げつ型のものなどあり，目下，研究中である。

＜雄性不稔＞

ハイブリード種子の生産に於いて，雄穂除去の必要をなくすため，多くの自殖系統に，細胞質雄性不稔と花粉回復のための遺伝子の組み込みが行なわれている。

4. 肥培管理

＜連　　作＞

トウモロコシの連作は，しばしば用いられている方法である。充分な肥料養分の供給があったり，適切な栽培方法が守られる場合には，トウモロコシの連作は，ほかの多くの作物よりも収穫高に及ぼす悪影響は少ない。しかし，トウモロコシを連作した畠からとった土壌での発芽は，輪作した畠からとった土壌よりも劣ることが判り，種子の発芽を損う微生物の数や毒性が，トウモロコシの連作によって増えることが明らかになった。（Hooks および Zuber，1963）。

トウモロコシは，てん菜，豆類，アルファルファ，わた，その他，青刈飼料や干草のために植付けられる冬まきマメ科作物などの後にも栽培される。

＜農作業と播床の準備＞

ミニマムティレイジによる栽培法はほかの作物よりも，広範囲に試験され，他の作物よりも広く採用されている。

トウモロコシのミニマムティレイジは，一般的に従来の耕うんによるものと比べて，同等か或いはむしろそれ以上の収穫高が得られた。（Doren および Ryder，1962）

ネブラスカ州では，大体２５cm巾のうねにあたる部分の表面残留物を畦の間に集める方法によって，在来の方法よりも，幾分高い収穫高が得られた。（Lane，1961）

トラクターにアタッチするウィール式植付けが，最も広く用いられている方法である。適度な土壌水分の時に，耕起をすれば，殆んどの土壌で，すぐれた播床が得られるであろう。（RossmanおよびCook，1966）

<肥　　料>

恵まれた栽培条件下で，高収量を得るには大量の植物養分の供給が必要になる。10,000kg／haの穀粒の収穫高をあげるのに，総計25,000kg／haの乾物の生産を要し，このうち，約半分は穀粒のでん粉成分から成る。この程度の生産をあげるのに，約300kg/haの窒素と，８０kg／haの燐，２００kg／haのカリウムを要する。

トウモロコシの窒素と水の需要は，乾物の増加と直接関係がある。吸収量は，生育初期では低いが，乾物の蓄積量が増すのにつれて，急速に増え，後の穀粒の登熟段階になると，増え方が緩慢になる。（図３２）（Hanway，１９６０）

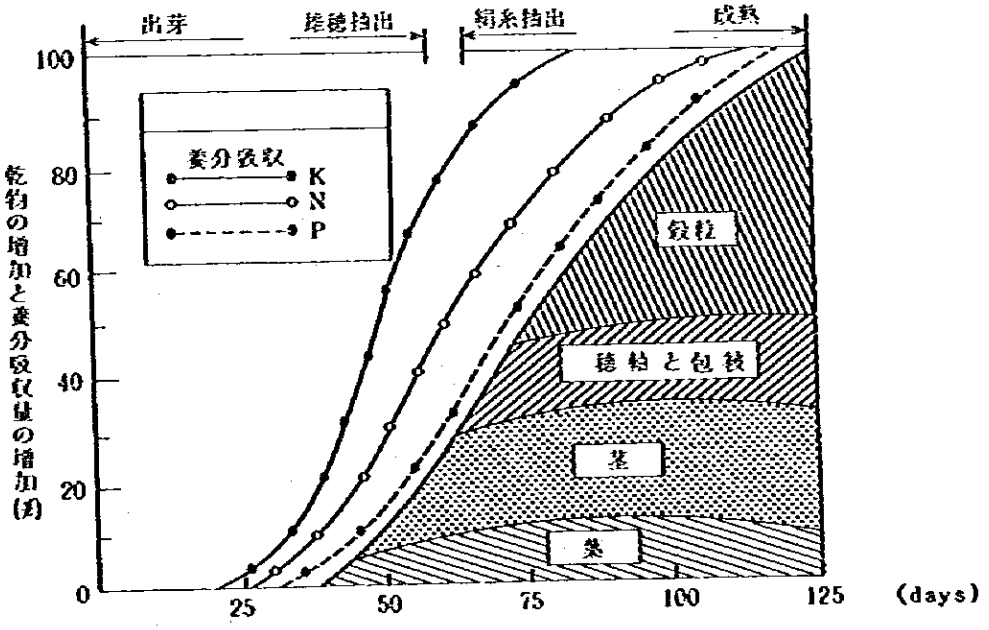


図３２.　トウモロコシ各部の乾物増加と養分吸収（Hanway，１９６０より）
アイオワ州立大学。

窒　素

栽培環境が良好な場合，トウモロコシは，大量の窒素の吸収に有利に反応する。ハイブリードトウモロコシに，窒素施肥がプラスされると，収穫高は，3,000kg/ha 増える。土壌固有の地力が低ければ低いほど，この反応は大きくなる。最大の反応は充分な栽植密度，土壌の適度な水分である。（図３３），作物の予想収穫高は供給される最大窒素量によって定まる。大ざっぱに言って，穀粒生産高１００kgごとに，穀粒中に 1.8 kgと地表上の植物体の部分に 1.0 kgの窒素が必要で，これらは土壌と肥料により供給しなければならない。（Kurtz および Smith，１９６６）

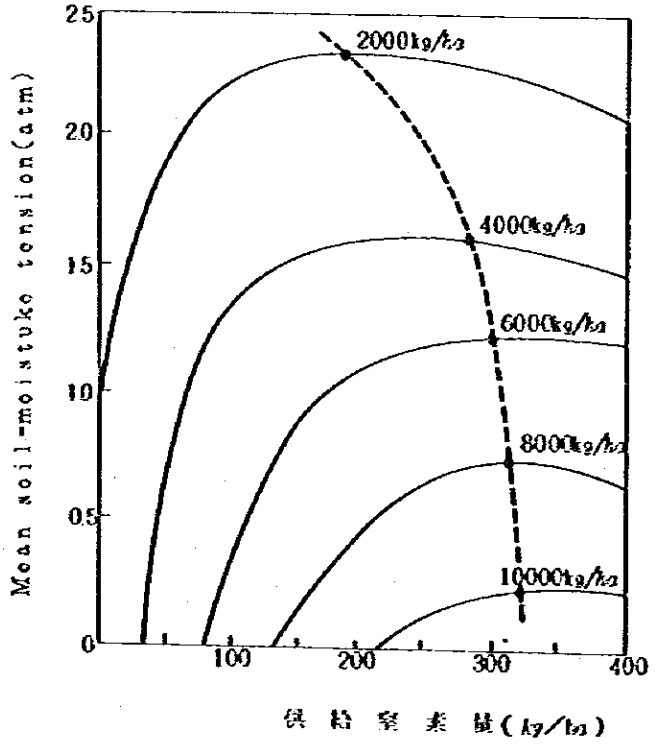


図３３．トウモロコシ収量に及ぼす窒素施肥と土壌水分の効果，Shimsi（１９６６）より。破線の結合点は，施肥に対する最大収穫量

窒素の通常の使用量は，１ヘクタール当り，１００～２００kgである。肥料に対するトウモロコシの生育に及ぼす，制限要因の影響は，メキシコに於いておこなわれた２２回の肥料実験の結果が充分物語っている。（表XIII）

生育段階に及ぼす窒素の効果

幼植物体内の窒素含有量は，生長サイクルに於けるほかの段階に於けるよりも高いが，窒

素の実際の必要量は非常に僅かで，1ヘクタール当り，数キログラムにすぎない。しかし，苗が20cmの高さになった頃の不足は，穂当りの穀粒の列の数を減らすので，最終収穫高が減り，後日，充分に供給しても，克服できない影響を及ぼす。
（Schreiberその他，1962）

穀粒対茎葉

窒素肥料の施肥効果は，大麦，小麦の葉茎対子実比が栄養生長面に強く出るのに対して，トウモロコシははるかに子実重増の効果が強い。

たん白質の含有量と質

高単位の窒素施肥は穀粒のたん白質の含有量を高めるが，たん白質の生物学的価値は，均一に併行的に減少する。

表XIII　非かんがいトウモロコシの穀粒収穫高（トン／ha）
窒素施肥量を変えた22の実験（ロックフェラー財団，1965）

	窒素施肥率（kg/ha）			
	0	40	80	120
Average for the 22 experiments	1.08	2.14	3.08	3.71
Average for 12 experiments not seriously affected by drought	1.16	2.47	3.65	4.41
Average for 3 experiments severely affected by drought	1.71	2.26	2.13	2.28
Average for 5 experiments affected by Helminthosporium turcicum	0.53	1.41	2.47	3.13
Average for 2 experiments severely affected by an excess of soil moisture	0.89	1.04	1.78	2.54

全処理区の燐酸施用量は60kg／ha

トウモロコシたん白質は，必須アミノ酸であるトリプトファン，リジン，メチオニンなどが少ない。これらは，窒素施肥によっても，たん白質の総量ほどには急速に増えないから，これら本質的アミノ酸の相対的比率が低下する。（Mitchellその他，1952）。

根の生長

恵まれた状態の下では，トウモロコシの根は，かなりの深さまでのびる。ネブラスカに於ける試験では，窒素施肥により，生長期の初期には，後期よりも，深くかつ広大な根系を形成した。播種後，40～65日の期間に，施肥区は，非施肥区と比べて，重量にして3倍

の根が形成された。これらの違いは，成熟が増すのにつれて減少した。（ Linscottその他，１９６２）。

窒素欠乏の徴候：

葉の初期の成育の緩慢と黄緑色，下葉の早期老化は，窒素不足の症状である。しかし，窒素の明らかな不足は，不規則な水分の供給による場合がある。吸収できる窒素の大部分は，土壌の上の層にあって，この部分は，かんがいや降雨の間隔が開くと乾燥するので，苗は，必要とする充分な窒素が吸収できなくなる。

燐　酸

生育段階に於ける効果

トウモロコシは，生育期間中に亘って燐酸を蓄積する。最大の吸収量は，播種後第３週から第６週の間である。（ Sayre，1948 ），摂取される燐酸は，大体，乾物の蓄積と平行しており，生育初期には，乾物の蓄積にやゝ先行するのに対し，後期には幾分おくれる。成熟すると，地表上部分の燐酸の約７５％は，穀粒に転位する。

葉の燐酸の含有量は，生育期の中頃には，最大量に達し，生育が進むにつれて，次第に減少する。（ Sayre，1955 ）。

燐酸の要求量

燐酸に対するトウモロコシの反応は，前に説明した理由により，窒素に対するほど，目ざましくなく，かつ変化が大きいが，（第１巻を見よ）不足は，収穫高を著しく制限する。

特に，過去に於いて，高い収穫のあった圃場で燐酸が回復されていない土壌では，著しい反応があると思われる。これに対し，燐酸を数年施肥しても，蓄積的残効の結果，反応は，僅少になる可能性もある。通常の施肥量は，１ヘクタール当り，５０kg～６０kgである。

施肥位置

燐酸肥料をほどこす最も効率的な方法は，播種時に，種子の横５cmの下５cmに，一連の帯状に施用することである。燐酸肥料を若干のアンモニヤ窒素と混ぜると，燐酸肥料の効果が高まる。（第１巻を見よ。）

燐酸の不足

これは，診断が必ずしも容易ではない。初期成育の緩慢，紫がかった暗緑色が非常に典型的であるが，これらは燐酸の不足以外の原因に依る可能性もある。或品種では，苗の葉と茎

の紫がかった色合は，苗の中に糖分が蓄積した結果，アントチキン色素が形成されたためで，正常な徴候である。トウモロコシの根や地表土部分に対する昆虫による損傷もこれと同じ症状を呈する場合がある。

燐酸の不足した苗には，受粉中に，糊糸の抽出がおくれたり，穂穂の欠陥が生じる。

カ　リ

殆んどの乾燥地帯の土壌では，水分の供給が充分でないとか，他の制限要因によって生産高が抑制されている場合，通常，カリに対する反応はない。しかし，かんがいや，栽培されるハイブリードの生産性の改善など，作付けが広範になり，収穫高が増えるにつれて，遅かれ早かれ，カリの不足が現れる。カリウム不足の苗は生育がおそく，葉は薄黄色の黄色のすじが生じ，先端とへりが枯死する。苗は矮小であるが，根の生育が悪いために倒伏しがちで茎が腐る可能性がある。

施肥量

トウモロコシの苗が摂取するカリの量は，窒素よりも幾分少ない。10,000kg/haの穀粒の収穫をあげるのに，約２００kg/haのカリウムが必要である。しかし，カリウムの殆んどは，穀粒に移行せず，少なくとも一部は，根系を経て，土壌に戻ると思われる。（Sayre，1955），根の部分に於ける置換可能なカリウムの量は，穀粒によって取除かれる実際の量を遙かに上廻るに違いない。カリウムの大部分は，トウモロコシが吸収し，植物体内に入る前に，根の表面に拡散しなければならないからである。（KurtyおよびSmith，1966）。

カリウムの相対的な摂取速度は，窒素や燐よりも速やかで，約３０日早くピークに達する。トウモロコシが成熟する数週間前に止るが，窒素と燐の摂取は，トウモロコシが最大の乾物重に達するまで続く。葉のカリの含有量は，生育のはじめの最高水準期から減りはじめ，生育の終りには，非常に少なくなる。（Sayre，1955），MossとPeaslee（1965）は，カリウムの不足した外観正常の古い葉は，補助的な光線を与えても，他よりも，光合成率が低いが，充分なカリ肥料をほどこせば，これが回復されることを発見した。そして，トウモロコシの下葉は，充分な水分と窒素を与えると，同じ密度と光線を受けた若い高い位置の葉と殆んど同じ割合で，CO_2を同化でき，従って，葉の老化は，葉令だけでは決定されないと言う結論を下した。

塩化カリウム中の塩化イオンの効果

うね間に施肥した場合，塩化物の割合が５０～１００kg/haだと，トウモロコシは減収する。散布方式だとこの効果を軽減する傾向があった。Kclの施肥が少ないと，Clイオンは

有益で，収穫高を増した。（YountsおよびMusgraue，1958）

多量要素をほどこす時期

図32と図33に示された栄養物の摂取曲線は，圃場で実際に施肥する際の特定の指標にはならない。

燐とカリウムは，土壌中の移動がおそいので，それぞれの摂取曲線に従って分割施肥ができない。唯一の実際的な解決法は，播種前に充分に施肥して，常時，土壌分解の更新率を充分にしておくことである。

この状況は，窒素の場合には違う。窒素は，施すと苗は急速に吸収できる。しかし，一般に余分の費用をかけてする分割施肥は，集中的窒素施肥の危険のある場合に限り，正当化される。これは，殆んどのかんがい方法の場合に，特に，塩分の集積を防ぐために，過大の水を施す場合に現実となる。しかし，地上かんがいにより，根の分布域内の水分不足により，水を与える場合，播種時の基肥施用だけよりも，分割施肥は利益がない。

微量要素

かんがいにより栽培されるハイブリードや高収量品種と高水準の施肥とは，大体，土壌がもはやよくならない状態で，微量養素を消耗させつゝある。或る種の微量要素欠の場合，微量要素の追加は，1つ以上の微量要素の吸収と，相容れない場合がある。例えば，或る種の土壌と気象状態の下では，燐酸によって誘発される亜鉛不足が，かんがいされたトウモロコシに生じる可能性がある。これは，根部内のP対Znの結抗作用に因ると思われる。（Burlesonその他，1961），同じような結抗作用は，カリウムとマグネシウムとの間にもおこる可能性がある。

不足の予防手段として，微量要素の「散弾銃」的混和物を施すのは，或る種の微量要素が有害水準に達する可能性が非常に高いので，望ましくないが，不足が現れた場合には，綿密に検討して，修正手段をとらなければならない。

<播　　種>

播種期

かんがい条件下でトウモロコシの収量に最も好ましい結果が得られるのは，土壌温度が深度7～10cmで，15～16℃に達したら，速やかに播種することである。地中海型の気象の地域では，これは，通例，四月のはじめである。

トウモロコシの播種が早いと，最適温度期間中に，栽培でき，夏の厳しい暑さの前に，出穂と受粉がおこなわれる。115日乃至123日の栽培期間の品種を使う場合，六月の中旬まで播種を続けられる。

播種設備

「種子」を，うねに均一の深さに正しく等距離に播ける，近代的なトウモロコシ播種機が開発された。トウモロコシの場合，他の穀作物よりも発芽や生育の不揃いを調整するのが困難なので播種はより注意深く行なわねばならない。

昔は，Cross cultivationとhill drop plantingができるようにするため，正条点播（うねに，多少規則正しい間隔で，1株に2，3粒播く）が，広く用いられた方法であった。薬剤除草の出現によって，これらの方法は，もはや正当化されていないが，全般的に1本1本（穴を掘って）間隔をとった苗は，ほかの播種パターンよりも収穫上の長所が小さい。（ColvilleおよびMcgiel，1962）。

予備かんがい後7～10日に，湿った土壌に播種すると，最善の結果が得られる。技術的な理由で，乾いた土壌への播種が必要で播種後だけ，かんがいする場合には，雑草の繁茂を防ぐため，シマジンを雑草の発芽前に撒布すべきである。

栽植密度

現在の施肥レベルでのかんがい条件下で栽培されるハイブリードの適正植付密度は，自然交配種を播種した場合よりも，少なくとも50～100％高い。ハイブリード種を低密度で栽培した場合の肥料に対する反応は，高くなく，この結果，ハイブリードの高収量能力を完全に発揮させるには，栽植密度，施肥レベルおよび水分の供給との均衡を研究する必要性に，研究者の注意を向けさせた。

現行のハイブリードに関しては，トウモロコシの収穫高は，養分，水の補給，光線などほかの要因が制限されるようになるまで，栽植密度の増加によって増えることが立証された。

異るハイブリード種の間には栽植密度に対する反応にかなりの違いがある。最大の収穫高をあげるには，栽培される品種の種類に応じて，密度を調節しなければならない。1例として，ハイブリード種と植付本数の相互作用を図34に示す。

高密度に極めてよく反応する品種の，Cornell M－3は，ほかの品種よりも養分，葉の申がせまく，かつ直立している。これに対して，僅かしか反応を示さなかったPA602Aは，成熟がおそく，ほかの品種と比べて茎葉が大きいので，ほかの品種よりも，単位面積当りの株数が少なくても，最適の葉面積指数が得られた。（RutgerおよびCrowder，1967）。同じような結果は，Colvilleその他も得ている。（1964）。

かんがい栽培により通常のハイブリード種は1平方m当り，4～5本で，最高の収穫高を生産した。この収穫高は，1平方m当たり，植付本数が6本以上になると低下した。これと対照的に，早熟品種は，栽植密度を1平方m当り6本にすると，前記ハイブリードの収穫高に達した。（Coluille その他，1964）。

過去に於いて生産された商業生産目的のハイブリードの殆んどは，高栽植密度の条件では，適応しなかった。現在，今日の耕作法にみられる高密度に適した品種を生産するため，努力が続けられている。新しい「コンパクト」ハイブリードの中には，高密度に対して，例外的な適応力のあるものがある。

非かんがいの半乾燥地域に於ける，好適な植付数は，1平方m当り1.5～3本である。（Colvilleその他，1964）。

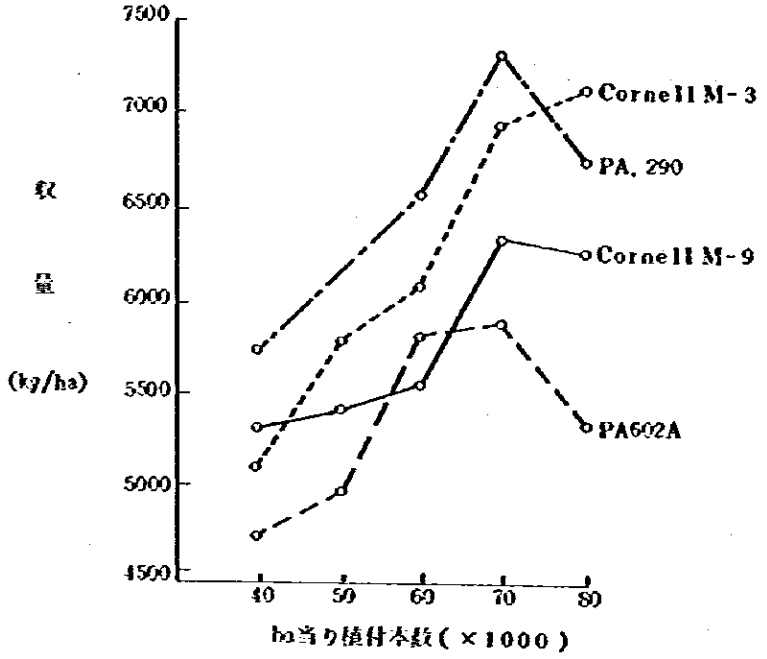


図34. ハイブリード品種の遺伝子型と栽植密度との相互作用。RutgerおよびCrowder（1967），米国作物科学学会による。

サウスダコタでは，湿度条件が非常に恵まれている場合には，1ヘクタール当り，株数40,000本の割合で，最大の収穫高をあげた。中庸な旱ばつ状態の場合には，1ヘクタール当り20,000本が最適で，非常に乾燥していれば，苗数が10,000本以上だと，生産高は，僅かしかないか全く得られない。（Termundeその他，1963）。

かんがいによる場合の，最適な株数は，品種，地力，水分などに依る。収穫高が10,000kg／ha以上になると，株数と間隔が，より重要になる。ネブラスカ州では，1平方メートル当り5本で，かんがいにより，高収穫高をあげた。（11,570kg／ha）。一般的に，株数が1平方m当り6本以上になると収穫高が減る。条播きトウモロコシは，株播きや正条点播（hill-dropped or checked maize）トウモロコシよりも，安定的に高収量の得られることが認められた。（図35，cf. ColvilleおよびMcgill，1962）。

イスラエルでは，かんがいにより，1平方m当り，5～6本の苗数で，高収量をあげた。ただし，矮性の単一交配は，1平方m当り7本で，最大の収量があった。(Shlomi，1968)，アルジェリアでは，一般に1平方m当り，4～5本で，最大の収量が得られた。(Gueit，1955)。

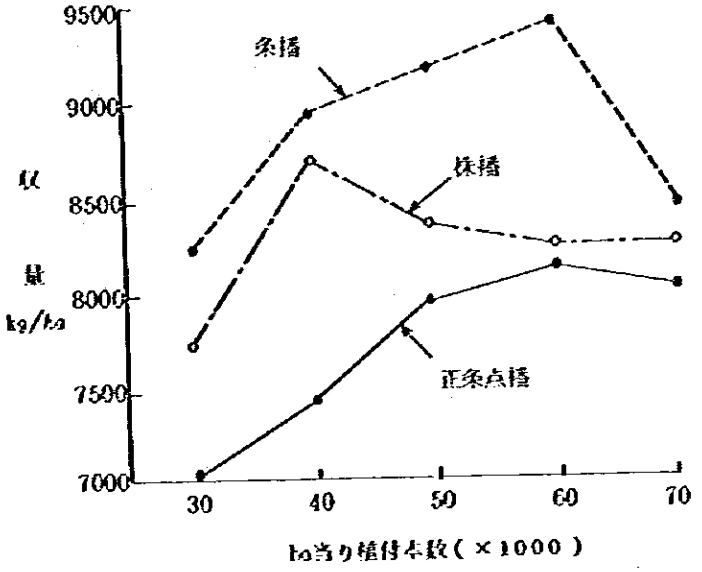


図35. かんがい下における栽植密度と播種法の収量に及ぼす影響
Cotville および Megill (1962) より，米国農業経済学界による。
条播き：うねの中を連続播種。
株播き：うねに複数粒をある間隔で播種。
正条点播：うねの中に，正規の間隔で播種

栽植密度に及ぼすほかの影響

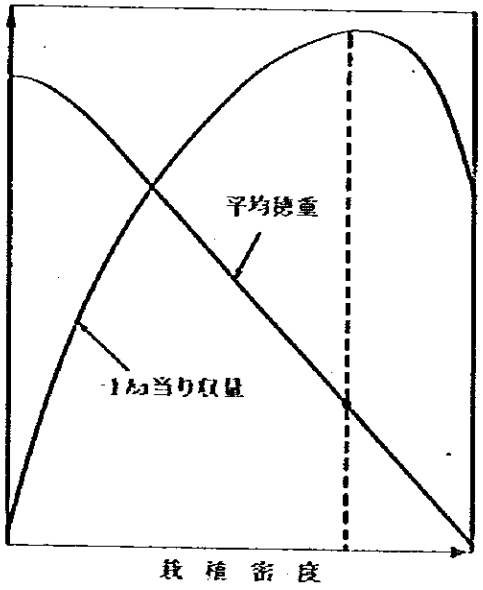
水の利用

蒸発散に対する需要を満す水分が充分な場合，トウモロコシの栽植密度を変えても，大体同じ蒸発散総量になる。(Tanner その他，1960)。しかし，土壌の水分が制限されると，密度の高い株数からの蒸発散は，稀薄な苗数を上廻るが，水の使用量の増加は，株数の増加に比べて，著しく減る。(Yao および Shaw，1964a)，水の使用量は，生育が進むのにつれて減る。八月までは，水分の使用に，苗数は僅かしか影響を与えないことが判った。この時，株数，1平方m当り3.5～4.5本は，1平方m当り，1～2本よりも水を使うことが判った。(Shubeck および Caldwell，1955)。

雌穂の数と大きさ：

栽植密度の増加が収穫高を改善する限り，穂の平均重は密度の増加に伴い直線的に減少し，単位面積当り，最大収穫高をあげるための最適数を超えると，穂の平均重量は，急激に減少する。（Dunganその他，1958）。多穂品種は例外で，穂の大きさは，苗数が増えてもほぼ一定であるが，穂の数は減る。

この関係は一般に，株数と，1株当りの穀粒の収量との関係で示される。（Rossman および Cook，1966）。雌穂の目方が平均にあると，（250～270g），栽植密度と土壌の生産力が正しく均衡した指標になる。土壌生産能力を完全に利用できないような過度な低植付数だと，重い穂ができる。小さな穂は，過度な競合と全収穫高の減少の徴候である。（図36）



・印は最高収量時点における平均穂量を示す。

図36. トウモロコシの収穫高と平均穂重との一般的関係を示す。

不稔性は，収穫高に著しい影響を及ぼすが，栽植密度によっても非常に影響される。土壌の窒素量と品種も，不稔株の比率に影響を及ぼす。1平方m当り株6本とすると，茎の33％には，窒素量が最低の場合，穂がつかず，窒素量が最高の場合16％に穂がつかない。（図37　c.f.Langその他，1956）。花粉の発生と絹糸抽出との間隔は，株数の密度が増すと長くなり，絹糸抽出のおくれにより，穂の結実が減り，完全に実らないこともある。（RossmanおよびCook，1966）。

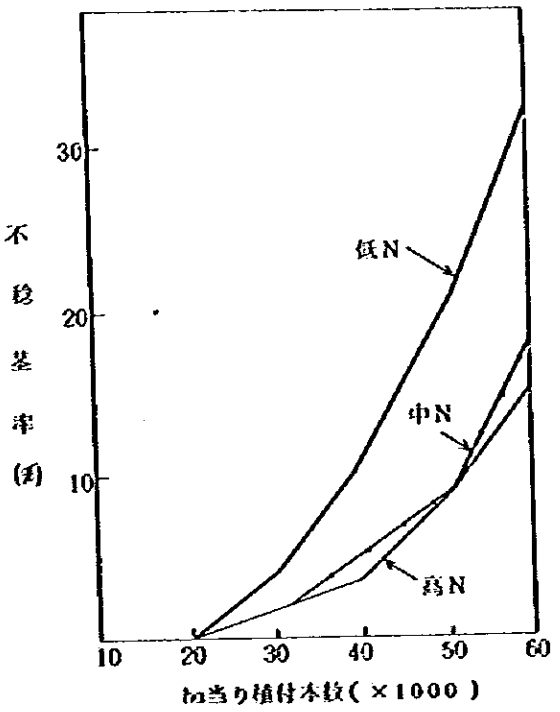


図３７. トウモロコシの茎の不稔性に及ぼす，株数密度と窒素量との関係，Lang その他より（１９５６）。米国農業経済学会による。９品種の試験結果の平均。

倒　伏

栽植密度が増すと，一般に，倒伏が増える。ネブラスカ州に於けるかんがいによる倒伏は，１平方m当り１本増すごとに，２乃至４％増えた。（C.E.Nelson，１９５８）。

高栽植密度による穂の矮小化と倒伏の増加は，減収の原因となる。

たん白質と脂肪の含有量

穀粒中のたん白質と脂肪の含有量は，一般に，栽植密度が高まるにつれて減る。（図３８と３９）。しかし，これは，窒素量が充分でない場合が多く，株数の密度は，間接的要因にすぎない。（Earley および Retruk，１９４８）。

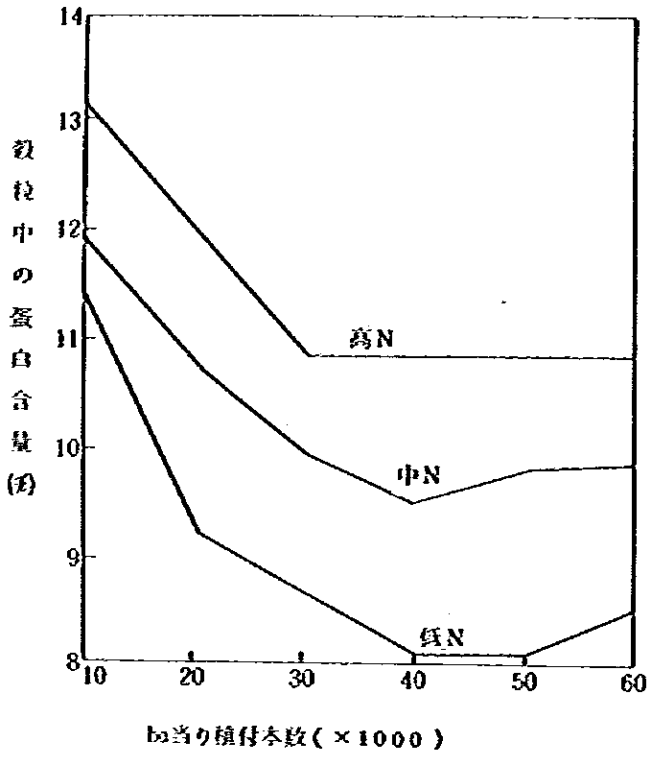


図38. トウモロコシ穀粒中のたん白質に及ぼす栽植密度と窒素量の影響Lang その他より(1956)。米国農業経済学会による。
9品種の試験結果の平均。

硝酸塩と酵素の作用

高栽植密度は，窒素代謝に関連する酵素の含有量を減らすことが判った。この結果，硝酸塩がたん白質に転換されるのが少なかった。(HagemanおよびGitter,1961)。

病害と害虫：

黒穂病の発生と激しさは，栽植密度が高いよりも，低い方が大きい。(WilcoxsonおよびCouey,1960)，他方，穿孔性害虫は，密度が高い方が加害が激しい。(SbubeckおよびColdwell,1955)。

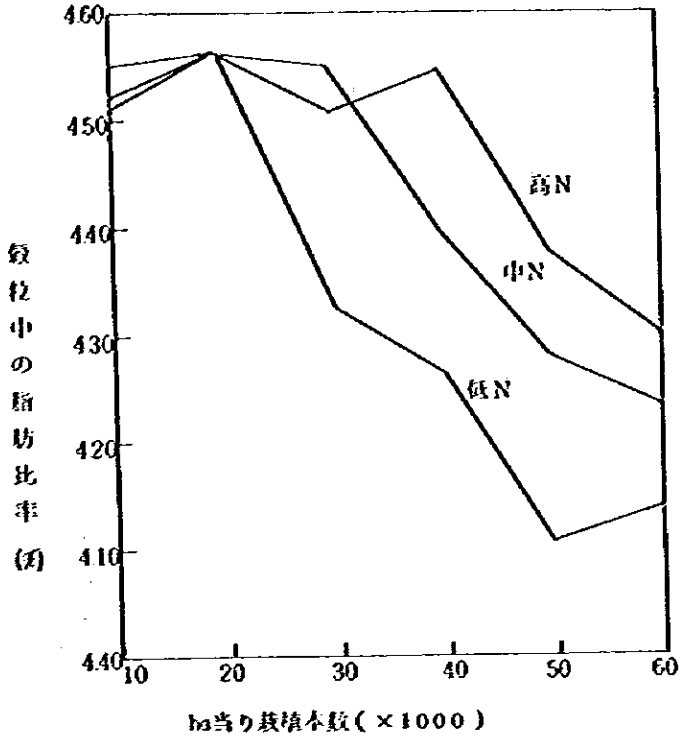


図３９．トウモロコシ穀粒中の脂肪の割合に及ぼす栽植密度と窒素量の影響，Langその他（１９５６）より。米国農業経済学会による。９品種の試験結果の平均。

畦巾：

伝統的に，機械化農業では，畦間約１００cmの間隔をとって植付けられる。これは，本来，畦間の耕作に使う馬やらばが通れる最低巾と考えられ，その結果，植付け，耕うん，収穫などの機械が，この巾に合わせて設計されているからである。

現在，トウモロコシの生産に使われるトラクターや農業機械を能率的に操作できる畦の最低巾は，７５～８０cmである。これは，畦溝かんがいに必要な最低巾でもある。狭い畦は，現在使われているピッカーやPicker-shellerでは収穫できない。品種自体も，狭畦生産に適合させなくてはならない。

除草剤による雑草防除とトウモロコシ収穫用のコンバインのアタッチメントの開発により，特定の環境に於いて最高の収穫高があげられる畦巾の選択が可能となった。

６０cm巾の畦は，１００cmの畦巾よりも，光合成のための光エネルギーを１５～２０％多くさえぎると推計された。（Denmeadその他，１９６２）。

水利用に及ぼす畦巾の効果：

かんがいでは，５２cm巾の畦は，これ以上の巾の畦と比べて，水の使用量は少なく，水の

利用効率が最高であった。巾が広いと，入射光線が多く地表面に到達させられるから，土壌表面の蒸発が増す。畦巾が広いと，風の流れも激しく，地面の近くから湿った空気が運び出される。畦巾が広いと雑草の生育も多いから，水を損失する。（Yao および Shaw,1946b），１００㎝の畦巾で，トウモロコシを栽培する場合，土壌からの蒸発は，１平方m当り３～２本の割合で植付けられたトウモロコシが完全に生長した時の総蒸発散量の３０％にのぼる。たゞし，水分の圧迫によって，生長が制限される場合に，株が水不足をこうむらなかったときは，土壌からの蒸発による損失は４０％に増えた。１平方メートル当りの栽植密度を，５本にすると，土壌からの最大蒸発量は，１平方メートル当りの栽植密度３～２本よりも，僅かに減ったに過ぎなかった。正条多粒植付（Check-hill planted）トウモロコシでは，土壌からの蒸発は，条播きトウモロコシよりも大きかった。これらのデータは，完全に生長したトウモロコシに関するもので，全期間を考慮すると，蒸発による損失は，栽培期間の初期には，後期よりも，土壌の日光光線に対する露出が遙かに多いから，もっと大きくなる。（Tanner その他，１９６０）。

他方，５０㎝巾の畦で栽培される苗は，１００㎝のうね巾に於けるよりも，単位面積当りのエネルギーの奪われる量が多いから，前者は早く水分を蒸散して，後者よりも簡単にしおれる。（Aubertin および Peters，１９６１）。

＜雑草の防除＞

桑剤防除

アトラジンとシマジン　発芽前の土壌処理は，土壌の表面２㎝以内から発芽する雑草を防除するのに著しい効果がある。トウモロコシは，これら２つのトリアジン系除草剤に対し，著しい抵抗力がある。雑草の植物体の根から吸収させなければならないから，約２０㎜のかんがいを，土壌に除草剤が浸透するようにほどこす必要がある。アトラジンの発芽後の使用は，次第に増えているが，防除の成績は良好である。トリアジンの欠点は，トウモロコシの後作に除草剤の残効が障害を与える可能性のあることである。小麦，大麦，亜麻，大豆，砂糖大根は，とりわけ被害をこうむる可能性のある敏感な作物である。

アトラジンのプロメトリン（2.4-bis(isopropylamiro)-6 methyl-mercapt-s-triazine),アメトリン（2-ethylamino-4-isopropylamino-6-methyl-capto-s-triazinl）またはリヌロン（3-(3, 4-dichlorophenyl)-1-methoxy-1-methylurea）との混和物を目下試験中であるが，雑草の防除に対し，アトラジンだけと同じ程度の効果があると思われる。これらの使用により，次の作物に持越される薬害の危険は，かなり減る。発芽後撒布用の最も広く使われている除草剤は，２,４－Ｄであるが，これは広葉雑草だけしか効力がなく，雑草の全部に効力はない。トウモロコシが２０㎝乃至３０㎝の高

さに生育した時に撒布する。これより撒布が早くても，おそくても，作物を傷める可能性がある。

おそく撒布しなければならない場合には，主茎が５０～６０㎝の高さになった時に，トウモロコシの基部および畦間に直接撒布するのに，2,4－D，窒素肥料溶液，展着剤などの組合わせを使う。

雑草の発芽後の使用としては，2,4－Dとダラポンの混合剤の直接撒布は，イネ科雑草や広葉雑草の混合雑草のまんえんを防除するため，生育中の作物間にしばしば使われる。ダラポンによるトウモロコシの被害を避ける場合には，草丈が少なくとも２０㎝乃至５０㎝の高さにならなければならない。

ジョンソングラスを防除するには，トウモロコシ植付けの３～４週間前にグラスへの葉面撒布は，非常に効果的である。

火炎除草

トウモロコシには火炎除草ができる。正しくおこなえば，トウモロコシは，炎に対して非常にすぐれた抵抗力を示し，これにより満足に雑草を防除できる。薬剤防除と比べて残効がなく，また耕うんと比べても，地表の深部から新しい雑草を持出さないと言う長所がある。

しかし，現在入手できる新しい除草剤とは，火炎は競争にならないようである。除草剤による雑草の防除は，また耕うんによるにしても，火炎除草よりも効果があることが認められた。火炎除草設備の価格は高く，２～４回以上往復しておこなわなければならない。
（Knalseその他，１９６５）。

発芽後カルチ／中耕

発芽後耕うんの主な目的は，雑草の防除である。現在入手できる，効力の高い除草剤を使うと，雑草防除のための耕うんの必要性が著しく減った。

しかし，トウモロコシでは，多くの研究者が栽培トウモロコシのうねの間の耕うんは，雑草の防除とは関係のない有益な効力のあることを引続き立証している。

ワシントン州の乾燥地域でのかんがいトウモロコシの作業に於いて，土壌の表面５㎝をかき乱しただけの浅い耕うんだと，深い耕うんよりも，収穫高の少ないことが明らかにされた。深く耕すと，過度に締め固められていた土壌への浸透が改善されて，撒布されたアンモニヤ肥料の硝化が促進された。トウモロコシが，８０㎝～９０㎝の高さに生長した時に，最後の耕うんをすると，深耕によって断根された根に新根が伸長する。（L.B.Nelson,１９５６）。

オハイオ州に於いておこなわれた研究に於いて，破砕可能な土壌のトウモロコシ植付け後無雑草下の耕うんにより，１７９０kg/haまで，平均収量の２５％の収穫高が伸びた。この増

収分の約４０％は，水の浸透改善によると判定した。収量向上のほかの原因は，明白に立証されなかった。深さ１０cmに於ける酸素の拡散率は影響されなかった。土壌表面からの短期的蒸発は，３０％～４５％減り，深さ２３cmの畦間の根の重量は耕うんによって２倍乃至６倍増えた。（ Prihar および Doren，１９６７）。

＜灌　漑＞

要水量

トウモロコシは，多量な水が必要である。しかし，乾物の生産のための水の利用に対しては，トウモロコシは極めて効率的である。かんがいに必要な水の量は，環境条件とかんがいの効率とに依る。大体最大の収量をあげるのに，総要水量は，地力（図４０；cf.Shimshi，１９６６）。温度，日照，関係湿度などにもよるが，およそ５００mm乃至８００mmである。

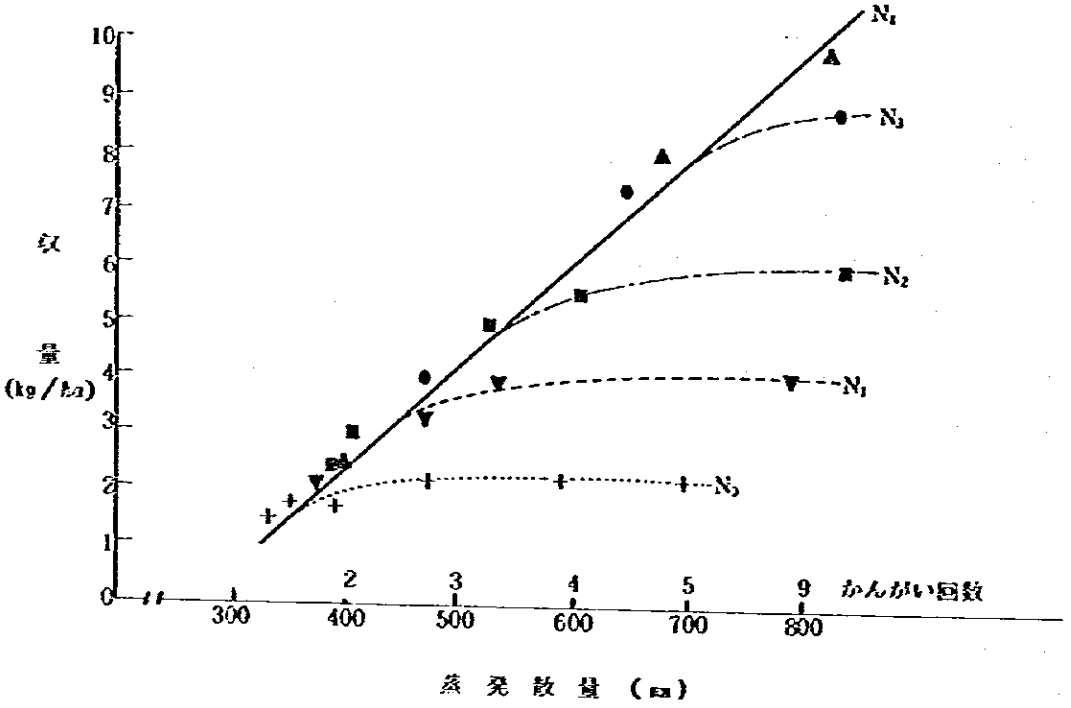


図４０．窒素施肥量と土壌水分のトウモロコシ収量におよぼす影響Shimsi（１９６６）より。

N_0 ＝無窒素，N_1＝５２.５kgN／ha，N_2＝１０５kg／ha，N_3＝２１０kgN／ha，N_4 ＝４２０kgN／ha.

水の供給の観点から，トウモロコシには，根系の急速生長；栄養生長；開花結実；穀粒の成熟の４つの主な期間がある。

苗が３０cm乃至４０cmの高さになるまで，温度は温和で，小さな苗による蒸散は制限されるので，水の必要量は少なく，１日当り約２～３mmである。

成育につれて，蒸発散が次第に増す。栄養生長期中に，一時的な水分不足の生長率に及ぼす悪影響は，土壌水分不足が取除かれてからの急速な生長率によって，部分的に埋合わされることが判った。これは，水不足期間中の単糖類の蓄積が一因である。（Kemperその他，1961），出雄穂，出雌穂，受粉中には，蒸発散は毎日ピークの7㎜乃至10㎜に達する。これは，トウモロコシの最大の要水量が，高温と低湿とに符合する期間である。この期間中の水分不足は，雄穂と上部の葉の乾燥の原因となり雄穂が有効な花粉を出せなくなり，その結果，受精は最良の場合でも部分的にしか行なわれない。雄穂抽出後の5週間の水の使用量は，トウモロコシ一生の水の所要総量の約50％にのぼる。この期間中の水の適切な供給の著しく重要なことを，多くの研究者が，すでに確認している。土壌の水分が枯渇して，しおれ点に達する場合，雄穂抽出や受粉期間中の1，2日間であっても，収量は20％以上減る。水分の不足が6日乃至8日続くと収量は50％減る。（RobnisおよびDoming，1953）。

この重要な生育期間中に，水分不足がおこる時に，表XIVの数字が示すように，収量に影響を及ぼす。

表XIV　トウモロコシの収量に及ぼす水不足期間*の影響

生育状態	収量の減少(%)
雄穂抽出前	25
開　花　中	50
受　粉　後	21

＊約7日間の中程度の水不足

水　管　理

イスラエルに於けるかんがいの調査により，トウモロコシの最大収量近くをあげるには，根域の水分の枯渇が，吸収できる水量の40～50％を超える前に，土壌の水分を補給する頃合いを見はからう必要がある。（Bielorai その他，1956），かんがい用に使える水が制限される場合，播種前かんがいや，雄穂抽出から絹糸抽出などの期間中の水分不足の防止によって，最大の利益が得られる。

トウモロコシは，150～200cmの深さまでの水を使う。上層が最も枯渇するが，深部層の水分は，かんがいとかんがいの間の終りの過度の不足を防止するのに重要である。各かんがい時に，全根域の水分の不足を補うため，充分に水を供給しなければならない。

栽培期間中降雨がないと仮定して，最高近くの収量をあげるため，使用する品種，土壌の

種類，気候，地力，かんがい効率などに応じて調節する，次にのべるかんがい計画は，一般的な説明として役立つと思われる。

- 約１５０cmの深さまで，全根域を圃場水量にするため，播種前かんがいをおこなう。
- 湿った土壌に播種すると，急速に発芽する。
  根が深く伸長すれば，蒸発散度により，３０～５０日以上，かんがいの必要はない。この期間の過度のかんがいは，生育を後退させ，水を浪費する。
- 一般に６０mm～７０mmの第１回の発芽後かんがいは，根地帯を圃場容水量にまで満すのに充分である。
- １４日の間隔を置いてから，６０mm～８０mmのかんがいをする。１０日～１４日経ってから，１００mm乃至１１０mmの次のかんがいをおこなう。
- 苗が６５～７０日経って，最大生育状態に達したら，約８０mm～１００mmの，第４回目の発芽後かんがいの頃合いを見計らう。このかんがいは，開花期間中に充分に水を供給することが目的で，花粉落下中や受粉中は，地上かんがいは避けること。
- 一般的にトウモロコシが大体８０日経って，乳熟期になったら，第５回目の最後のかんがいをおこなう。

以上は，完全に乾燥した夏季の地域での栽培期間，１１５日～１２０日の品種の，要水量を根拠にした。本来，夏の降雨のある地域では，かんがい計画はかなりの柔軟性を持たせ，予想される降水量やその時に合わせて調節しなければならない。

かんがいの方法

トウモロコシに用いられる最も普及しているかんがい方法は，畦間かんがいである。スプリンクラーは，一般的に便利で，効率が高く，平坦でない畠にも適合するので，普及しつゝある。また，密植栽培の利益の高まりも，この長所となっている。

しかし，この方法は，トウモロコシの特徴にともなって，次の２つの制限がある。(a) 背が高いので移動線の移動をむずかしくする。(b) 開花期間中のかんがいは，花粉飛散を妨害する可能性があるから，結実を減らし，収量が落る。

これら制限を克服する方法は，下にあげるように色々ある。

1. ２つのかんがい方法の組合わせ：最初の生長期間中に，苗が８０cm～１００cmの高さになるまで，スプリンクラーを用い，かんがい期間の残りは，畦間かんがいをする。
2. かんがいパイプの移転を容易にするため，うねの方向と垂直に，作物の間に道を残す。
3. スプリンクラー・ラインをセットした低生長作物の間に，トウモロコシを植える。
4. 「コンパクト」品種のトウモロコシを使う。

<収　穫>

倒　伏

トウモロコシが倒伏すると収穫が厄介となり，収量が著しく減少する。倒伏の増加には，色々な原因がある。その主なものをあげると……

1. Diplodia,Pythium,Rhizoctonia,Gibberella など，茎の腐敗がおこる多くの病原体は茎腐れをおこし茎を弱め，倒伏させる。この病原体は殆んどの土壌の中に認められるが，開花から成熟までの，乾燥地域に於ける，かんがいトウモロコシの生長期間中に，通常現れる。高湿多湿状態の下では，特に破壊的である。特に，トウモロコシの穿孔性害虫による虫害は，一般に穂以高を加害するが，根喰い虫は，苗を早くから倒す。
2. 高施肥量は，穂重を増すから，茎の負担を高める。特にN／K比率に関する不均衡な施肥は，茎と根系を弱め，上記の病原体のまんえんを容易にする。Kが不足すると，倒伏しやすい。倒伏はbrace-rootsの未発達や柔組織の崩壊作用による茎の破壊が原因である。この両方の不足は，充分にカリを施肥すれば防げる。（Liebhardt およびMurdock，1965）。
3. 過度に株数の密度を高めると，倒伏率が増す。密度の高い植付けに適していない品種に於いては，これが特に著しい。
4. かんがいを早く止めすぎると，成熟しつゝある時期に水分の不足がおこり，一般的に，倒伏を増す。トウモロコシの茎の腐敗の罹病性が増す大きな原因の１つには，葉の早期の老化をはじめ，植物体中の養分の枯渇である。これは，非常な密度で植付けたために，植物間の競合が過度になった結果である。（Mortimore およびWall，1965）。

論理的には，倒伏を誘う原因が生じてから，できるだけ病原体と害虫を防除し，特にカリウムの不足の時に，不均衡な施肥をなくし，収量と安定性を高めるために，最適の密度で，適応した品種を播き，成熟中，好ましい水分を維持し，収穫のおくれを防ぐための予防手段を講じることである。

最大の収量をあげるのに必要な，窒素の大量施肥と苗数の増加も倒伏を増すのは疑う余地がない。しかし，倒伏を減らすために，施肥率や苗の密度を減らすのは，経済的に正当化されない。より現実的な方法は，倒伏の多くは，穀粒の成熟している間におこるから，早く収穫することである。

機械化収穫

トウモロコシの機械収穫は，色々な方法でできる。最も普通の方法は，ピッカーによって，穂をつみとって，穂軸が自然に乾く貯蔵所に貯蔵する方法である。

穀粒乾燥機を使うと，早く収穫ができて圃場損失を減らせる。水分含量が２６％程度では，

picker-sheller も使える。脱穀粒は，水分含量が高いうちにサイロに入れられる。

トウモロコシのつみとりと圃場での脱穀の設備も利用できる。トラクターけん引，トラクター搭載若は自走式picker-sheller，標準穀粒コンバインのトウモロコシ処理アタッチメントなどがある。圃場脱穀トウモロコシは，人為的に乾燥しなければならない。

穀粒の圃場損失は，大体，収穫時のトウモロコシの水分含有量に依る。水分の含有量が多いときは，損失が少なく，水分が２４～３０％のときは，損失が最も少ない。（ Barnes および Link，１９５９）。

＜飼料と牧草用トウモロコシ＞

昔は，飼料と牧草用には，自然交配品種のトウモロコシを極度に密集させて播種し，播種後６～８週間の雄穂抽出の時に，株を収穫するのが習慣であった。この方法は，現在でも，早期に飼料の供給が必要な場合に，緊急手段として正当化されるかも知れない。この方法の大きな欠点は，茎が大部分を占める，収穫される飼料の質が比較的低いことである。未成熟なトウモロコシの収穫は，乾物の主たる生産期間の前に，刈取られると言うことで，飼料には，乾物の含有量が低く，水分が多い。

今日では，実取の方法と大体同じ方法で飼料や牧草のためのトウモロコシの栽培を行っている。しかし，窒素を幾分多く施用し，水の供給量を幾分少なくする。最適の栽植密度は，飼料用や牧草用の場合には，通常，幾分高く，（図４１，c.f. Rutger および Crowder，１９６７），収穫は，穀粒が「乳熟期」を過ぎて，糊熟初期に達した時，播種から９０日乃至９５日後に，早くおこなわれる。穀粒だけを専門に栽培するものよりも，特別な品種が好まれる可能性がある。収穫される飼料１０トン当り，大体２／３は，茎と葉から成り，１／３は，穀粒の付いた穂軸である。

播種量６５～１３０㎏／ha，株間１５～３０㎝，栽植密度２５～１００本／㎡の，深すじ播き（thick-drilled） トウモロコシの栽培で，近年，新しい興味が示されている。「密植，飼料用トウモロコシ」と言う名で，この方法は最近注目されているが，現実には，新しい名前を付けた従来の方法で，以前と同じ欠点がある。（Reid，１９５９）。

＜高リジントウモロコシ＞

ブルドー大学に於いて発見された 'opaque 2' と呼ばれる，高リジン含有と関連のある劣性遺伝子により，以前より著しく高水準のリジンを持つトウモロコシの品種改良が可能になった。現在，多くの研究センターで，この望ましい特長を商業的品種に組込む作業が進められている。粉（floury－２）と呼ばれる別の遺伝子は，アミノ酸の分布を変えるが，これもたん白質の品質を改良するために使われている。

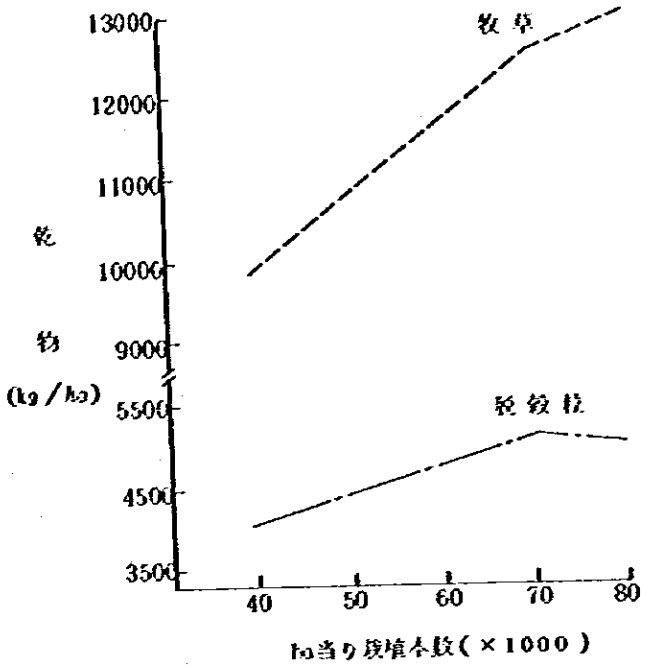


図41. 牧草乾物と脱穀粒の量に及ぼすトウモロコシ植付密度の影響。
Rutger および Crowder (1967) より。
米国穀物科学学会による。

<飼料用トウモロコシに於ける過度の硝酸塩の蓄積>

除草剤，特に 2.4－D は，硝酸塩のたん白質への正常な変換を阻害することがしばしばあって，その結果，牧草用に使われるトウモロコシ中の硝酸塩の含有量を過度に高めるため，小牛にとって有害になることがある。このような状況に於いては，除草のための耕うんが好ましい。トウモロコシ飼料の硝酸塩含有量を過度に高めるほかの原因は，旱ばつ，高温，窒素と燐とカリウムの供給の不均衡などである。(Kurtz および Smith，1966)。

5. 病　　害

<種子と子実の病害>

冷たい湿った土壌の中での種子の発芽は Pythuum spp，Diplodia zeae，Gibberella zeae，その他の真菌類寄生菌に冒される場合がある。Arasan，Thiram など適切な化合物で処理した健全な種子を使い，土壌が充分に暖かくなるまで播種をおくらせると，発芽が早くなって充分に防除ができる。

<根　腐　れ>

根腐れは，Gibberella,Diplodia その他真菌類寄生菌により生じる。これらの病害による枯死率は高く，生きている苗でも弱くなり，白化して不毛となることが多い。

Pyrhium 根腐れは，踏固められた排水の悪い土壌でしばしばおこる。冒された根は，崩壊作用をおこし，冒された苗は，倒伏しがちである。

<葉の病気>

トウモロコシの多くの病気のうち最も重要なものだけを2，3のべる。

さ び 病（Rusts）

トウモロコシは，3つのさび病にかゝりやすい。そのうち，普通のアマさび病（Puccinia sorhi）が，最も広まっている。この病気は，葉の両面に茶色の粉状のいぼができるのが特徴である。（Plate 8D）。苗の成長につれて，黒いいぼができる。胞子は風で運ばれる。温度と湿度が良好になると発芽して，葉に浸透する。従って頻繁に霧が多いと病気のまんえんに好都合である。トウモロコシの成熟期に造られる胞子は，植物残留物中で冬を越えて残る。春になると発芽して，代りの寄主のOxalisに感染し，こゝで生殖期を過す。暖い地域では，代りの寄主を迂回することがある。

普通のアマさび病は，通常，早期に播種したトウモロコシには 著しい病害を与えない。しかし，播種がおそいと，著しい病害を受けて収量が大巾に減る可能性がある。このアマさび病の特定の生理学的種属に対し抵抗力のある遺伝子が確認されたが，これは育種計画に使うことができる。（Ullstrup，1966）。

煤紋病（Leaf Blight）

この病害は，生長するといつでもまんえんするFungus Helmintho sporium turcicumによっておこる。 葉の両面に，小さな緑灰色の長円形の斑点が現れる。この斑点は色が薄くなり，正常の過程では，病斑が結合して，葉は枯れてしまう。（Plate 8B），この病気は，一番下の葉から始まって，上に広がる。

この病気によりおこる病害程度は，これが現れる生育段階によるが，植物体が若いほど，収量の減少が大きい。初期感染は枯死する可能性がある。絹糸の抽出前に病気がひどくなると，収量は60～70％減るかも知れない。（Ullstrup，1966），成熟後期時に病害をこうむると，普通，収量は僅かな影響を受けるだけであるが，病気が次の作物に転移する危険が増す。

防除の最も実際的な方法は，抵抗品種を使って感染を防ぐことである。これがまだ応用さ

れていない場合には，適当な殺菌剤を撒布すれば，部分的に防除できる。

均衡のとれた養分供給，特にカリウムの不足している土壌に，カリ肥料をほどこす場合，病気の激しさを和らげる。(Ullstrup, 1966)。H.turcicumは，種子媒介ではないが真菌類は冬を越えて，枯れた感染した葉の中に残るから，残った穀粒は，再度感染源になる可能性がある。従って，これらに土壌を完全にかぶせるのが，本質的な注意で，極端な場合には残りを燃やすよう指図されることもある。

<花序と種子の病気>

Common またはBoil Smut

真菌類，Ustilago maydis により生じる。トウモロコシの最も一般的な病気で，色々な大きさのこぶが株に現れるのが特徴である。穂は最も感染しやすいが，こぶは，茎，葉，雄穂などの地上部分の全部やbrace-root（支柱根）にも広がる。こぶが成熟すると，はじけて胞子が出る。

U.maydisの胞子は冬を越して，土壌の中に残るから，種子の消毒は，この病気に対して，著しい効果はない。通常の防除手段は胞子が散らばる前に，こぶを取除くことである。

Head Smut

Head Smutは，Sphacelotheca reiliana によって生じるが，乾燥地域で栽培されるトウモロコシの重要な病気である。この病気は，Boil Smut とは異り，組織の中に浸透してから，寄生菌は植物体全体に亘り，花序が現れるまでは症状を示さない。感染した苗の雄穂と雌穂は，部分的または全体的に黒い胞子のかたまりになる。

Head Smut に対する効果的な防除手段は，まだ開発されていない。異る遺伝子型には著しい抵抗の違いはないが，商業的な抵抗品種はまだできていない。(Ullstrup, 1966)。

Diplodia Ear-rot

これは非常に広く発生している，しばしば破壊的な病気で，Diplodia maydis により生じる。胞子は風媒で，雌穂の包被中に寄生する。湿度条件が良好な場合，生長中の穂に浸透すると発芽し，穂の上に灰白色のカビが生える。(Plate 8C)，腐敗は，穂の基部から始まり，先端に進む。早く感染すると穂が完全に破壊される。

同じ真菌類も，茎腐れをおこす，茎の下部の組織が軟らかくなって，褐色になり，感染した苗は，しおれたように見える。茎の髄が破壊されると，部分的に空洞ができて，特に，子実が成熟に近づくと，茎は折れやすくなる。(Plate 8 4)。古い茎や種子には，真菌類は，次の季節にまで生き残る。抵抗性品種の播種は，畑に於ける感染に対する唯一の実際的な手

段である。

Gibberella Ear-rot

真菌類(Gibberella zeae)は，トウモロコシの穂の寄生虫により加害されたもののような，ゆるんだ開いた包被の穂を加害する。腐敗は穂の先端ではじまり，基部に向って進む。れんが色の真菌類が生長して，穂，包被，穀粒をおゝう。G.zeae も，トウモロコシの茎腐れをおこし，これは病変した髄は，淡赤色となるのが特徴である。真菌類は，冬を越えて，土壌と古い植物体内の部分に残る。輪作と耕うんによる作物残留物の覆土が，この病気の防除に役立つ予防手段である。

Fusarium Kernel-rot

Fusarium Kernel-rotは，真菌類Fusarium moniliformeによりおこるが，乾燥地域ではかなり一般的である。この真菌類は，トウモロコシ穿孔性害虫その他が造る孔を通して，穂へ浸入する。感染した髄が青みがかった淡赤色になるのが特徴で，これが，穂にランダムに広がる。

<Stunt>

Stuntは比較的新しいビールス性の病気で，乾燥地域で発生し，感染したトウモロコシの枯死率は高く，生残った苗は萎縮する。

ビールスに感染したトウモロコシの葉は暗緑色になり，上部の葉に，かすかな黄色がかった縞ができる。上部節間の伸長は止り，苗は発育停止の外観を呈する。(Plate 9)。通常，花序は形成されない。生育後期の感染は，雄ずいと雌ずいが変質して，穂の形が異常になる。この病気の激しさは非常に不定で，寄主の遺伝抵抗の程度，環境状態，病気の伝染に関係する媒介昆虫の量などによる。

この病気は，種子媒介ではない。マラチオンやＤＤＴなどの殺虫剤を葉に撒布すれば防除でき，病毒媒介昆虫に対して効果がある。

自殖系統間や雑種間にもその罹病性に，著しい違いが現れる。この病気はすでに知られている新しいビールスや，２つ以上のビールスの複合体，或いは完全に新しいビールスによる場合がある。(Ullstrup, 1966)。

6. 虫　　害

Soil insect Pest

根寄生虫，コメツキ虫，White grub（地虫），蟻その他土壌生息昆虫は，種子の発芽と幼芽に著しい損害を与える可能性がある。又，それぞれの生長段階に於いて，根系に損害を与え，倒伏や収穫できる穀粒の損失を増す。

土壌害虫の防除に使われる主な薬剤は，Aldrin と Heptachlor で，撒布により或いは最近では粒剤をほどこす。これらは，播種機搭載の設備により，畠の全面に撒くか，種子線条に撒く。前者の方法は，トウモロコシの連作に於いて，3年ごとにおこない，粒状殺虫剤は，肥料と混ぜて撒布することが多い。（Dicke，1955）。

Chinch-bugs

Chinch-bugs(Blyssus leucopterus)の生息数がそれほど多くなければ，トウモロコシの経済的損失はない。しかし，加害程度が大きくなると(Plate 10C)，減収は著しい。日当りのよい，乾燥した状態は，Chinch-bug の繁殖に都合がよい。実際の防除方法は，Chinch-bugs が，ほかの作物からトウモロコシに移って来る時に，トウモロコシ畠のまわりに，Dieldrin を撒布して，侵入を防ぐことである。

Seed-maggot

この種属の Hylemya cilicrura は，世界中に分布していて，温暖な気候だと，年間を通じて活潑である。(Dicke，1955)。成虫はイエバエに似て，蛆は白く，円すい形で発芽中の種子や幼苗を加害する。

土壌の処理は，有効な防除になるが，発芽力の強い種子を使うのが，有効な防除手段である。

根切り虫 (Cutworm)

これら（Agrotis spp その他）の幼虫は太って丸まっているのが特徴で，大きさは，孵化した時には3㎜，完全に成長すると45㎜の大きさになる。(Dicke，1955)，蛾は，餌のある湿った場所に，白い房状の卵を生みつける。幼虫は葉を食害し，成長すると幼苗を加害し，地面のすぐ下の茎を切断する。うねに沿って移動し，その損害は，播種のし直しが必要になるほど著しい。

根切り虫は，日中は土の中や石の下にかくれていて，夜間活動し食害する。

加害を発見したら直ちに，珪弗化水素酸塩の毒餌の使用や，Toxaphene を，うねに沿っ

て帯状に撒布すると，有効な防除となる。

アクヨトウ（Armyworm）

アクヨトウと呼ばれている種属，Prodeniaには，多くの種類がある。（Plate 10E），非常に広くまんえんしていて，多くの作物を襲っている。日中は輪生体の中にいて，葉を食害するが，トウモロコシに与える損害は，通常，経済的に著しくはない。

通常，アクヨトウは，多くの天敵がいるが，大発生による被害は深刻である。毒を入れたふすまの餌とToxaphene の撒布が合理的な防除となる。

ヨコバイ（Leathopper）

この害虫（Empoasca lybica）は，特に，発芽後1ケ月間の幼苗期の加害が多い。防除の努力をしないと，次の世代も，完全に生長した苗が襲われる可能性がある。ＤＤＴとパラチオンの散布は，すぐれた防除となる。

European maize-borer

この蛾の雄（Ostrinia nubilalis）は，夜間，葉身の下部に１５～５０個の卵のかたまりを生む。虫は，ピンク色の透明な体と褐色の頭をしている。体の各節部に，４つの黒ずんだもんようがあり，（Plate 10A），各もんようの中心に，堅い毛が1本生えている。幼虫は，冬を越して古いトウモロコシの茎と穂軸の中に残り，春にはさなぎになる。春の終りには，蛾が現れる。幼虫は，葉の輪生体の中に深く浸入する。寿命の大体２／３は葉を食べて過し，残りの１／３は，茎や穂の中で過す。穿孔虫があける孔の場所は，表面に残したくずで，容易に見分けられる。

第1世代の穿孔性害虫は，1匹当り，苗1本につき収量を4％減らすと見積られる。

（Pettyおよび Apple，1966）

効果的防除は，幼虫が小さくて，活潑で，葉を食べている間におこなわなければならない。輪生体に対する粒状ＤＤＴの反復撒布が有効なことが認められた。栽培的防除は，作物の残り全部を，少なくとも１５㎝の深さに埋める耕うんによる。

一部の雑種品種には，ほかよりも，抵抗力や耐性がある。天敵の多くは，トウモロコシ穿孔虫増加の阻止に寄与する。

トウモロコシの穂寄生虫（maize Ear-worm）

薄黄色乃至オリーブ色をした蛾（Heliothis armigera）は，初夏に，小さな真珠様の白い卵を生む。幼虫の第1世代は若いトウモロコシを食べる。完全に生長した幼虫は，約

35㎜くらいの長さで，色は，茶色から緑色まで色々である。最終世代の幼虫は，気候が寒くなる前に，さなぎ段階に達して，土中で越冬する。

幼虫は若い苗の輪生体の中で育ち，後には，生長する雄穂や穂の中で育つ。(Plate.10 B)，受粉後は登熟中の穀粒を加害する。

加害程度によっては，収量の減少が50％にものぼることがある。(Leonardおよび Martin，1963)。 DDTやSevinの穂の部分への撒布による薬剤防除は有効なことがあるが，経済的にはまだ正当化されていない。

Durra Stem-borer

この幼虫(Sesamia cretica)は，桃色のと茶色の頭，体に沿った黒い糸が特徴で，長さが30～35㎜に達することがある。若い苗では，幼虫が輪生体に孔をあけ，トウモロコシの茎の生長を止める。植物体が大きくなると幼虫による生長阻止はない。生育後期には，穂も加害し，その損害が5～10％に及ぶのが普通である。発生の著しい場合には，トウモロコシ苗の90％まで加害されることがある。

防除は余り効果がない。トウモロコシ穿孔害虫の防除でのべたのと同じ手段が使える。

バッタ(Grasshopper)

バッタの多くの種類が，トウモロコシを常食とする。通常，葉だけを食べるが，数が多いと，茎や穂の部分も食害することがある。

卵は，土壌表面下，5㎝～10㎝の「卵袋」に生み付けるから，通常，耕うんによって，成虫段階に達するバッタの数が減る。バッタには，多くの天敵がいる。昆虫，けっ歯動物，鳥などである。

被害が経済的損失をひき起すと思われる場合にはToxaphene，Malathion，Diazinonなど多くの殺虫剤が防除に使える。

7. 収　　量

1966年の世界全体のトウモロコシの平均収穫高は，2,380kg/haであった。この数字は，1大陸内においてもみられる大きな収量較差を示してはいない。例えば，北アメリカの平均収量は，1967年には，4,550kg/haであったし，同じ年の，アフリカの平均収量は，980kg/haであった。(F.A.O.，1968)。

今迄に記録された，トウモロコシの最高の収量は，19,300kg/haであった。

(Mangelsdorf, 1966)。しかし，平均収量も，記録された収量も，農家が適応した品種と改善された農耕法を使っても，通常予想できる収量の指標にはならない。かんがいをほどこすと，1ヘクタール当り，9,000kg～10,000kg程度の期待収量になる。しかし，肥沃な土壌でも，かんがい独自ではこれほど高い収量を保証しえない。

トウモロコシは，エジプトでは，かんがいにより，可耕地の1／4乃至1／3で栽培されている。収量は，1ヘクタール当り，1,400kg乃至3,800kg，平均収量，約2,000kgである。塩害，排水不良，低施肥量レベル，トウモロコシ穿孔性害虫などが，かんがい栽培に於いてさえこのように収量が低い大きな理由である。

Ⅲ　ナツメヤシ　棗椰子

学　名　　Phoenix dactylifera LINN

（英）　　Date, Date palm, Edible palm, Edible date, Common date palm, Dacts tree

（アラビア）　Balah

（トルコ）　　Karmah

（インド）　　Kurma

（スペイン）　Datil

（中　国）　　波斯棗，蓄棗，金果，戟捷木

備考　　ナツメヤシ（Date）とナツメ（Jujube, Chinese Date）とは，植物学的には全く無縁のものである。両者の果実の形と味とがやや似ているのでナツメの呼び名がつけられたが，樹相，植生などは全く異なる。

1. 性　　状

ナツメヤシはヤシ科に属する常緑喬木である。

幹高２０～２５ｍ，幹径５０～８０cmに達し単幹である。

しかし，若木のうちは株の基部から多くのヒコバエが分枝して立つ。葉は羽状複葉で長さ約４ｍに達する。根は深く３０ｍも伸びて，砂漠の地下水まで達するほどである。花は単性で，雌雄異株で風媒花である。しかし，風による受粉は完全でないので，人工受粉を必要とする。

ちなみにデーツを企業的に栽培する場合には，普通，雌株１００本に対して雄株１本の割合で植えられる。

果実は房状に沢山着生し，一房に1,０００個ついていることもある。普通１本当たりの果房数は５～１５房である。各果は楕円形，ナツメ状を呈し，長さ2.５～7.５cm，未熟なうちは緑色であるが，熟度が進むと赤または黄褐色に変わり，遂には表面にしわがより，黒色を呈するようになる。果肉には汁液があって甘く，風味良好である。種子は円筒形の核状で，片側に長い溝を有している。

2. 生育環境

砂漠における地下水の指標植物であるナツメヤシは，夏季高温で乾燥する気候に適し，土壌に絶えず水分の供給されるところに生育する。

ナツメヤシは熱帯・亜熱帯の砂漠地域や乾燥地域では最も重要な樹木であるが，原生的林相を呈することはない。

ナツメヤシの分布は，広範囲にわたっており，イラク，クウェート，イラン，シリア，オーマン，エジプト，リビア，アルジェリア，モロッコ，南スペイン，インドの北部と南部，豪州のクインズランド，メキシコ北部，米国のアリゾナ，カリフォルニアの砂漠地帯などである。その分布の南限は，サハラ砂漠では北緯17°線，アフリカ東部ではスーダンでの北緯15°線から紅海やアデン湾にかけ，ソマリアやソコトラの北緯10°線となっている。これはさらにアラビア湾岸からパキスタン，インダス河口にいたっている。

ナツメヤシの適地は，熱帯・亜熱帯の乾燥地域で地下水の供給の良いオアシスや川辺の周辺で，砂質の深い土層をもったアルカリ土壌である。

しかし，自然条件が満たされれば土壌の選択は少ない。排水が良ければ粘質土でもさしつかえはない。蒸散が極めて多く，土壌含水分量の高いことが絶対必要であり，灌漑施設があれば大きな収穫をあげることができる。

気温については，結実期の平均気温が２９℃以上でなければならない。気温２０℃でも生育するが開花結実しない。南イラクでは夏季５～６ケ月の間には，ときに約５０℃にも気温が上がり，冬季には氷点前後にも下るような激しい気象環境にあるが，これはさしつかえない。なお，日中の気温較差も別に問題はなく，登熟には夜間の低温と日中の高温との差が大きいことも必要な程である。

降雨量は年間少なくても良く，年間１００～３００㎜の地域にも生育する。クウェートの例では年雨量１３０㎜，５月から９月までは全く雨が降らないが，このような条件が栽培には最適である。

重要な条件は湿度の低いことで，３～５月の開花期に雨が多いと受粉が妨げられ，また８～１０月における成熟期の雨は果実が発酵をおこして望ましくない。

3. 品　　種

ナツメヤシは分類学的には８変種に分かれるといわれているが，個々の品種となると数千種もある。その中の大部分のものは，品質が悪く，生産性も低い。各国各地方にそれぞれ特有な品種が存在しており，その著名なものを列記すれば次のとおりである。

国または地方	主 要 品 種
イラク（北部）	Zahdi
イラク（南部）	Istaamraan
イラク	Khadhraawi
	Khastaawi
	Hallaawi
イラン	Istaamraan

イラン	Muzaafti
	Kabkaab
サウジアラビア	Buzeiz
バーレン	Mirzubaan
オーマン	Fardh
リビア（南部）	Taafirt
チュニジア	Fatiimi，Daglat
	Nuur
アルジェリア	Ghars
モロッコ	Bu Faguus
スーダン	Barakaawi
米　国	Daglat，Nuur
	Khadhraawi
	Zahdi，Barhi

4. 肥培管理

繁殖は主として根部から発生するヒコバエ（Sucker）による。栽植密度は9m×9mでha当たり約120本を植え付ける。定植後数年間はヒコバエが多数でてくるので，これを切り取る必要がある。栽植4～5年生から結実し，最大収量は12～15年生の樹にみられる。果実の収量は肥培管理，灌漑の有無，樹令などにより著しい差が生じる。普通，ナツメヤシ1本当たりの果実収量は年間約50Kgとみられているが，優良品種の中には，毎年250～300Kgの収穫をあげているものがある。ha当たりの収量は1～2トンに達するようである。ちなみにナツメヤシは樹令が60～80年生，又それ以上になっても収穫は続くが，老令樹は汁液（Toddy）採収用に使う方が有利のようである。

施肥は一般には有機物のみが用いられるが，Freeman（1930）によれば成木1本当たりの必要量は，硫安1Kg，過燐酸石灰2.4Kg，塩加1Kgと報告されている。

高生産を維持していくためには，1本のナツメヤシに対し，年6Kgという大量の窒素肥料と30～40Kgの堆肥（1年か2年に一度）を必要とするようである。

5. 生　産　量

データの世界生産量を正確につかむことは困難なことであるが，1960年代には120万トンを超したと推定されているので，現在ではそれを上回る数量であることはたしかである。

主要生産国の筆頭はイラクで，１９７５年の生産量は約４４万トンとなっている。イラク全国で，3,０００万本あるというデーツ樹木は国家管理となっている。サウジアラビアのデーツ開発も見逃せず，その年間生産量はすでに２０万トンに達しており，４～５年後には４０万トンを超すであろうといわれている。なお，イランもデーツ農家１５万戸といわれ，今後の発展はめざましいものとみられている。

6. 用　　途

ナツメヤシの原産地はメソポタミヤ平野で，ココヤシが海浜の湿潤気候に適するのに対し，それは内陸の乾燥気候に適するものである。

その栽培の歴史は古く，紀元前3,０００年のシュメール時代にさかのぼることができる。人類の生活と関係をもった作物としては，最も古いものの一つである。

ナツメヤシは経済性の非常に高い植物で，すべての部分が利用される。果実（Date）は６０％の糖分を含む。脂肪は2.0％，蛋白質は2.5％で含有量は低いがビタミンA，B，B_2，ミネラルを豊富に含み，生食または乾燥果実として食用に供せられる。また，アルコール原料としても用いられる。

種子は粉砕して家畜の飼料にするほか，焙ってコーヒーの代用とする。種子は薬用にもなる。

幹は材質が優れ，建材として用いられる。

葉は屋根材として用いるほか，葉柄中筋の繊維を抽出しロープに製する。若芽の部分はガダー（Gaddah）またはガリ（Gari，Galli）といって，野菜同様にカレー材料として常用される。

また，樹冠直下の幹を傷つけ汁液（Sweet Toddy）を採取し，シラップや砂糖の原料とするほか，汁液を発酵させてアルコール飲料のアラック（Arrack）をつくる。

新鮮な花穂を蒸留して採った香水は，化粧料またはシャーベットの香りつけとして用いられる。

7. 資源的価値

資源開発面から見たナツメヤシの価値は次の５点に要約される。すなわち，糖質の高生産性，耐塩性が抜群に強いこと，木蔭をつくって強度の日照から他の作物を護ること，幹が良質の建材になること，新しい用途開発の可能性が大きいこと，などである。

① 糖質の高生産性

既述のように，ナツメヤシは一本当たりの果実生産量は年間約５０kgであるが，優良品種の中には毎年２５０～３００kgも収穫できるものが知られている。

果実は平均６０％の糖分を含み，含糖率という点では全果実中の最高級に属している。果実に良質多量の糖分を含み，努力次第ではｈａ当たりの糖生産量は蔗糖換算で最高１８トンに達する計算となり，サトウキビには及ばないにしても大変な高生産性である。

こうした炭水化物給源が，熱帯・亜熱帯の砂漠的気候地域から多量に得られるということには，今後の資源開発の在り方に一大示唆をあたえているといえよう。

② 耐塩性

既述のように，ナツメヤシの水代謝が盛んで，その生育には土壌含水分量の高いことが絶対必要である。一方，ナツメヤシの栽培には，大気の乾燥，強度の日照が必要である。ナツメヤシの栽培には，この矛盾した関係を解決するために，砂漠地域では多額の費用のかかる灌漑が望まれるわけである。ところで，砂漠地域の地下水，化石水，河水などは，いずれも塩分濃度が高く，これらの水を使用した場合には，普通の作物は生育困難におちいるが，ナツメヤシは3,０００～１０,０００ppm の鹹水に耐えることができる。

乾燥地域における食糧資源開発にはまことに好適な作物の一つである。

③ 庇 蔭

熱帯・亜熱帯の乾燥地域では，木蔭は強烈な日光をやわらげ，地被植物の萎 を防ぐのに役立つ。ナツメヤシはこの役目をはたす。適当に栽植されたナツメヤシの林は，涼しい木蔭をつくって，他の作物の枯死するのを防ぐ。ナツメヤシの下に野菜，アルファルファなどの牧草が栽培されているのはこのためで，ナツメヤシ林は砂漠農業の長点ともいうことができる。

現に，サウジアラビアでは積極的なナツメヤシ林利用研究が進められ，そこでは柑橘類，アルファルファ，クローバー，野菜などの林間栽培が行われ，牧草は家畜の体を通じて糞尿となり，さらに堆肥になり，土壌還元を行う多角的な有畜複合経営による地域開発の基盤が建設されようとしている。

④ 建 材

幹は比較的軽い方だが，良質で工作用として扉，桁，板，樋，橋梁材などに利用される。良質の木材資源に乏しい砂漠や乾燥地域では貴重な存在である。

⑤ 新しい用途開発

既述のように，ナツメヤシの伝統的用途は広範囲にわたっているが，その主なものは現地人の食糧と欧米人の菓子である。

このナツメヤシの用途も，近代科学技術の進歩に呼応して新しい展開を見せようとしている。さしあたり，刮目に値するものとして，イラク政府の発表しているナツメヤシの多用途開発計画がある。それによると，ビネガー抽出製造，アルコール・スピリット製造，デーツシロップ（液状糖）製造，植物蛋白抽出，繊維製造，圧縮木板製造などが主なもの

としてあげられる。

これらは専門的に見て，いずれも将来性がある。なお，ナツメヤシ生産諸国の開発プロジェクトを瞥見しても，そこにはナツメヤシの二次製品開発意欲が申し合わせたように強く打ち出されている。こうした動きは，国際間の技術協力，協同開発の場を提供するのに役立ち，究局的には活力ある富の創造につながる。

JICA