

第4章 北海道・網走地方における生育環境特性と

それに対応した合理的な窒素施与法

4-1 既往の知見

(1) 温度、日射量と生育、収量

作物の生育量は、生長速度と生育期間の相互関係に支配されている。高温は生長速度を高めるが、生育期間を短縮するため必づしも高温条件が小麦の生育にとって有利ではない²⁴⁹⁾。これまで明らかにされた生育時期別の温度条件と小麦の収量構成要素間の関係を要約すると下記の如くである。

(i) 分けつ期の平均気温が平年値 (16~17℃) を上回ると、穂数が増加する⁵⁸⁾。(ii) 幼穂形成期の平均気温が平年値 (15℃) より高いと、1穂当り小穂数⁷²⁾、小穂当り粒数⁵⁸⁾が減じ、1穂粒数が減少する。(iii) 開花期の高温は不稔率を高め、1穂粒数を減少させる^{180, 223)}。(iv) 登熟期間中の平均気温が平年値 (15℃程度) より高いと、粒重が減少する^{3, 10, 28, 58, 179, 241)}。

粒重はGGRと登熟期間に支配されるが、GGRは温度の上昇で高まるので、高温による粒重の減少は、登熟期間の短縮が関与していると考えられる。事実、多くの研究者が高温による登熟期間の短縮を認め^{29, 63, 180, 242)}、それが粒重の減少になることを指摘している^{28, 90, 241)}。また、WIEGAND²⁴¹⁾は開花期から成熟期の平均気温が15℃以上の場合には、粒重は登熟期間の長短に支配され、1℃上昇すると、登熟期間は3.1日短縮し、1粒重は2.8mg減少すると報告している。

登熟の停止は子実生育の停止であり、穂、止葉、葉鞘におけるクロロフィルの退化、消失と関係がある^{2, 3, 54, 171, 180, 234)}。小麦の葉は開花前に最大面積に達し、開花後の光合成は葉の緑色を持続する期間に支配される¹⁵⁾。一方、登熟に対して穂や茎の光合成も無視できず、温度は穂のクロロフィルの維持にも影響を与える^{62, 171)}。また、CAMPBELL²³⁾は粒重に対する温度、水分、窒素施与の影響を検討し、温度の影響が最も大きく、負に作用することを指摘している。結局、高温は貯蔵

器管や葉における蛋白中の酵素の半減期を早め、老化を促進し⁴⁸⁾、登熟期間を短縮するものと考えられる。

FISCHERら⁵⁸⁾は子実収量に対して温度の影響が最も大きいのは、分けつ終止期あるいは登熟初期であり、それは粒数減により、1℃の上昇で子実重が4%も減収することを見出した。また、粒重は止葉抽出期から開花期までの15℃以下の低温で高まることを指摘している^{58, 59)}。

一方、ファイトトロンの試験結果では、光強度の上昇および日照時間の延長に基づく日射量の増加により、光合成は促進され、増収となることが指摘されている^{215, 216)}。しかし、自然条件下では、温度と日射量が平行的に高まることが多く、見かけ上は日射量の増加で登熟期間が短縮した例も認められた⁴⁸⁾。

日射量の上昇は、あるレベルまで生産性を高めるが、それ以上の日射量では子実収量が横ばい状態になることがイギリスの小麦²³⁸⁾や日本の水稻¹¹⁷⁾で報告されている。村田¹²⁰⁾は太陽エネルギー利用効率に対する平均気温 (T) と日射量 (S) の比 (T/S 比) の重要性を指摘しており、ほ場条件では日射量と温度が相互に関連しつつ、生育、収量に反映していると考えねばならない。

小麦の生育時期別に65~67%の遮光処理を行った場合、最も著しい収量減になるのは生殖生長期間で、次いで登熟期間で、栄養生長期にはほとんど影響がないと、FISCHER⁵⁵⁾は指摘している。また、彼は生殖生長期間の遮光により穂数と1穂粒数とが減少し、減収するが、開花後の遮光の影響は、品種間や年次間で一定でないと報告している。しかし、開花前と開花後の60%遮光処理で、収量はほぼ同等に低下するとの報告もある¹³⁸⁾。また、登熟期間の日射量を遮光によって半減した場合の減収率は、45%²³⁸⁾、50%²⁴³⁾であると報告されている。

(2) 土壌の窒素供給力と生育、収量

土壌の窒素供給力を知ることは、窒素の管理法を確立する上で重要である。土壌の窒素供給力の評価方法は、(i) 化学的抽出法 (ii) 短期間培養法 (iii) 作物による窒素吸収法 (iv) 回帰式による吸収量推定法 (v) アイソトープ法 (vi) 作物分析法に分類される¹⁹⁾。

STANFORD¹⁸⁴⁾は(ii)について、無機態窒素累積量は培養期間の平方根と直線関係にあることを見出し、この関係から Nitrogen Mineralization Potential (NMP) を算出した。その後、彼ら^{185, 188)}は温度と土壌水分が NMP に与える影響を解析し、NMP によって窒素の供給パターンを知ることができると主張した。

最近では、土壌の窒素供給力に占める残存無機態窒素の重要性が指摘され、土壌の窒素供給力は、生育開始時点の根圏に残存する無機態窒素と、生育期間中に無機化される窒素に二分しうると考えられている²³⁷⁾。

PENDLETON¹³⁷⁾は秋播小麦に対する多くの窒素施与試験で、例外なく窒素の施与効果を認めたが、増収率は残存する可給態窒素量によって異なると報告している。また、STANFORD¹⁸⁷⁾は、(a) 当初から土壌中に残存していた無機態窒素、(b) 生育期間中に無機化された窒素、(c) 施与窒素の3者は、同等の肥効を示すとした。その結果、てん菜に対する窒素施与量は、残存窒素と無機化窒素量に基づいて決定されている^{26, 67, 189)}。さらに、えん麦^{167, 240)}、ミレット¹¹⁸⁾、タバコ^{141, 142)}、トウモロコシ¹⁵⁰⁾で、播種時に土壌中に残存する硝酸態窒素の重要性が指摘され、秋播小麦^{32, 161, 237)}でも同様な見解が示されている。

しかし、残存無機態窒素量は、分析時期、採取土層の深さなどの相違で変動しやすいので、分析法の基準を設ける必要がある。とくに、採取土層の深さは影響が大きく、無機態窒素の上下移動および根系分布との関係で、慎重に決定されねばならない。

従来例をみると、秋播小麦では0～100cm^{161, 237)}、あるいは0～180cm¹³⁰⁾、てん菜では0～40cm²⁷⁾、トウモロコシでは0～120ないし180cm⁶⁵⁾を採取層位として、てん菜以外ではかなり深層ま

で有効土層とみている。

しかし、SPENCER¹⁷⁷⁾が各作物の無窒素区の窒素吸収量と各層位の残存無機態窒素の関係を検討したところ、トウモロコシとワタの窒素吸収量は、それぞれ15～30cm、0～30cm層位の無機態窒素量と有意な相関があり、比較的浅層の重要性を指摘している。また、HERRON^{ら75)}は、表層30cmまでと180cmまでの硝酸態窒素量間に相関を認めており、仮に、有効土層が100cm以上に及ぶとしても、実用的には比較的浅層の無機態窒素で代替しうると判断される。

次に、土壌の分析時期の問題であるが、一般には窒素施与直前に行うのが妥当と考えられる。秋播小麦の窒素施与時期は、研究が進んでいる西欧では春施肥(播種時には施与しない)が中心で、残存無機態窒素の分析時期は2月ないし3月であり^{161, 237)}、秋施肥(播種時)が中心である北海道には適用できない。このような相違もあるが、残存無機態窒素含量は0～100cm層位で20～300Kg/ha²³⁷⁾、あるいは20～150Kg/ha¹⁶¹⁾、45～200Kg/ha³⁷⁾の範囲にあり、土壌の窒素供給力の評価にも大きな影響を与えると考えられる。

今後は、無機態窒素の採取層位や分析時期を土壌水分含量やその運動方向、根群の深さとその活性、および作物の窒素要求特性などとの相互関係で検討し、残存無機態窒素が正確に測定される分析法を確立すべきである。

4-2 実験方法および結果

4-2-1 環境条件と生育、収量の関係

(1) 気象条件の相違が生育、収量に及ぼす影響 実験方法

a) 1975年から1982年の北見農試定期作況報告書を引用して、「ホロシリコムギ」の生育、収量と時期別平均気温の関係を調査した。なお、秋播小麦作況は場の畦幅は30cm、播種量340粒/m²、3反復で試験を行い、以後これを標準耕種法と呼ぶ。窒素施与量は60KgN/haである。

また、同期間に行った多くの窒素施与試験のうち、窒素施与量が各年次ではほぼ共通する基肥全量作条施与区(140～160KgN/ha)を対象として、

収穫時の窒素吸収量および子実収量と越冬前（9月中旬～11月上旬）の降水量との相互関係を調査した。

b) 気象条件が異なる1979年, 1980年, 1981年に「ホロシリコムギ」の生育経過を比較検討した。標準耕種法で, 化成肥料(10-18-12)を播種時に800 Kg/ha 作条施与したほ場について生育経過の調査を行った。また, 収穫時の調査は, 起生期に60 Kg N/haの硫酸を追肥した区を対象として行った。

c) 気象条件が大きく異った1981年, 1982, 1983年の「ホロシリコムギ」について, 開花後の穂における同化産物の集積過程を比較検討した。調査の対象区はいずれも基肥80 Kg N/haで, 起生期追肥は, 1981年には60 Kg N/ha, 1982年と1983年には40 Kg N/haである。開花期以降1～3日おきに平均的百穂を選び, その乾物重を測定するとともに気温や日射量の測定も行った。

d) 1980年, 「ホロシリコムギ」について, 標準耕種法で時期別遮光試験を行った。遮光期間は

2週間, 遮光率は73%とし, 遮光の開始時期は4月28日, 5月12日, 5月29日, 6月9日, 6月23日, 7月7日, 7月21日で, その他に無遮光区を設け, 収穫時に各種の調査を行った。

実験結果

a) 5月中旬～6月中旬の平均気温と出穂期, 6月下旬～7月下旬の平均気温と出穂期から成熟期までの日数との間には, それぞれ負の関係があった(図34)。直線回帰式から推定して, 5月中旬～6月中旬の平均気温が1℃上昇すれば, 出穂期は2.6日早まり, 6月下旬～7月下旬の平均

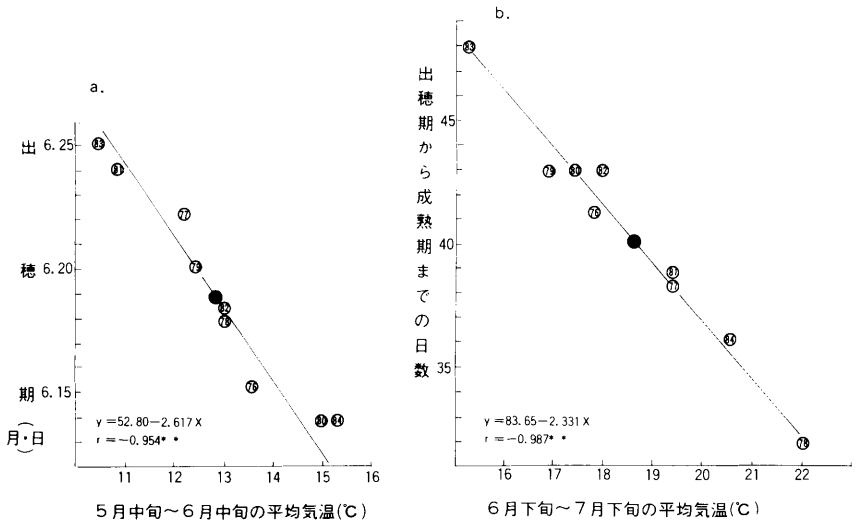


図34. 各期の平均気温と出穂期(a)および出穂期から成熟期までの日数(b)との関係
注) ○内数字は西暦年次の略号(1976の19は省略) ●9ヶ年平均値

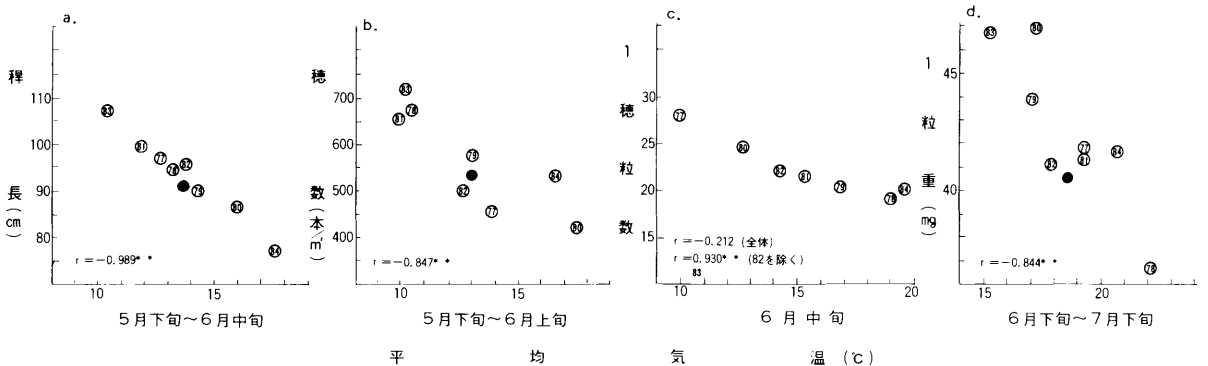


図35. 各期の平均気温と収穫時の穂長(a)および収量構成要素(b, c, d)の関係

注) 内数字は西暦年次の略号(1977の19は省略)
●9ヶ年平均値

気温が1℃上昇すれば、出穂期から成熟期までの日数は2.3日短縮される。

5月下旬～6月中旬の平均気温と稈長，5月下旬～6月上旬の平均気温と穂数，6月下旬～7月下旬の平均気温と1粒重との間に負の相関があり，低温による不稔障害が認められた1983年を除けば，6月中旬の平均気温と1穂粒数との間にも負の相関があった

(図35)。しかし，時期別平均気温と子実収量との間には，何らの相関も認められなかった。また，5月20日の茎数（ほぼ最高茎数）と収穫時の穂数との間にも，一定の関係が認められなかった。

収穫時の地上部窒素吸収量と越冬前（9月中旬～11月上旬）の降水量との間には，負の相関があり，同様な関係は子実重と降水量との間にも認められた（図36）。

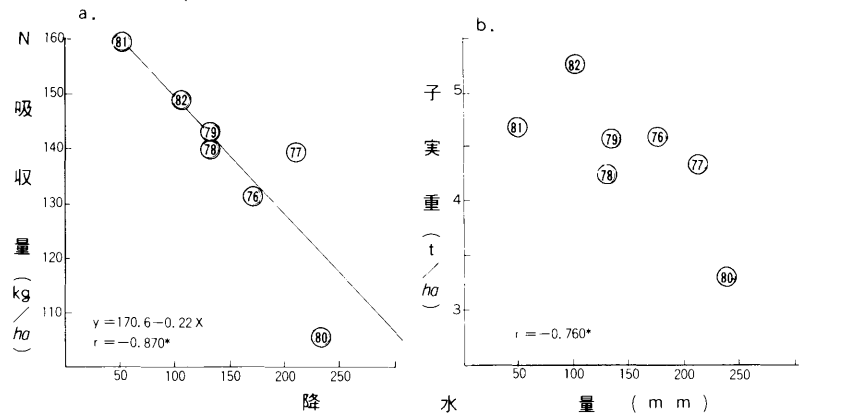


図36. 越冬前（9月中旬～11月上旬）の降水量と収穫時の地上部窒素吸収量（a）、子実収量（b）の関係

注）○内数字は、西暦年次の略号（1976の19は省略）
窒素施与量は140～160kg N haで、いずれも全量基肥作条施与

b) 生育期間別の平均気温をみると，1980年1981年より10日以上も早かったが，成熟期にはほとんど差がなかった。無追肥区の出穂期や開花期の稈長は1981年より1980年でわずかに短かかったが，成熟期にかけてその差は拡大し，1981年で約20 cmも長程であった（図37）。全重，茎葉重も1981年で大きく，とくに登熟初期における茎葉重

表16. 時期別平均気温が大きく異なる1980, 1981, 1982年の生育、収量比較（起生期窒素追肥区）

a. 平均気温、生育期、および地上部乾物重の推移

項目 年次	平均気温 (°C)		生育期 (月・日)			茎数・穂数 (本/m ²)		全乾物重 (t/ha)		
	5月中～6月中	6月下～7月下	出穂期	開花期	成熟期	出穂揃期	成熟期	出穂揃期	成熟期	出穂揃～成熟
1980	15.0	17.4	6・13	6・20	8・1	459	383	4.45	9.70	5.25
1981	10.7	19.3	6・24	6・30	8・3	868	742	8.87	14.68	5.79
1982	13.1	18.0	6・17	6・22	8・2	646	499	8.29	13.65	5.36

b. 子実収量および収量構成要素

項目 年次	子実重 (t/ha)	HI (%)	1粒重 (mg)	1穂粒数	粒数 (×10 ² /m ²)	N吸収量 (kg/ha)
1980	4.22	43.5	41.1	26.9	103	122
1981	4.44	30.2	33.3	18.0	134	165
1982	5.08	37.2	38.2	26.5	132	142

の差が著しかった。は5月中旬～6月中旬が他の年次より高温であったのに対し，6月下旬～7月下旬の気温は低かった。一方，1981年は前年と逆の傾向を示し，1982年は前2年の中間的な経過を示した（表16）

5月中旬から6月中旬まで高温であった1980年の出穂期，開花期は，この期間が低温であった

窒素追肥区の出穂揃期や収穫時の調査結果によると，茎数，穂数，粒数，窒素吸収量，全乾物重は1981>1982>1980年であったが，出穂揃期以降の乾物生産量の年次間差は小さかった。粒重，1穂粒数，HIは1980>1982>1981年であり，子実重は1982>1981>1980年であったが，1980年と1979年の差は小さい（表16）。

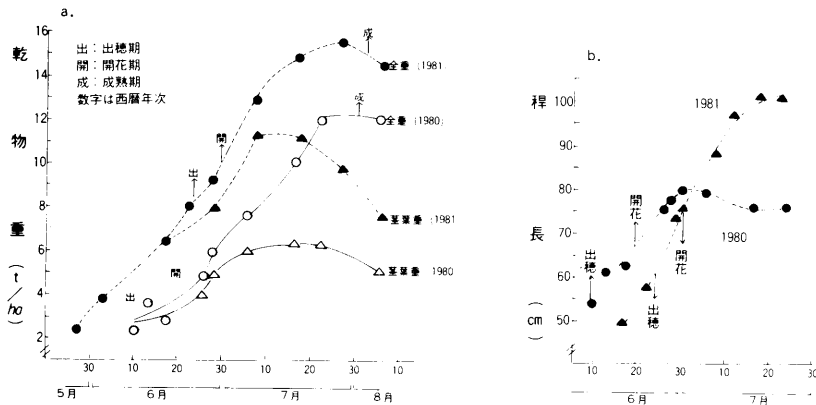


図37. 1979年と1980年における部位別乾物重(a)と稈長(b)の時期別推移(無追肥区)

表17. 生育期間の温度条件が異なる1982, 1983, 1984年の生育, 収量比較

a. 平均気温, 生育期, 生育日数の相違

年次	項目 時期	平均気温(°C)		生育期(月・日)			生育日数(日)		
		5月上旬~開花	開花~成熟	出穂期	開花期	成熟期	出穂~開花	出穂~成熟	開花~成熟
1982		12.9	18.0	6・17	6・22	8・2	5	46	41
1983		10.8	17.8	6・23	7・4	8・8	11	46	35
1984		13.8	20.7	6・18	6・20	7・26	2	38	36

b. 地上部乾物重, 窒素吸収量の推移と子実収量

年次	項目 時期	乾物重(t/ha)			N吸収量(kg/ha)			子実重 (t/ha)	穂数 (本/m ²)
		出穂揃*	成熟	出揃~成熟	出穂揃*	成熟	出揃~成熟		
1982		8.29	13.60	5.31	128	142	18	5.08	500
1983		9.16	14.35	5.19	109	123	14	4.00	597
1984		5.63	11.89	6.26	113	142	29	4.41	467

*1982年は開花期のデータ

c) 1983年は全生育期間に亘って低温であるが, 1984年は高温であり, 1982年は両年の中間であった。出穂期から開花期までの日数は1983>1982>1984年で, 出穂期から成熟期までの日数もほぼ同様な傾向であるが, 開花~成熟までの日数は1982>1984≧1983年であった(表17-a)

出穂揃期の乾物重は1983>1982>1984年でその差は大きい, 出穂揃期以降の乾物生産量は1984>1982>1983年でその差は小さい。子実重は1982>1984>1983年であり, 低温年や高温年は収量が低かった(表17-b)。

百穂重は開花期以降のある一定期間増加せず, その後増加した(図38)。EGRは登熟時期によって相違し, 3ヶ年とも前期で小さく(図38のポイ

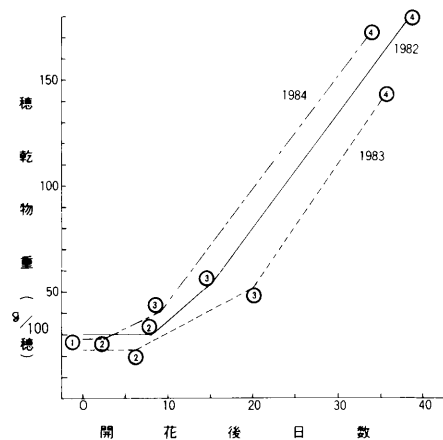


図38. 穂における乾物集積経過と年次間差

注) ①-②フラクビリोट ③-④EGRの期間 ⑤-⑥大EGRの期間

ント②～③), 後期で大きかった (図38のポイント③～④) (表18)。ただし, 小EGRの期間には年次間差があり, 1983年で長くEGRも相対的に小さかった。なお, 1983年この期間は低温, 低日射量でT/S比が高く, この期間が高温, 高日射量であった1981年はEGRが相対的に大きかった。

減少を示すのに対して, 最も低収になった7月7日～21日遮光区では, むしろ無遮光区に優る穂数であった。窒素吸収量も遮光により減少した。なお, 無遮光区の日平均日射量は6月23日～7月7日で低く, 7月7日～7月21日で高くなったが, その他の期間には大きな差を認めなかった。

表18. 開花期以降の生育時期別生育経過と気象条件の関係

項目 年次 図中ポイント*	E G R (g・100 ⁻¹ ・day ⁻¹)			日平均気温(T) (°C)			日射量(S) (cal・cm ⁻² ・day ⁻¹)			T/S (×10 ⁻²)			期 間 (日)		
	1982	1983	1984	1982	1983	1984	1982	1983	1984	1982	1983	1984	1982	1983	1984
① ~ ②	0	0	0	12.5	13.1	17.4	304	487	319	4.11	2.69	5.45	8	6	2
② ~ ③	3.39	1.96	1.90	19.5	16.6	16.1	644	374	478	3.03	4.44	3.37	7	14	7
③ ~ ④	5.06	5.92	5.54	19.6	21.3	20.3	409	403	419	4.83	5.29	4.84	25	16	24
② ~ ④	5.07	3.91	4.80	19.5	19.0	19.3	459	393	432	4.25	4.83	4.46	32	30	31

*図38の○内数字を示す。

一方, 大EGRの期間は1983年で短かったが, その値は他の年次より高かった。この期間の平均気温はむしろ1983年で高かったが, 日射量には年次間差がなく, EGRの年次間差も前期のそれより小さかった。

d) 子実重, HI, 粒重, 1穂粒数, 粒数およびNHIに対する遮光処理の影響を時期別にみると, 出穂期前の影響は比較的小さく, 出穂期後に大きかった。とくに, 登熟初期から中期(7月7日～7月21日)に亘る遮光は著しい影響を及ぼし, いづれの要因も最も低い値になった。しかし, 登熟後半の遮光はそれほど大きな影響を及ぼさなかった(図39, 表19)。

全重に対する遮光の影響は出穂期前後に大きく表われ, 出穂期から登熟初期の遮光で最も低い値を示した。一方, 穂数は出穂期前の遮光で著しい

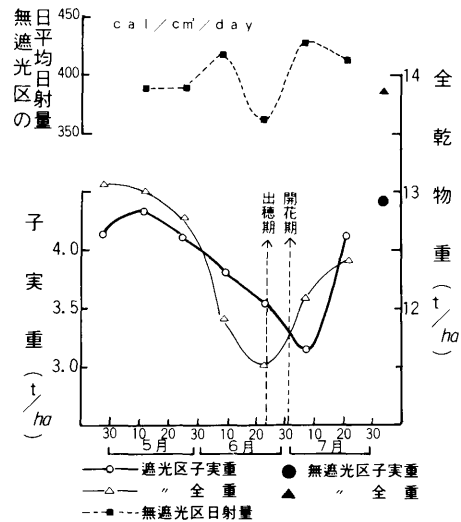


図39. 遮光処理時期と子実収量、地上部全乾物重の関係
注) 打点は遮光開始時期を示す

表19. 遮光処理時期が収量構成要素、窒素吸収量に及ぼす影響

項目 遮光時期(月・日)	HI (%)	1粒重 (mg)	穂数 (本/m ²)	1穂粒数	粒数 (×10 ² /m ²)	N吸収量 (kg/ha)	NHI*
4・28～5・12	31.5	34.3	626	19.2	120	135	74.1
5・12～5・26	33.5	34.4	592	21.4	127	145	74.4
5・26～6・9	32.1	33.2	599	20.7	124	136	75.0
6・9～6・23	31.8	33.4	601	18.9	114	142	69.1
6・23～7・7	30.7	30.7	632	18.2	115	136	67.2
7・7～7・21	25.8	29.6	681	15.5	106	142	62.6
7・21～8・4	33.1	32.1	672	19.1	128	127	76.3
無遮光	32.0	34.2	670	19.4	130	155	71.4

*窒素収獲指数 出穂期：6月24日 開花期：7月1日

(2) 土壌の窒素供給特性が生育、収量に及ぼす影響

実験方法

北見農試ほ場に埋設した1 m²の無底コンクリート枠に網走地方に分布する4種の代表的な土壌の作土(清里褐色火山性土⁷⁷⁾, 遠軽褐色森林土⁷⁷⁾, 佐呂間褐色低地土⁷⁷⁾, 訓子府湿性黑色火山性土⁷⁷⁾を40 cmまでの深さに充填し, それ以下の心土には農試ほ場の心土を使用した。1976年9月, 「ムカコムギ」を供試品種とし, 畦幅25 cm, 8.0 g N, 14.4 g P₂O₅, 9.6 g K₂O/m²の栽培条件で試験を行い, 経時的に作物体を採取した。また, 土壌溶液中の無機態窒素, 土壌中各形態窒素, 硝酸化成能をおよびStanford¹⁸⁴⁾のNMPの測定を行った。

実験結果

清里土は高pH(6.3)でCECが小さい(15 me/100 g)のに対し, 訓子府土は低pH(5.3)でCECが大きく(30 me/100 g), 遠軽, 佐呂間土は両土壌の間であった。全窒素含有率は訓子府土が最も高く0.5%で, 以下, 遠軽土>清里土>佐呂

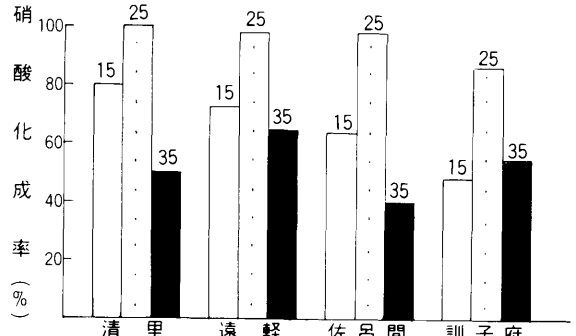


図40. 培養温度を異にする窒素施与後4週目の硝酸化成率と土壌間差の関係

注1) 硝酸化成率は窒素施与区(15mg N/10g土)から無窒素区の無機態Nを差引き、NH₄⁺-N+NO₃⁻-Nに対するNO₃⁻-Nの比率として求めた。
注2) 図中の数字は培養温度(C)を示す。

間土であった。また, 硝酸化成率は, 25°Cの培養温度では訓子府土が劣ることを除いて, 他の土壌で約100%であり, 15°Cでは清里土>遠軽土>佐呂間土>訓子府土で, ほぼ土壌pHの順位に対応していた(図40)。

子実重は佐呂間土>遠軽>訓子府土>清里土であり, HI, 1粒重, 1穂粒数, 窒素吸収量もほぼ同じ傾向であった。穂数は高収であった佐呂間

表20. 土壌条件の相違が子実収量、収量構成要素に及ぼす影響

項目 土 壌	子実重 (g/m ²)	全 重 (g/m ²)	HI (%)	1粒重 (mg)	穂 数 (本/m ²)	1穂粒数	m ² 当り 粒数×10 ²	N吸収量 (g/m ²)
清 里	467	1383	33.8	36.3	660	19.5	128.7	8.5
遠 軽	562	1525	36.9	38.2	668	22.0	147.0	11.1
佐 呂 間	565	1470	38.4	40.9	564	24.5	138.2	14.4
訓 子 府	487	1400	34.8	38.1	676	18.9	127.8	10.9

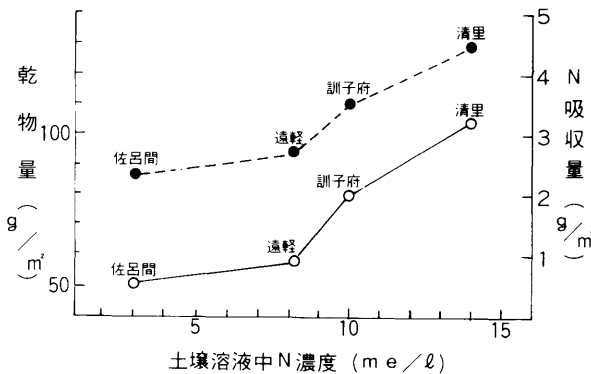


図41. 窒素施与後11日目の土壌溶液中無機態窒素濃度と播種後54日目の地上部乾物重、窒素吸収量の関係

土で遠軽土より少なかった(表20)

越冬前(播種後54日)の乾物重と窒素吸収量は清里土>訓子府土>遠軽土>佐呂間土で, この順序は窒素施与後11日目の土壌溶液中無機態窒素濃度とよく対応していた(図41)。

出穂期直前(播種後265日)まで。窒素吸収量は, 遠軽土で最も多く, 清里土, 訓子府土がそれに続き, 佐呂間土で最も少なかった。出穂期以降は佐呂間土で最も多く, 遠軽土がそれに続き, 以下, 訓子府土, 清里土であった。また, 佐呂間土と訓子府土では出穂期以降の窒素吸収が旺盛で, 清里土ではこの期間の窒素吸収が停滞し, 遠軽土では登熟の後半に窒素吸収量が減少した(表21)。

起生期から成熟期までの窒素吸収量は、佐呂間土>遠軽土>訓子府土>清里土であった。窒素吸収量が最小であった清里土は、全ての窒素供給力評価法で低い値であったが、窒素吸収量の最大で

りん酸とカリ肥料は充分量を作条施与し、以後のは場試験でも同様に施与した。

各試験地に直径23.5 cm、高さ35 cmのビニール円筒をは場試験開始と同時に埋設し、各試験地

表21. 起生期以降の窒素吸収量の推移と土壌間差 (g/m²)

土壌	生育期 日数	起生期		出穂期			成熟期	
		266	244	265	274	283	303	318
清里		3.2	5.5	6.1	6.9	7.0	7.3	8.5
遠軽		2.3	6.5	8.4	10.4	12.2	12.3	11.1
佐呂間		1.8	4.3	5.6	10.6	12.9	13.8	14.4
訓子府		2.4	5.2	6.3	7.3	7.8	9.7	10.9

表22. 起生期以降、成熟期までの窒素吸収量と起生期に測定した土壌の窒素供給能の関係

土壌	項目	N吸収量* g/m ²	無機態N	NMP**	① + ②	熱水抽出N mg/100cc	有機態N (mg/100cc)	
			① mg/100cc	② mg/100cc	mg/100cc		アルカリ蒸留N	酸加水分解N
清里		5.3	3.36	16.3	19.7	5.50	43.4	130.2
遠軽		8.8	9.10	26.4	35.5	10.11	71.2	184.0
佐呂間		12.6	5.08	20.8	25.9	9.56	86.1	184.3
訓子府		8.5	6.07	22.2	28.3	8.90	94.1	254.7

* 起生期以降のN吸収量 (収穫期一起生期)

** Nitrogen Mineralization Potentialの略で Stanfordら¹⁸⁴⁾の方法に従い測定した。

表23. 起生期以降の土壌中無機態窒素含量の推移とその土壌間差 (mg/100cc土壌)

土壌	生育期 日数	起生期		出穂期			成熟期	
		226	244	265	274	283	293	318
清里		3.36	0.99	0.94	0.46	0.42	0.48	0.92
遠軽		9.10	1.04	1.28	0.65	0.83	0.38	1.52
佐呂間		5.08	2.26	2.66	1.44	1.61	1.61	2.50
訓子府		6.07	1.86	0.97	1.07	1.05	1.05	1.25

あった佐呂間土については、どの評価法でも最高値を示さなかった(表22)。ただし、播種244日以降の土壌の無機態窒素含量は、佐呂間土で最も多く、清里土で最も少く推移した(表23)。

4-2-2 窒素の肥効と土壌特性の関係

(1) 作条・基肥窒素の肥効の土壌間差

実験方法

a) 1976年9月「ホロシリコムギ」について清里町(褐色火山性土⁷⁷⁾、網走市(同左⁷⁷⁾、端野町(同左⁷⁷⁾、訓子府町(湿性黑色火山性土⁷⁷⁾、佐呂間町(褐色低地土⁷⁷⁾の5試験地で標準耕種法で栽培し、作条基肥施与量は0, 40, 80, 120, 160, 200 Kg N/haで、硫酸を用いて用量試験を行い、出穂揃期と収穫時に各種調査を行った。なお、

土壌の作土を6~7.2 kg 充填し、地表下5 cmに558 mg N, 558 mg P₂O₅, 360 mg K₂Oを施与し、無裁植状態で放置し、10月11日、11月15日、4月22日、5月30日に円筒をとり出し、表面より7 cmきざみで円筒内土壌を層別に切断し、無機態窒素を分析した。

さらに、各試験地土壌のpF-水分分布曲線、透水係数、積算浸入水量を測定した。

b) 1980年9月、「ホロシリコムギ」について清里町、網走市、端野町、訓子府町で標準耕種法による窒素施与試験を行った。窒素施与量は0, 140 Kg N/haであるが、140 kg区には作条区とN表面区も設けた。土壌中の無機態窒素を0~40 cmと40~80 cmの層位に分けて起生期に分析し、

また、収穫時に窒素吸収量を測定した。

よび交換性 Ca は高かった。

実験結果

土壌 pH は清里 > 網走 > 端野 > 佐呂間 > 訓子府であった。

a) 土壌の粒径組成をみると、清里試験地（以後、清里と略記）では粗砂含有率が高く、粘土含

1977年の訓子府における平均気温は、出穂前（5

表24. 各試験地土壌の層位別理化学性

a. 物理性

* 試験地	** 層位	土性	粒 径 組 成 (%)				透水係数 (cm/sec×10 ⁻⁴)
			粗 砂	細 砂	シルト	粘 土	
清 里	1	L	18.4	36.3	30.8	7.8	7.96
	2	SL	22.4	33.7	31.8	5.4	—
網 走	1	L	2.8	41.8	34.3	13.8	8.51
	2	SL	3.8	59.5	23.3	6.0	—
端 野	1	L	6.3	41.7	30.7	11.8	7.96
	2	SL	8.5	67.2	15.2	3.1	—
佐 呂 間	1	LiC	0.6	12.9	41.6	43.4	16.56
	2	ク	0.2	20.9	44.1	39.5	—
訓 子 府	1	L	4.0	50.5	30.0	13.5	2.40
	2	SL	5.7	55.9	25.7	5.4	—

b. 化学性

* 試験地	** 層位	pH (H ₂ O)	T-C (%)	T-N (%)	CEC (me/100g)	Ex-base (me/100g)			Truog P ₂ O ₅ (mg/100g)	P ₂ O ₅ 吸収係数 (mg/100g)
						Ca	Mg	K		
清 里	1	6.54	3.48	0.30	21.7	14.8	0.95	0.45	17.7	826
	2	6.49	3.31	0.26	20.0	12.7	0.85	0.43	15.9	720
網 走	1	6.23	3.23	0.24	21.4	10.6	1.00	0.96	8.2	974
	2	6.24	1.07	0.09	18.1	6.0	0.50	0.96	0.5	1,378
端 野	1	5.72	4.54	0.35	25.3	11.7	1.40	0.91	10.3	1,078
	2	5.73	1.09	0.10	14.0	3.5	0.43	0.32	1.0	1,342
佐呂間	1	5.59	2.81	0.22	32.5	20.8	3.03	0.45	43.3	604
	2	5.91	0.88	0.09	25.7	17.3	4.95	0.16	4.1	636
訓子府	1	5.48	7.45	0.50	33.7	13.7	0.75	0.23	9.5	1,132
	2	5.23	3.38	Tr	24.0	2.7	0.25	0.19	1.5	1,720

* 清里、網走、端野：褐色火山性土、佐呂間：褐色低地土、訓子府：湿性黑色火山性土
 ** 1:作土 2:心土

有率が低く、佐呂間試験地（以後、佐呂間）では清里と逆の傾向であり、その他の試験地は両試験地の中間である（表24）。

月中旬～6月中旬), 出穂後(6月下旬～7月下旬)とも平年値に近かった。一方、各試験地の平均気温は、出穂前、出穂後にかかわらず、沿海部の清里、網走が内陸部の端野、訓子府、佐呂間より低かった（表25）。

化学性では、T-N、T-C、CECは訓子府試験地（以後、訓子府）で高く、清里で低い。佐呂間ではT-C、T-Nは低いが、CEC、有効態りん酸、お

全試験地とも、倒伏はほとんど発生せず、順調

表25. 1977年における試験地別、時期別平均気温 (°C)

期間	地帯 試験地	沿 海 部		内 陸 部			平 均
		清 里	網 走	端 野	訓 子 府	佐 呂 間	
5月中旬～6月中旬		11.8	10.9	13.2	12.5	12.0	12.1
6月下旬～7月下旬		18.9	18.9	20.4	19.3	20.1	19.6

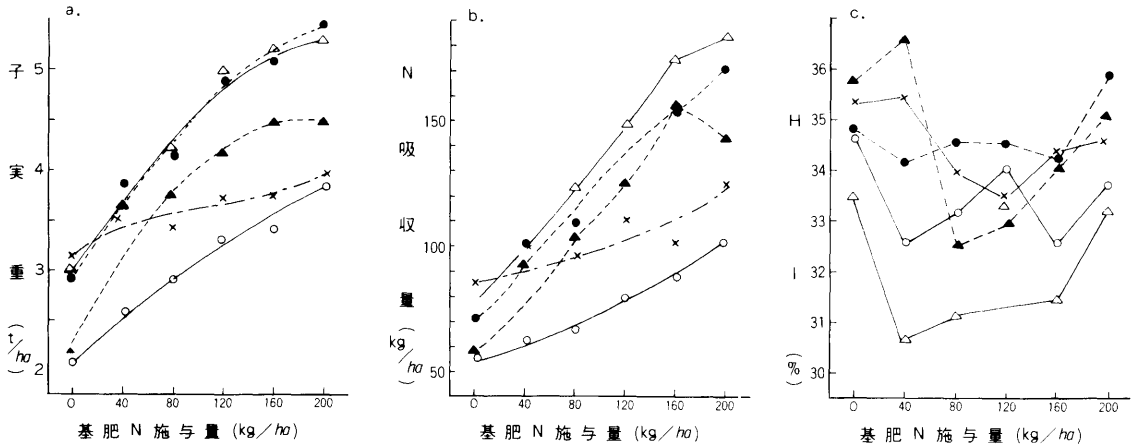


図42. 基肥窒素施与量と収穫時の子実収量(a)、窒素吸収量(b)、および収穫指数(HI、C)の関係

注) —○— 清里 —△— 網走 —●— 端野 —▲— 訓子府 —×— 佐呂間

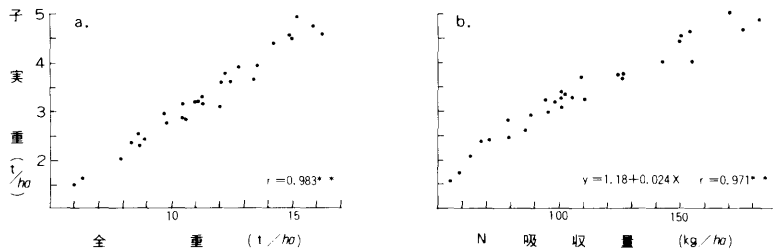


図43. 収穫時の地上部全乾物重(a)、および地上部窒素吸収量(b)と子実重の関係

に生育し、窒素増施により子実重と窒素吸収量は漸増した(図42-a,b)。一方、HIは無窒素区と200 Kg N区で高かったが、それらの中間では一定の傾向がなかった(図42-c)。

子実重と全重、子実重と窒素吸収量との間にはいずれも正の相関があった(図43)。子実重と窒素吸収量の直線関係から、5 t/ha以上の高収を得るには160 Kg/ha以上の窒素吸収が必要で、4～5 t/haの収量を得るには120～160 Kg/haの窒素吸収が必要である。

表26. 基肥窒素施与量別の窒素吸収率の試験地間比較 (%)

N (kg/ha)	40	80	120	160	200	平均
清里	22	17	21	21	24	21
網走	48	56	59	61	52	55
端野	75	47	65	69	50	61
佐呂間	40	12	22	10	20	21
訓子府	90	59	57	61	43	62

各試験地の窒素施与反応性を比較すると、いずれの窒素施与量でも清里が最低収で、網走、端野が高収であった。佐呂間と訓子府はそれらの中間であるが、窒素増施による増収率は佐呂間で小さい。また、各試験地の窒素吸収量もほぼ同様な反応を示し、とくに、清里と佐呂間で窒素増施による窒素吸収増加率の小さいことが特徴的である(図42-a,b)。

各試験地の施与窒素吸収率は、網走、端野、訓子府では60%前後で高かったが、清里、佐呂間で

表27. 越冬前後の土壤中無機態窒素含量の推移とその試験地間差(N: mg/0～35cm層位)

月・日	10月11日	11月15日	4月22日	5月30日
清里	523(3)	422(Tr)	21(Tr)	6(Tr)
網走	623(6)	540(Tr)	381(Tr)	352(Tr)
端野	536(28)	481(Tr)	315(Tr)	89(Tr)
佐呂間	468(8)	318(Tr)	40(Tr)	54(Tr)
訓子府	604(317)	493(8)	166(Tr)	188(Tr)

()はNH₄-N

は20%前後で極めて低かった (表26)。

試験地ではほとんどが $\text{NO}_3\text{-N}$ であり, 11月15日

10月11日の無機態窒素の形態は, 訓子府以外の

には訓子府でも $\text{NH}_4\text{-N}$ は微量であった (表27)。

表28. 各試験地土壌の作土の孔隙分布量比較
($\text{ml}/100\text{cc}$ 土壌)

土壌	PF	0~0.4	~0.8	~1.2	~1.6	~2.0	~2.4	~2.8	~3.2	~3.6	~4.0	~4.4
清里		1.5	2.9	5.0	11.5	12.7	10.2	7.1	6.0	7.5	6.4	5.0
網走		0	0.3	1.6	7.3	13.1	7.6	5.5	5.0	8.2	6.7	8.1
端野		0.4	0.8	1.1	3.9	18.7	9.2	6.6	5.9	8.2	7.1	6.5
佐呂間		1.6	2.4	6.5	8.9	5.6	3.2	2.4	3.2	6.8	8.2	9.5
訓子府		0.6	1.1	1.1	3.4	12.2	9.3	8.2	7.0	10.9	6.4	6.5

越冬後の4月24日には, 全試験地で0~35 cmの層位に残存する無機態窒素は越冬前より減少し, この減少は清里, 佐呂間で大きく, 網走, 端野で小さかった。

清里と佐呂間は, 粒径組成が大きく異なるにもかかわらず, 粗孔隙量 (pF 0~1.6), 積算浸水量が多く, 透水係数も高かった。一方, 訓子府はこれらの値がいずれも低く, 端野, 網走は中間的であった (表24-a, 表28, 図44)。

b) 同一窒素施与量であっても, 越冬後の各層位に分布する無機態窒素量は, 試験地間で異なった (図45)。収穫時の窒素吸収量は, 起生期に0~40 cm, および0~80 cmの層位に残存する無機態窒

素量が多いほど多くなった。しかし, 40~80 cmの無機態窒素量と窒素吸収量との間には, 一定の関係がなかった。

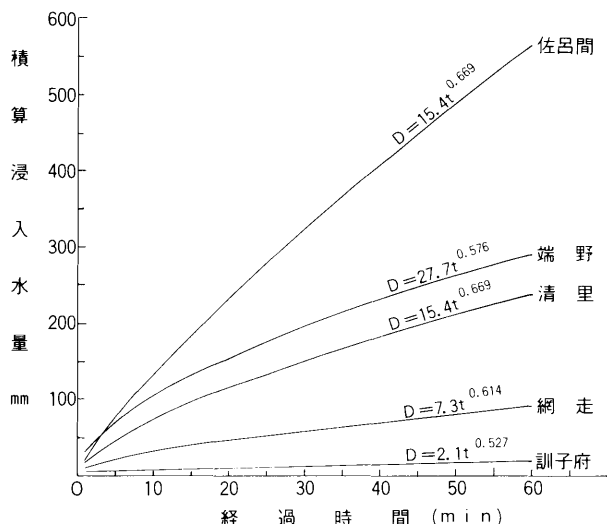


図44. 各試験地で測定した積算浸水量の時間による変化

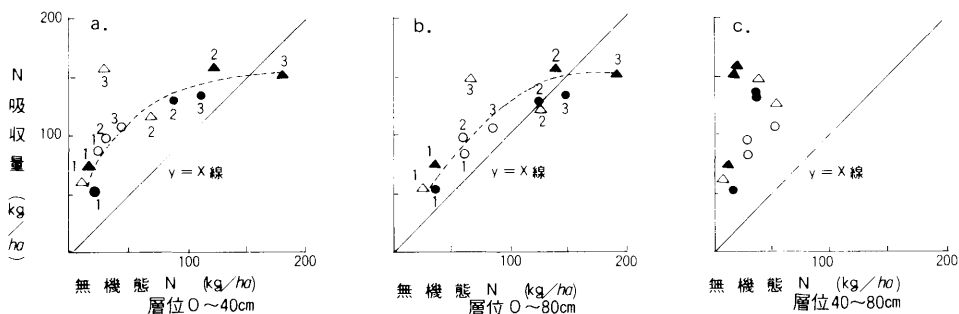


図45. 起生期の土層別無機態窒素含量と収穫時の地上部窒素吸収量の関係

注) 1 : 0 kg N ha, 2 : 140 kg N 作条 ha, 3 : 140 kg N 表面 ha
○ 清里 △ 網走 ● 端野 ▲ 訓子府

(2) 異った施与位置における基肥窒素の挙動の
土壌間差

実験方法

1978年には清里町，網走町，訓子府町の3試験地で，前項に準じたビニール円筒試験を行った。地表下5 cmに窒素施与する作条区を設け，1978年10月16日と1979年4月28日に円筒をとり出し，前項に準じて採土し，各層位の無機態窒素を分析した。

1980年には端野町を加えた4試験地で，無N区，作条区，N表面区を設けては場試験を行い，

窒素が多く存在し，その大部分がNO₃-Nであった。一方，訓子府では0～14 cmの層位にNH₄-Nを主体とした無機態窒素が多く存在した。越冬後の無機態窒素残存割合は，訓子府，網走ではN表面区で作条区より高く，清里では両区に差がなかった（表29）。

越冬後の0～40 cmの土層に存在する無機態窒素量は，訓子府>端野>網走>清里であった。一方，40～80 cmのそれは訓子府で少く，その他の試験地間差はあまりなかった。0～40 cm，および0～80 cmの層位に存在する無機態窒素は，清

表29. 円筒モデル試験による越冬前後の土層別無機態窒素含量の窒素施与位置間差および試験地間差 (mgN 層位)

試験地	層位cm	10月16日		4月28日	
		作条	表面	作条	表面
清里	0～7	472 (286)	460 (367)	6 (2)	10 (3)
	～14	70 (7)	13 (2)	5 (3)	5 (3)
	～21	9 (3)	5 (0)	5 (2)	6 (2)
	～28	4 (0)	5 (0)	6 (2)	4 (4)
	～35	3 (0)	4 (0)	7 (2)	5 (3)
	合計		558 (296)	487 (369)	29 (2)
網走	0～7	474 (116)	476 (367)	14 (11)	31 (8)
	～14	29 (0)	5 (0)	11 (3)	34 (3)
	～21	5 (0)	7 (0)	38 (4)	61 (3)
	～28	7 (0)	9 (0)	57 (3)	95 (4)
	～35	8 (0)	7 (0)	44 (3)	97 (4)
	合計		523 (116)	504 (367)	164 (15)
訓子府	0～7	499 (390)	535 (513)	100 (61)	187 (162)
	～14	15 (0)	16 (3)	90 (82)	118 (102)
	～21	18 (0)	9 (0)	62 (58)	73 (51)
	～28	7 (0)	11 (0)	36 (30)	71 (47)
	～35	17 (0)	13 (0)	18 (12)	34 (14)
	合計		556 (390)	584 (516)	305 (243)

注) 1. () はNH₄-N
2. 施与N残存割合(%)は 清里(作条: 5.2 表面: 6.2)
網走(作条: 31.3 表面: 63.0)
訓子府(作条: 54.9 表面: 82.7)

翌春の起生期に0～40 cmと40～80 cmの土層に分けて土壤試料を採取し，無機態窒素を分析した。窒素施与量は140 Kg/haで，「ホロシリコムギ」について標準耕種法で試験を行った。

実験結果

窒素施与約1ヶ月後(10月16日)には，無機態窒素の大部分が0～7 cmの層位に存在した(表29)。無機態窒素に占めるNH₄-Nの比率は，N表面区が作条区より高かった。越冬後(4月28日)には，0～35 cmに存在する無機態窒素量は越冬前より明らかに減少し，清里でその低下がとくに著しかった。網走では21～35 cmの層位に無機態

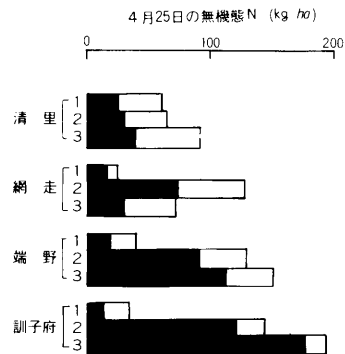


図46. 各試験地ほ場における越冬後の土層別無機態窒素含量と窒素施与位置間差

注) 1. 無N区 2. 140kg N/ha作条区 3. 140kg N/haの表面区
■ 0～40cm層位 □ 40～80cm層位

里, 端野, 訓子府では作条区よりN表面区で多く, 網走では少なかった (図46)。これらの区から無N区の無機態窒素を差引いて求めた施与窒素残存割合も, 清里, 端野, 訓子府ではN表面区で作条区より高く, とくに訓子府のN表面区では100%以上であり, 網走ではN表面区で低かった。

(3) 基肥窒素の施与位置が生育, 収量に及ぼす影響の土壤間差

実験方法

(a) 1979年9月, 「ホロシリコムギ」について, 清里, 網走, 端野, 訓子府の4試験地で作条区, N表面区を設け, 標準耕種法で試験を行なった。窒素施与量は100 Kg N/haであり, 作物体は11月22日, 4月25日, 5月30日に1 m²採取し, 生育調査を行った。

(b) 1981年9月, 北見農試ほ場に埋設した1 m³のコンクリート枠に, 清里土, 遠軽土, 佐呂間土, 訓子府土 (土壤型は4-2-1-(2)に準ずる)を充填し, 作条区, N表面区を設け, 「ホロシリコムギ」について標準耕種法で試験を行った。窒素施与量は12g N/m²であり, 9月30日には作物体と土壤の, 10月21日, 11月12日には作物体の調査を行った。

(c) 1978年には清里, 網走, 訓子府で, 1979年と1980年には端野を加えた4試験地で, 作条区とN表面区を設け, 「ホロシリコムギ」について標準耕種法で試験を行った。

(d) 1980年9月, 「ホロシリコムギ」について上記4試験地で140 Kg N/haの表面施与を播種後0, 7, 14, 21日の異なった時期に行う4区と作条区を開け, 標準耕種法で試験を行った。

実験結果

(a) 越冬前から止葉期までの地上部乾物重は, 作条区よりN表面区で優り, 清里, 網走でとくにその差が大きかった (表30)。また, 端野を除けば, 越冬前の窒素吸収量もN表面区で優った。

(b) 越冬前の地上部乾物重は, 清里土, 遠軽土, 訓子府土ではN表面区が作条区より優ったが, 佐呂間土ではN表面区で劣った (図47)。同様な傾向が11月12日測定 of 窒素吸収量でも認められた。

表30. 各試験地における越冬前後の地上部乾物重と窒素吸収量に対する窒素施与位置の影響 (Kg/ha)

試験地	採取期 処理	越冬前	起生期	止葉期
		(11月22日) (11月17日*)	(4月25日) (4月24日*)	(5月30日) (5月29日*)
清里	作条	960 (41)	300	1070
	N表面	1140 (49)	390	1210
網走	作条	850 (40)	460	1950
	N表面	1170 (51)	620	2390
端野	作条	1160 (47)	930	3310
	N表面	1120 (43)	1000	3520
訓子府	作条	1010 (37)	530	1620
	N表面	1060 (38)	560	1680

注1 *は訓子府の採取期を示す

注2 ()はN吸収量

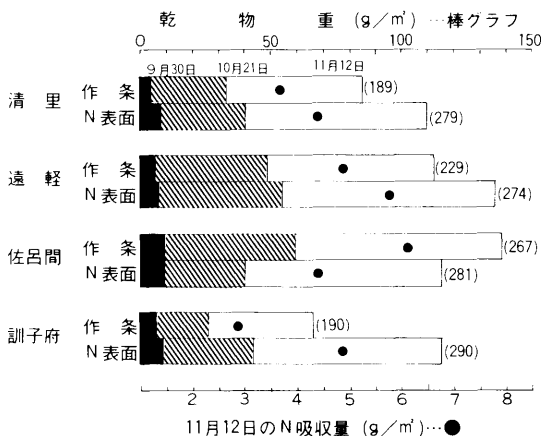


図47. 各土壤における窒素施与位置と越冬前の地上部乾物重および窒素吸収量の関係

注) ()内数字は発芽数, 本 m を示す

佐呂間土ではその他の土壤にくらべてゆ0~5 cm土層のECおよびNH₄-N含量が低く, その傾向は作条区で著しかった (表31)。NH₄-Nの水溶出割合も佐呂間土で最低であった。

(c) 子実重はN表面区で作条区より高かったが, 1980年の端野のみは例外であった。窒素吸収量もほぼ同様な傾向であるが, 年次によっては試験地間でこの関係が逆転する場合もあった (表32)。

開花期の地上部乾物重は, 清里と網走でN表面区が作条区より高いのに対し, 端野, 訓子府で

は作条区が高かった。収穫時の乾物重は、全試験地 乾物生産量は、清里で作条区が、他の試験地でN
 地でN表面区が高く、開花期から収穫時までの 表面区が大きかった。各期の窒素吸収量も乾物重

表31. 窒素施与位置が各土壌のEC、アンモニヤ態窒素に及ぼす影響の層別比較（9月30日測定値）

施与位置	土壌層位(cm)	E			C (mS/cm)			NH ₄ -N (mg/100g)			NH ₄ -Nの水溶出割合(%)		
		0~5	5~15	15~25	0~5	5~15	15~25	0~5	5~15	15~25	0~5	5~15	15~25
作条	清里	3.94	1.42	0.19	135	45	6	83	74	53			
	遠軽	2.87	1.09	0.21	93	32	5	68	63	32			
	佐呂間	1.60	0.80	0.16	58	18	3	41	42	15			
	訓子府	3.15	0.88	0.26	131	32	7	72	58	43			
表面	清里	1.10	0.49	0.12	21	3	1	83	72	47			
	遠軽	0.76	0.52	0.10	28	3	1	54	44	22			
	佐呂間	0.72	0.23	0.09	16	2	2	33	22	10			
	訓子府	1.53	0.26	0.16	37	3	3	63	37	22			

表32. 窒素施与位置が各試験地の子実収量と収穫時の窒素吸収量に及ぼす影響

試験地	N位置	年次	子実重 (t/ha)				N 吸収量 (kg/ha)			
			1979	1980	1981	平均*	1979	1980	1981	平均*
清里	作条		4.37	3.31	3.23	3.28	151	98	96	97
	表面		4.72	3.64	3.64	3.64	163	94	103	99
網走	作条		4.40	3.52	3.73	3.63	122	98	125	112
	表面		5.27	4.02	3.83	3.92	141	109	148	129
端野	作条		—	4.59	3.87	4.23	—	113	131	122
	表面		—	4.50	4.43	4.47	—	122	135	129
訓子府	作条		4.48	3.02	4.65	3.84	132	76	158	117
	表面		4.78	3.38	4.79	4.09	141	92	153	123
L S D	5 %		0.20	NS	0.20	0.20	—	—	—	—
	1 %		0.30		0.29	0.27	—	—	—	—

注) 1. *1980年と1981年の平均値
 2. N施与量 (kg/ha) : 1979=130, 1980=100, 1981=140

表33. 窒素施与位置が開花期および開花期以降の地上部乾物重および窒素吸収量に及ぼす影響

試験地	N位置	時期	乾物重 (t/ha)			N 吸収量 (kg/ha)		
			開花期 6月20日	収穫期	開花以降 増加量	開花期 6月20日	収穫期	開花以降 増加量
清里	作条		4.81	9.02	4.21	73.4	98.3	24.9
	表面		5.00	9.06	4.06	73.4	93.9	20.5
網走	作条		4.95	9.92	4.97	67.9	98.0	30.1
	表面		5.59	11.16	5.57	76.7	109.4	32.7
端野	作条		8.86	11.98	3.12	106.4	112.8	6.4
	表面		8.16	12.20	4.04	98.1	121.6	23.5
訓子府	作条		5.18	7.51	2.33	66.1	75.6	9.0
	表面		4.90	8.22	3.32	64.1	92.4	28.3

とほぼ同様な傾向であった(表33)。

(d) 播種後0日目窒素施与区と7日目施与区間の収量差は、訓子府以外ではほとんどなかった(表34)。14日目施与区は最低収量であり、21日目施与区は訓子府以外では最高収量であった。なお、作条区の収量は、訓子府以外では全てのN表面区より劣り、訓子府でも0日目のN表面区には劣

種時に一度に作条施与する基肥増量区も設けた。

(b) 1975年から1981年にかけて、訓子府試験地で、基肥増量区と起生期窒素追肥区の収量を調査し、越冬前(9月中旬~11月上旬)の降水量との関係を比較した。なお、追肥窒素量は60 Kg N/haであり、全窒素施与量は両区で同一である。

表34. 窒素表面施与時期の相違が各試験地の子実収量に及ぼす影響 (t/ha)

処理区	試験地	清	里	網	走	端	野	訓	子	府	平	均	同	左	比
	播種後0日目施与		3.64		3.82		4.43		4.79		4.17		100		
	播種後7日目施与		3.72		4.14		4.41		4.44		4.18		100		
	播種後14日目施与		3.58		3.92		4.31		4.31		4.03		96		
	播種後21日目施与		3.83		4.17		4.49		4.49		4.25		102		
	N P K 作条		3.23		3.72		3.87		4.65		3.87		93		

表35. 窒素表面施与時期の相違が各試験地の生育および窒素吸収に及ぼす影響 (4試験地平均)

処理区	要因	乾物重 (t/ha)		HI (%)	N吸収量* (kg/ha)	穂数* (本/m ²)	1穂粒数*
		出穂揃期	収穫時				
	播種後0日目施与	7.51	13.04	31.8	13.5	610	20.3
	播種後7日目施与	7.14	13.09	31.9	13.9	590	20.8
	播種後14日目施与	6.97	13.18	30.5	14.5	626	19.1
	播種後21日目施与	7.92	13.41	31.7	14.9	597	21.2
	N P K 作条	7.11	12.08	32.0	12.8	549	21.3

*収穫時測定

た。

収穫時の全重や窒素吸収量は、表面施与日が後期になるほど増加する傾向を示した(表35)。HI, 1穂粒数は14日目施与区で他の3区よりやや低く、他の3区間には差がなかった。なお、作条区の乾物重、窒素吸収量、穂数はN表面区の値より小さかった。

(4) 窒素の追肥時期が生育、収量に及ぼす影響の土壤間差、年次間差

実験方法

(a) 1977年から1980年にかけて、「ホロシリコムギ」について清里、網走、端野、訓子府の4試験地で標準耕種法で試験を行った。各年の全窒素施与量は1977年が200 Kg N/ha、1978年と1979年が160 Kg N/ha、1980年が140 Kg N/haであり、いずれも硫酸を用いた。そして上記全窒素量中60 Kg N/haを追肥とし、1977年と1978年には、起生期、止葉期、出穂期に施与し、1979年と1980年には、起生期に施与した。また、上記全窒素量を播

実験結果

(a) 1978年と1979年の2ヶ年平均値について検討すると、4試験地平均の子実重は、止葉期追肥区>起生期追肥区>出穂期追肥>基肥増量区であり、窒素吸収量、1穂粒数でも同様な傾向であるが、1粒重は後期の追肥ほど高まった(表36)。穂数は基肥増量区が665本/m²で多く、起生期追肥区ではそれよりやや多く、止葉追肥区ではやや少く、出穂期追肥では明らかに少なかった。

試験地別にみると、止葉期の追肥は全試験地で子実重、1穂粒数、粒数、1粒重および窒素吸収量を高めるが、基肥増量区に対する増収率は、清里、網走で大きく、端野、訓子府で小さく、この差は1穂粒数の試験地間差に対応した。起生期の追肥は端野以外の試験地で収量を高めるが、その増収率は清里、網走、端野で止葉期追肥より小さく、訓子府で大きかった。出穂期の追肥は全試験地で粒重を増加させたが、穂数と粒数はむしろ減少し、子実量は清里、訓子府で基肥増量区より増収し、網

表36. 窒素追肥時期の相違が各試験地の子実収量、窒素吸収量、収量構成要素に及ぼす影響
(基肥増量区に対する指数表示)

項 目	試験地			清 里	網 走	端 野	訓 子 府	平 均
	処理区	基 肥	増					
子 実 重 t/ha	基 肥	増	(4.47)	(4.53)	(4.87)	(3.97)	(4.45)	
	起 生	期	112	107	96	106	105	
	止 葉	期	119	115	106	103	111	
N 吸 収 量 Kg/ha	出 穂	期	105	99	101	106	103	
	基 肥	増	(149)	(151)	(165)	(165)	(158)	
	起 生	期	126	101	105	108	109	
穂 本/m ²	止 葉	期	123	102	118	103	111	
	出 穂	期	120	92	105	102	104	
	基 肥	増	(681)	(696)	(673)	(611)	(665)	
1 穂 粒 数	起 生	期	102	99	99	106	102	
	止 葉	期	96	95	94	97	96	
	出 穂	期	91	82	94	96	91	
粒 数 10 ² /m ²	基 肥	増	(18.9)	(19.4)	(21.9)	(22.5)	(20.6)	
	起 生	期	112	109	99	102	105	
	止 葉	期	116	115	109	103	111	
1 粒 重 mg	出 穂	期	103	106	102	100	103	
	基 肥	増	(129)	(135)	(147)	(1137)	(137)	
	起 生	期	114	107	98	109	107	
1 粒 重 mg	止 葉	期	111	110	102	100	106	
	出 穂	期	94	87	95	96	93	
	基 肥	増	(35.1)	(33.9)	(33.5)	(31.0)	(33.4)	
1 粒 重 mg	起 生	期	98	101	100	97	99	
	止 葉	期	106	104	104	104	104	
	出 穂	期	111	113	107	105	109	

() は実数値

走, 端野では同等であった。

4ヶ年, 4試験地で行った起生期の窒素追肥試験の結果を, 試験地別, 年次別にまとめて表37に示した。

試験地別にみると, 基肥増量区に対して起生期の追肥は, 端野以外の試験地で子実重と窒素吸収量を増加させたが, その増収率には試験地間差があり, 清里で最も大きく約20%, 網走と訓子府で約10%であった(表37-a)。端野では, 起生期追肥で穂数と窒素吸収量が高まったが, 子実重は基肥増量区と同等であった。また, その他の試験地でも, 起生期の追肥で穂数は増加し, その増加率は清里で大きく, 網走で小さかった。

年次別にみると, 基肥増量区に対する起生期の追肥は, 1980年でその増収効果が最も大きく, 以下, 1981年>1978年=1979年であり, この順序は起生期追肥による穂数の増加率にはほぼ対応した(表37-b)。穂数の増加率は基肥増量区の穂数が

表37. 起生期の窒素追肥が各試験地の子実収量、窒素吸収量、穂数に及ぼす影響

(基肥増量区に対する指数表示)

a 試験地別平均

項 目	試験地				
	処理区	清里	網走	端野	訓子府
子実重 t/ha	基肥増量	(3.92)	(4.22)	(4.79)	(4.10)
	起 生 期	119	110	99	109
N吸収量 Kg/ha	基肥増量	(129)	(137)	(158)	(148)
	起 生 期	124	110	103	110
穂 数 本/m ²	基肥増量	(538)	(590)	(581)	(575)
	起 生 期	112	105	109	109

b 年次別平均

項 目	処理区	年次			
		1978	1979	1980	1981
子実重 t/ha	基肥増量	(4.55)	(4.64)	(4.09)	(3.87)
	起 生 期	105	105	117	108
N吸収量 Kg/ha	基肥増量	(164)	(151)	(130)	(128)
	起 生 期	109	111	113	113
穂 数 本/m ²	基肥増量	(700)	(598)	(436)	(549)
	起 生 期	106	101	125	113

() は実数値

少い年次ほど大きい。

4ヶ年、4試験地で得られた起生期窒素追肥による増収指数と、それに対応する基肥増量区の穂数との間には負の相関があり、基肥増量区の穂数が多い場合には、起生期の追肥効果が小さく、その増収指数が100になる基肥増量区の穂数は690

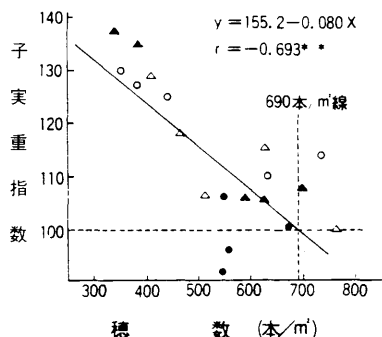


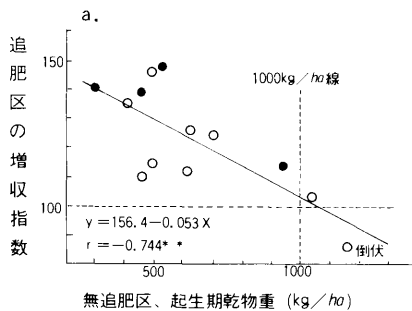
図48. 基肥増量区の穂数と基肥増量区に対する起生期窒素追肥区の子実重指数の関係
注) ○清里 △網走 ●端野 ▲訓子府

本/m²であった (図48)

(b) 基肥増量区に対する起生期追肥区の子実重指数は、越冬前の降水量と正の相関を示し、越冬前の降水量が103 mm以上の年次には、起生期追肥区の子実収量が基肥増量区を上回った (図49)。

4-2-3 追肥窒素の肥効と関連した土壌診断, 栄養診断 実験方法

(a) 1979年には清里, 網走, 端野, 訓子府の4試験地で, 1980年には小清水町2試験地, 常呂町5試験地, 白滝村2試験地の9試験地で, 起生期の窒素追肥区と無追肥区を設け, 「ホロシリコムギ」



について試験を行った。基肥窒素施与量は年次, 試験地で異なり, 40~140 Kg N/haであるが, 起生期の窒素施与量は60 Kg N/ha (硫酸)である。

起生期, 出穂揃期, 収穫時に乾物重や窒素吸収量を調査した。また, 起生期の窒素追肥直前に土壌試料を採取し, 土層別 (0~40 cm, 40~80

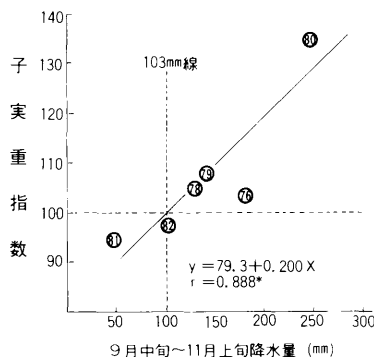


図49. 訓子府試験地における越冬前の降水量と基肥増量区に対する起生期窒素追肥区の子実重指数の関係
注) ○内数字は西暦年次 (1976の19は省略)

cm) に無機態窒素を分析した。

(b) 1978年と1979年に訓子府試験地で, 「ホロシリコムギ」を供試して行った各種試験について, 開花期に各葉位別の窒素含有率を分析した。

(c) 1977年, 「ホロシリコムギ」について, 開花後における各段階の濃度の尿素液の葉面散布試験を行い, 葉害の発生が子実重に与える影響を調査した。

実験結果

(a) 無追肥区における起生期の地上部乾物重は, 試験地間で大きく相違し, 0.30~1.15 t/haに亘った (図50-a)。

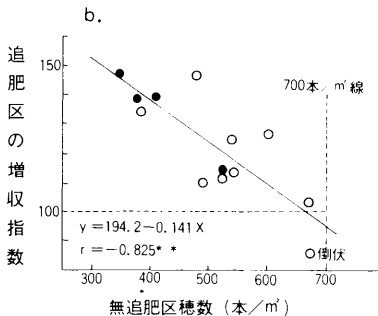


図50. 無追肥区の起生期乾物重 (a)、収穫時穂数 (b) と起生期の窒素追肥による増収指数の関係
注) ●1980年 ○1981年

子実重の無追肥区に対する追肥区の指数と起生期の乾物重との間には、負の相関があり、起生期の乾物重が約1 t/ha以下の時、追肥の効果が認められた。また、子実重指数と収穫時における無追肥区の穂数との間にも負の相関があり、約670本/m²以下の穂数で追肥の効果が認められた(図50-b)。

60 Kg N/haを加算して求め、この時期の土壤中無機態窒素含量と子実重との関係を検討した。その結果によると、0~40 cmと0~80 cmの土層では、無機態窒素含量が多いほど子実重は高かったが、0~40 cmで160 Kg N/ha、0~80 cmで190 Kg N/ha以上で倒伏が発生し、倒伏区を除くと、4 t/ha以上の子実重を得るためには無機態窒素

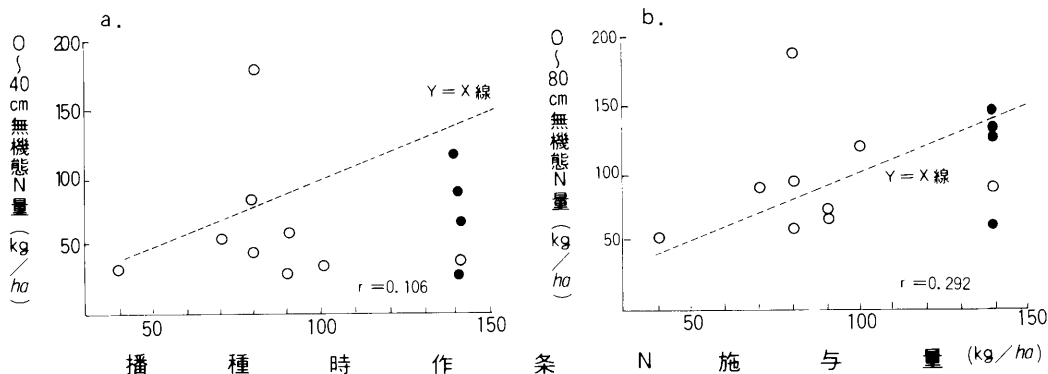


図51. 播種時の作条窒素施与量と起生期の土層別無機態窒素含量との関係

注) ○ 小清水、常呂、白滝 ● 清里、網走、端野、訓子府

起生期の無追肥区の土壤中無機態窒素は、0~40 cm層位で30~160 Kg/ha、0~80 cm層位で50~190 Kg/haであり、いずれの土層でも大きな試験地間差があり、基肥窒素施与量との相関は認められなかった(図51)。

含量は、0~40 cmで89 Kg N/ha、0~80 cmで122 Kg N/haが必要と判断された(図52-a, b)。

起生期の土壤中無機態窒素含量を、追肥区については同一試験地の無追肥区の含量に追肥窒素量

(b) 開花期における止葉(L₁)および第2葉(L₂)の窒素含有率と子実重の間には、正の相関があり、子実重が4 t/ha以上になる限界の窒素含有率は、L₁で4.10%、L₂で3.81%、5 t/ha以上になる限界の窒素含有率は、L₁で4.79%、L₂で

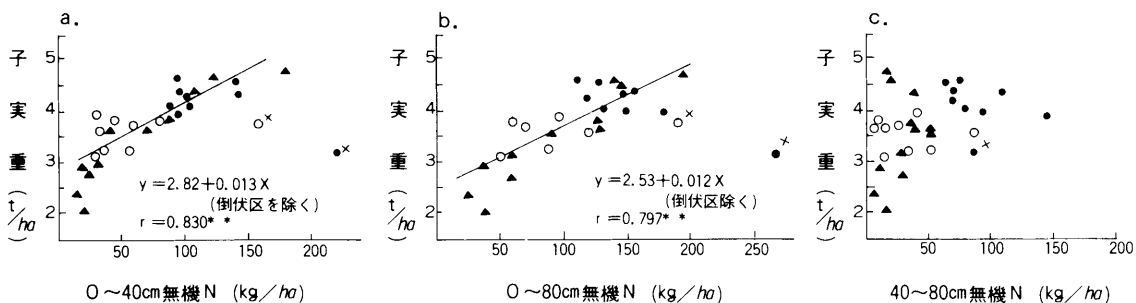


図52. 土層別の無機態窒素含量と子実収量の関係

注) ○ 無追肥区 ● 60kg N/haの起生期追肥区 ▲ 4試験地 × 倒伏

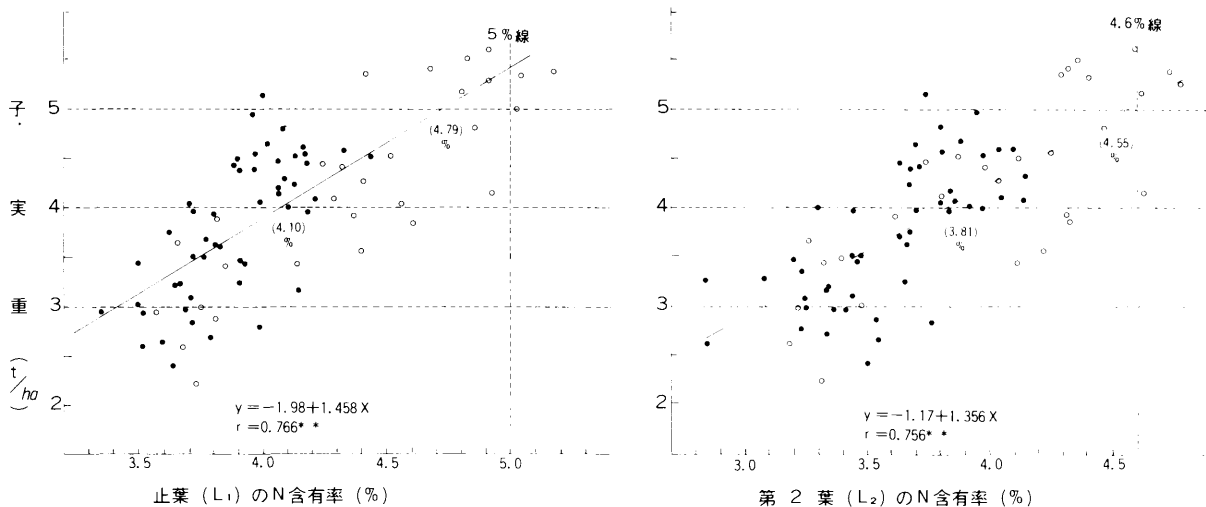


図53. 開花期の葉位別窒素含有率と子実収量の関係

注) ○1979 ●1980

4.55%であった(図53)。そして、L₁で5.0%以上、L₂で4.6%以上になると、子実重が横ばいとなる傾向が認められた。

(c) 4%以上の尿素液でL₁に葉害が発生したが、この場合の子実重は、無処理区と同等かやや高かった(図54)。ただし、最高収量は葉害が発生しなかった2%尿素液区で得られた。

4-3 論議

(1) 環境条件と生育、収量の関係

気象条件は年次間変動が大きく、生育、収量にも多大な影響を与える。気温は生育時期の早晚と密接に関係し、5月中旬～6月中旬の平均気温が高いほど出穂期を早め、6月下旬～7月下旬の平均気温が高いほど出穂期から成熟期までの日数を短縮する(図34)。なお、9ヶ年平均値から、出穂前4週間の平均気温が13℃以上は高温域、それ以下は低温域、出穂後4週間の平均気温が19℃以上は高温域、それ以下は低温域であると推定した。

ある特定の期間の平均気温とその時期に対応する収量構成要素の間にはいづれも負の相関があり、極端な低温条件以外では、高温が穂数、1穂粒数、粒重を減少させる(図35-a, b, c, d)。しかし、これらの関係はある特定期間の気温に注目して得られた傾向であり、生育過程全体に亘る気温変化が考慮されていない。そのため、子実収量と各期の平均気温との間には一定の関係が認められ

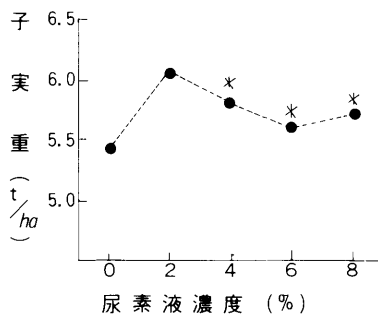


図54. 訓子府試験地における開花期後の尿素葉面散布の散布濃度と子実収量の関係

注) 1.* 止葉に葉害発生
2.子実重は水分未調整

なかった。したがって、生育、収量と気温の関係を論じるには生育全過程についての検討が必要であり、生育時期別の気温が大きく異った1980年と1981年、および全生育期間の気温が大きく異った1983年と1984年の生育解析をそれぞれ行った。

1980年は出穂前1ヶ月間が1981年より高温で、出穂、開花が早まり、この時期の茎数、乾物重も小さい(表16-a, 図37-a)。出穂期や開花期の稈長は両年であり差がないが、開花期以降の稈長の伸長は出穂前が低温であった1981年で大きく、このことから5月下旬～6月中旬の気温と収穫時の稈長との間で認められた負の相関には、開花期以降の稈の伸長が関与すると推定した。1981年には稈の伸長と茎数の増加に応じて出穂期から登熟

初期の茎葉重増加が著しかったが、開花期以降の全乾物生産量は1980年より劣った(図37-a, b)。また、1981年では成熟期の全乾物重や粒数は1980年より大きかったが、出穂期以降の高温で登熟期間が短縮され、また、この時期に生産された同化産物は、茎の生育に大量消費されたため、粒重やHIが小さく、収量はそれ程高くなかった(表16-a, b)。一方、1980年は子実に対する同化産物の配分は良好であったが、出穂前が高温で、この時期までの乾物生産および粒数が少く、低収であった。1980年、1981年の中間的な気象条件であった1982年は出穂揃期や成熟期の全乾物重、HI、粒重などから判断して、生育期全般の乾物生産と子実への配分が良好で高収になった。

1983年は全生育期間が低温で、出穂揃期までの乾物生産量は多く、1984年は全期間が高温で出穂揃期までの乾物生産量は少く、1982年は両年の中間であり、成熟期の全乾物量も同様な年次間差を示したが、子実収量は1983年で低い(表17-a, b)。このことから1983年は同化産物の子実への転流が阻害されたため収量性が低く、出穂前が低温であった1981年の結果と一致した。

穂に対する同化産物の集積過程は、穂重が増加しない lag period、穂重の増加率が小さい登熟前期、それが大きい登熟後期に分けられ、前期と後期の合計日数にはほとんど年次間差がない(図38, 表18)。低収であった1983年は、登熟前期のEGRが小さい期間が他の年次より2倍も長かったが、それはこの時期の低温、低日射量に帰因すると考えられる。

登熟前期における日射量の重要性は、時期別遮光試験の結果でも指摘できる。すなわち、遮光による減収は登熟前期で最も著しく、減収の主因はHIの低下で、このことから、登熟前期に日射量が少いと、子実への同化産物の転流が阻害され減収すると考えられる(図39, 表19)。

以上の結果から、出穂前の高温は乾物生産と粒数に対して、出穂前の低温と登熟前期の低温、低日射量は同化産物の分配に対して、出穂後の高温は粒重に対して、それぞれ悪影響を与え、子実収量を低下させると考えられる。

網走地方に分布する代表的土壌をコンクリート枠に充填し、同一気象条件、同一施肥条件で土壌の窒素供給力を比較した結果によると、収量は収穫時の窒素吸収量が多い土壌で高く、窒素は収量を支配する重要な養分であると判断される(表20)。窒素吸収量は生育とともに増加するが、それには土壌間差があり、越冬前の窒素吸収量は土壌溶液中無機態窒素濃度が高い土壌で多く、越冬直後の起生期でも同様であった。したがって、濃度障害が発生しない程度の窒素施肥条件下では施肥窒素が溶液中に溶出しやすい土壌でのこの時期の窒素吸収が旺盛になることを示す(図41, 表21)。

起生期以降の窒素吸収量は佐呂間土>遠軽土>訓子府土>清里土>であるが、既存の土壌窒素供給力評価法の中には、この順序に対応する値を与える方法はなかった(表21, 表22)。これらの評価法は、いずれも土壌の潜在的な窒素供給力を示すと言われているが、窒素施肥条件ではそれらに関係なく窒素吸収が行われると考えるべきであり、窒素施肥量が高まるほどその傾向は顕著になるであろう。ただし、起生期以降では佐呂間土で土壌中無機態窒素が多く、清里土では少く、遠軽土、訓子府土ではそれらの中間で、この時期の小麦による窒素吸収量の土壌間差と一致した(表23)。越冬後における土壌中無機態窒素含量は、施肥窒素量の他に土壌の有機態窒素の無機化能にも影響されるが、その他の要因、例えば越冬後における施肥窒素の残存率なども考慮されるべきであろう。

(2) 窒素の肥効と土壌特性、気象特性の関係
土壌条件が異なる網走地方の5試験地で、基肥窒素の作条施肥量試験を行ったが、子実収量はいずれの試験地でも窒素増施で漸増した(図42-a)。これら5試験地では平均気温も異なるが、どの窒素施肥量と比較しても平均気温の試験地間差が子実収量に与える影響は明らかにできなかった(表25)。収穫時の窒素吸収量、全乾物重も窒素増施で増加し、これらと子実収量の間には正の相関があるため、高収を得るには土壌条件や気象条件にかかわらず窒素吸収を旺盛にし、乾物生産力を高

める必要がある (図42-b, 図43-a, b)。しかし、窒素増施に伴う子実収量と窒素吸収量の増加率には試験地間差があり、網走、端野、訓子府で大きく、清里、佐呂間で小さい。施与窒素の吸収率も前3試験地で高く、後2試験地で低く、この差が子実収量や窒素吸収量の増加率に反映しており、このことは土壤中における施与窒素の動態を検討する必要があることを示唆する (表26)。

9月中旬に施与された窒素は、その大部分が10月中旬までは0~35 cmの土層に残存したが、11月中旬にはそれより深層に流出する部分もあり、越冬後の4月中旬には大量流出した (表27)。越冬前後は寒冷で生育が抑制されるため蒸発散量も少く、その結果、土壤中に集積した水分は主に下方運動する。また、10月中旬の無機態窒素は、訓子府以外の試験地でその大部分がNO₃-Nであり、このNO₃-Nは他の養分より流亡しやすい。35 cmより下層への施与窒素の流亡量には試験地間差があり、施与窒素吸収率の低い清里、佐呂間で多く、施与窒素吸収率の高い網走、端野、訓子府で少く、このことから35 cm以下に流亡した施与窒素は作物体に吸収されにくく、流亡量が多い試験地では吸収率が低下するのである (表26, 表27)。同様な傾向はほ場試験でも認められ、起生期の0~40 cm, 0~80 cm土層に残存する無機態窒素含量が多い試験区では、試験地や基肥窒素施与量にかかわらず収穫時の窒素吸収量も多かったが、40~80 cm土層の無機態窒素は0~40 cmよりその含量も少く、また、窒素吸収量との間に一定の関係がない (図45)。したがって、窒素吸収には主として0~40 cm土層に残存する無機態窒素が関与したと考えられる。

施与窒素の流亡が多かった清里、佐呂間の土壤はpF 0~1.6の粗孔隙量が多く、透水性が良好である。換言すれば保水力が劣り、このような土壤では、多水分条件でNO₃-Nが多く流亡し、施与窒素の吸収率は低下する (表28, 図-44, 図-55)。一方、粗孔隙量が少く、保水性が良好な網走、端野、訓子府の土壤では、施与窒素の流亡量が少く、前2試験地より吸収率が高い。したがって、土壤の水分特性は施与窒素の下方移動を支配する主要

因である。

ただし、訓子府では、越冬前の降水量と収穫時の窒素吸収量、子実収量との間には負の相関があり、保水力の高い訓子府土壤でも、越冬前に降水量が多い年次には、施与窒素の流亡量が多く、窒素吸収や子実生産を減少させるのである (図36)。

同じ気象条件下にある枠試験では、CECの小さい清里土 (14.9 me/100 g) で、越冬前の生育および窒素吸収量は最も大きかったが、収穫時のこれらの値は最も小さかった (図41, 表20)。先述したように、越冬前の窒素吸収は土壤溶液の無機態窒素濃度が高いほど旺盛で、この無機態窒素は、越冬前後の多水分条件で最も流亡しやすい形態でもある。事実、越冬前の土壤溶液の無機態窒素濃度が最高であった清里では、越冬後の土壤中無機態窒素含量が最も少く、起生期から収穫時までの窒素吸収量も最少であった (表23, 表22)。すなわち、越冬前の生育が良好であっても越冬後の施与窒素残存量が少いと、それ以降の窒素吸収や乾物生産は抑制され、この試験では、試験地の施与窒素保持能の相違が越冬後の窒素吸収を支配したと考えることができる。

以上のことから、施与NH₄-Nは越冬前にその多くが硝酸化成されて土壤溶液中に溶解し、この時期の窒素吸収を高めるが、溶解したNO₃-Nは越冬前後の多水分条件で下層へ移動し、越冬後の窒素吸収を低下させる。したがって、秋播小麦の窒素吸収は越冬前、越冬後に関係なく、水分の影響を受けやすい土壤中の無機態窒素に支配され、越冬後の窒素吸収を高めるには、基肥窒素の越冬

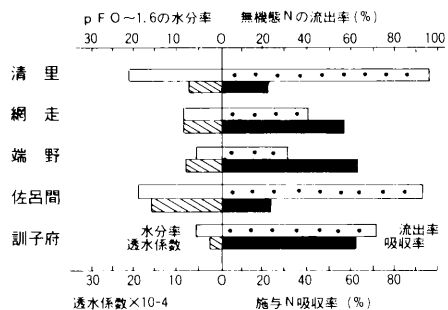


図55. 各試験地土壤の水分特性と施与窒素流出率および施与窒素吸収率の関係

後の残存率を高める必要がある。

作条施与された基肥窒素は、越冬前後の多水分条件下層へ流亡しやすいが、表面施与されるとその流亡は抑制される(図46)。ただし、粗孔隙量の多い清里ではその効果が小さく、この土壤は基本的に施与窒素を保持する能力が劣り、施与位置の改善だけでは基肥窒素の吸収率を高めることができない。清里以外の試験地では、窒素吸収量はN表面区で作条区より多かった(表29, 表33)。

一方、子実収量は清里も含めた全試験地で、N表面区が作条区より高収であり、窒素吸収量の傾向とは異なり、N表面区の収量が高いのは、単に施与窒素の吸収率が高いだけではない(表32)。

初期生育は全試験地でN表面区が作条区に優り、とくにその傾向は清里、網走で著しく、それは発芽障害や濃度障害の軽減に基づく(表30, 表31)。また、N表面区では収穫時の穂数や全重が大きく、それぞれ増収に寄与したが、穂数は窒素追肥時期が早いほど増加することから推定して、N表面区では初期生育と越冬後の施与窒素残存率が高まり、起生力と止葉期までの乾物生産力が作条区より優り、穂数増になったと推定される(表30)。

さらに、清里以外の試験地では、開花期以降の乾物生産量がN表面区で多く、この区では生育全期に亘る乾物生産能と窒素吸収能が作条区より優り、高収になったのであり、清里でも良好な初期生育と開花期までの高い乾物生産能が増収の原因であった(表33)。

N表面区の窒素施与時期は、いずれも播種直後であったが、播種覆土後に窒素施与を行うのが表面施与の特徴であるから、施与時期を播種直後に限定する必要はない。硝酸化成をよりよく強く抑制し、越冬後の施与窒素残存率を高めるには、むしろ後期施与ほど有利になると推定し、試験を行った。

その結果、窒素吸収量は施与時期が遅いほど多く、窒素吸収率が向上したが、子実収量には施与時期間差があまりなく、播種後14日目施与ではむしろ減収した(表34, 表35)。ただし、試験地別にみると、清里では14日目施与区以外は後期施与

で増収し、網走でも類似した結果が得られ、このことから施与窒素の流亡が著しい粗粒質で養分保持能が劣る土壤では、窒素の表面施与時期を越冬前の後期にするのが合理的である。

端野以外の試験地では起生期の窒素追肥で増収したが、増収率は基肥窒素の流亡が著しい清里で最も大きく、それは窒素吸収率が顕著に増加したことによる(表36, 表37-a)。

起生期の追肥は穂数を増加させ、それが増収の主因であるが、増収率は基肥増量区が確保する穂数で異なり、その穂数が690本/m²以上の場合には増収効果がない(図48)。換言すれば、起生期の追肥は増収効果が極めて大きい場合もあるが、逆に効果が少ない場合もあり、注意を要する。

一方、止葉期の窒素追肥は全試験地で増収効果があり、それは1穂粒数と粒重の増加による(表36)。とくに、清里、網走で効果が大きく、1穂粒数の増加によく対応している。

訓子府以外の試験地では、起生期より止葉期の追肥で増収効果が大きかった。しかし、この両期の増収効果を比較した年次は、基肥増量区の穂数が多く670本/m²であり、起生期の追肥効果が認められない限界の穂数に近かった(表36)。このような条件では穂数が基肥増量区よりやや少ないが、1穂粒数の増加で粒数が多く、粒重も大きくなる止葉期追肥で増収効果が大きい。訓子府では穂数が611本/m²で他の3試験地より少く、このため起生期の追肥効果が止葉期のそれより大きかった。

出穂期の窒素追肥は粒重を増加させるが、粒数減になり、その増収効果は訓子府以外の試験地で小さい(表36)。

起生期の窒素追肥は増収効果が不安定であり、それを安定化するには、土壤診断や栄養診断などに基づいた総合的な追肥基準を設ける必要があると考え、以下にその点を検討した。

無追肥区の穂数が690本/m²以上では、起生期の窒素追肥効果がなく、この関係で基準を設けることも可能であるが、収穫時の穂数は気象条件の変動に影響されやすく、それを起生期に予測することは困難である(図50-b)。

一方、9月中旬から11月上旬の降水量と起生期の窒素追肥による増収指数との間には、正の相関があり、この間の降水量が100 mm 以上の場合には、起生期追肥による増収効果が期待できる (図49)。また起生期の地上部乾物重と起生期の窒素追肥による増収指数との間には、負の相関があり、増収効果が認められる限界の乾物重は1.0 t/ha 以下で、この関係は起生期窒素追肥の可否を判断する基準になりうる (図50-a)。

起生期に窒素追肥を行う判断基準は明らかになったが、次には追肥窒素量を決定する必要がある、その方法として越冬後に土壤中に残存する無機態窒素を分析し、検討を加えた。

各試験地の起生期における0～40 cm 土層の無機態窒素含量が多いほど高収であった (図52-a)。しかし、この無機態窒素が90 Kg/ha 以下では、4 t/ha 以下の子実収量であり、150 Kg/ha 以上では倒伏の危険性があった。したがって、0～40 cm

土層の無機態窒素が150 Kg/ha 以下の場合には、起生期の窒素追肥で増収し、例えば、この無機態窒素が50 Kg/ha であれば、最高収量を得るためには100 Kg/ha の窒素追肥が必要である。ただし、このような場合でも第3章の施与配分問題で論じたように、一度に与える追肥窒素の上限は60 Kg/ha にすべきである。

出穂後の窒素追肥は増収効果がある場合とない場合があり、それを判断するには、窒素の栄養診断を行うのが合理的である。

開花期の止葉および第2葉の窒素含有率と子実収量の間には、正の関係があり、この時期には上位葉の活性が高いほど高収になる (図53)。ただし、止葉で5.0%以上、第2葉で4.6%以上では増収しなかったため、これ以下の含有率で窒素の後期追肥効果が期待でき、実施に当っては尿素の葉面散布が効率的である。散布濃度は薬害の発生を避けるため、3%程度にすべきである (図54)