混作, 間作, 輪作における作物の生長と窒素の動態

第2報 エンドウならびにソラマメとの混作がコムギの窒素吸収に及ぼす影響*

大 門 弘 幸・中 條 博 良

(大阪府立大学農学部)

昭和 60 年 1 月 22 日受理

マメ科作物との混作によるイネ科作物の生長促進は、一つには様々な経路によって土壤中に放出されたマメ科作物根粒菌固定窒素をイネ科作物が吸収することに基づいている。窒素の供給源である根粒の窒素固定活性や寿命あるいは根系や生育期間は、マメ科作物の種類によって異なるので、混作によるイネ科作物窒素吸収の増大程度は混作組合せによって異なると考えられる。さらに、この影響は同一組合せにおいても環境条件によって異なるといわれており^{2,9,22,24)}、両科作物間における窒素の動態は極めて複雑である。

著者らは、前報³⁾でアカクロバとの混作による数種寒地型イネ科牧草窒素吸収の増大が、栽培初期から認められたことを報告し、その機作の一つとしてアカクロバ根系からの直接的な窒素化合物の放出をあげた。しかし上述した混作の影響発現の時期ならびにマメ科作物からイネ科作物への窒素の移行経路については、他にもいくつかの報告があるが^{1,8,20,21)}、まだ明確な結論が得られていない。

本研究では、混作効果解明のための基礎知見を得る目的で、*Rhizobium leguminosarum* が感染する交互接種群であるエンドウとソラマメについて、これらの作物との混作がコムギの生長とくに窒素吸収に及ぼす影響を検討した。他の諸要因の関与を避けて上記の影響をできるだけ簡単な実験系についてまず明らかにするために、前報³⁾と同様な方法によって検討した。

材 料 と 方 法

エンドウ (品種：つるなし青豌豆)、ソラマメ (品種名不詳) およびコムギ (品種：農林 27 号) を用いて次の 3 実験を行った。

第 1 実験では、窒素施肥量とエンドウの栽植本数を異にして混作したコムギの窒素吸収について検討するために、次の試験を行った。1982 年 4 月 14 日、窒素含有量の極めて少ない土壌³⁾をつめた 1/5000 a ワグナーポットにコムギとエンドウを播種した。4 月 27 日に間引いて、単作区、混作区ともに、コムギはポット当り 1 個体、エンドウはポット当り 1 個体または 4 個体とした。窒素施肥量はポット当り硝酸アンモニウムで 0, 57, 456 mg (成分量で 10 a 当り 0, 1, 8 kg なので以下それぞれ N-0 区, N-1 区, N-8 区とする) の 3 水準とした。リン酸とカリについては、第一リン酸ナトリウム 480 mg, 塩化カリウム 310 mg を施した (それぞれ成分量で 10 a 当り 10 kg)。各肥料は何れも基肥とし、根粒菌を播種時と間引き時の 2 回接種した。栽培は全て屋外で行った。

第 2 実験では、ソラマメとの混作がコムギの窒素吸収に及ぼす影響の温度による差異について検討するために、10°, 15°, 20°, 25°C に規制した自然光型グロースキャビネット内で、第 1 実験と同様の土耕栽培によって 1982 年 12 月 24 日からソラマメとコムギ (ともに 12 月 8 日播種) を混作した。栽植本数は単作区ではコムギ 1 個体、混作区では両作物 1 個体ずつとした。日長は 10 時間とした。窒素施肥は行わず、リン酸とカリを第 1 実験に準じて施し、根粒菌は播種時と移植時の 2 回接種した。1983 年 2 月 15 日 (栽植後 53 日目) に、混作区の半数についてソラマメのみを地際から切除して、混作効果に及ぼす刈取りの影響を検討した。ソラマメ根粒菌の窒素固定能は吉田ら²⁵⁾の方法に従い、アセチレン還元能によって測定した。

第 3 実験では、ソラマメ根系からの窒素化合物の放出に及ぼす生育温度と刈取りの影響を検討するために、次の試験を行った。1983 年 11 月 30 日、ソラマメ (11 月 16 日播種) をポット当り 1 個体移植し、10°C ならびに 20°C に規制した自然光型グロースキャビネット (10 時間日長) 内で、直径 15 cm, 深さ 18

* 大要は、第 174 回 (昭和 57 年 10 日) および第 176 回 (昭和 58 年 10 月) 講演会において発表した。本研究の一部は、昭和 57・58 年度文部省科学研究費補助金によって行われたものである。

第1図 エンドウと混作したコムギ個体地上部乾物重の推移。

注) ○：単作区，●：エンドウ1個体混作区，▲：エンドウ4個体混作区。

cm のポットを用いて礫耕栽培した。培養液は無窒素培養液 ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 22 mg/l, K_2SO_4 : 28 mg/l, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$: 52 mg/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$: 92 mg/l, $\text{Fe} \cdot \text{EDTA}$: 22 mg/l, 微量元素は一般畑作用培養液に準じて含有) を用い，1日に2回循環させた。pHは毎日6.3に調整した。液量は蒸留水を加えることによって調整し，培養液の更新は10日毎に行った。根粒菌は播種時に接種した。1984年2月13日（栽植後75日目）に，半数について地際から地上部を切除した。なお本法で栽培したソラマメの生育は，土耕栽培と同様に極めて健全であった。培養液に放出された無機態窒素（アンモニア態＋硝酸態）を微量拡散分析法によって定量した。

以上3実験に供試した1区のポット数は3～12ポットである。全窒素の定量は，ガンニング変法によって行った。なお根粒菌は十勝農協連製のものを用いた。3実験ともに枯死葉は調査の対象としなかった。

結 果

1. 窒素施肥量とエンドウの栽植本数が混作コムギの窒素吸収に及ぼす影響（第1実験）

(1) コムギ

N-0区とN-1区の混作区の個体当たり地上部乾物重は，播種後70日目までは，エンドウの栽植本数にかかわらず単作区とほぼ同じであった（第1図）。しかし，85日目には，何れも単作区よりも多くなった。一方N-8区では，播種後60，70，85日目の何れにおいても，地上部乾物重は単作区が最も多く，混作区ではエンドウ1個体区に比べて4個体区が少なか

第2図 エンドウと混作したコムギ個体地上部の全窒素含有率および全窒素含有量の推移。

注) ○：単作区，●：エンドウ1個体混作区，▲：エンドウ4個体混作区。

破線は全窒素含有率，実線は全窒素含有量を示す。

った。

地上部全窒素含有率（第2図）は，一部の場を除いて単作区が最も低く，エンドウ1個体区が次ぎ，4個体区が最も高い傾向を示した。また各区間の差は，概してN-0区で小さく，N-8区で大きかった。個体当たり地上部全窒素含有量（第2図）は，地上部乾物重とはほぼ同様な傾向を示したが，播種後85日目におけるN-8区では，単作区と各混作区間の差が乾物重では大きかったにもかかわらず全窒素含有量ではほとんど認められなかった。本実験はエンドウの子実完熟期後に終了したが，実験終了時までコムギは栄養相にあった。なお窒素含有量の極めて少ない土壌を用いて栽培したので，全窒素含有量は何れの区においても少なかった。

(2) エンドウ

エンドウの栽植本数によるポット当たり地上部乾物重については，各施肥区を通じての一定の傾向が認められなかった（第3図）。なお施肥量にかかわらず，播種後85日目のエンドウは子実完熟期を経て地上部が枯死していた。

ポット当たり地上部全窒素含有量についても栽植本数による差異が認められなかった。エンドウ1個体区について，施肥量による全窒素含有量の差をみると（第4図（A）），播種後60日目にはN-1区がやや多かったが，70日目には施肥量による差はほとんどなかった。エンドウ4個体区についても同様な傾向であった。なお播種後60日目以降，子実の成熟にともない下位葉を中心に器官の脱落が生じたが，本実

第3図 エンドウのポット当り地上部乾物重の推移。

注) ●: エンドウ1個体区, ▲: エンドウ4個体区。

験は屋外で実施したので脱落器官の回収はできなかった。

エンドウ1個体区における個体当り根粒数と根粒重は、N-0区で最も多く、窒素施肥によって減少する傾向にあった(第4図(B))。播種後85日目には、施肥量にかかわらず地上部の枯死にともない根粒はほとんど認められず、一部着生していた根粒も内部が緑色になり活性を消失していた。

以上の結果に示されるように、エンドウとの混作によるコムギ窒素吸収の増大は、土壤中の窒素含有量の少ない条件では、混作エンドウが枯死した時期に認められた。その時期にはエンドウの根および根粒の活性は消失していた。

2. ソラマメとの混作がコムギの窒素吸収に及ぼす影響の温度による差異 (第2実験)

(1) コムギ

混作区のコムギの個体当り地上部乾物重は、栽植後53, 83日目には何れの温度でも単作区より少なかったが、119日目(10°, 15°C)または127日目(20°, 25°C)には僅かに多くなった(第5図)。この時期のコムギの生育段階は、10°, 15°Cでは節間伸長期であり、20°, 25°Cでは栄養相であった。ソラマメが栄養相にある栽植後53日目にソラマメのみを地際から刈取ると、20°, 25°Cでは刈取り後30日目に刈取り区の地上部乾物重は単作区よりも多くなり、さらに刈取り後74日目には著しく多くなった。一方、15°Cにおける地上部乾物重の増大は、20°, 25°Cより遅れて刈取り後66日目に認められた。しかし、10°Cでは刈取りによる乾物重増大は認められなかった。

地上部全窒素含有率(第6図)は、単作区では各温度で日数の経過とともに低下する傾向にあった。

第4図 エンドウ1個体混作区におけるポット当りエンドウ地上部の全窒素含有量(A)、根粒数および根粒重(B)の推移。

注) ●: N-0区, ▲: N-1区, ■: N-8区。

(B)において実線は根粒数、破線は根粒重を示す。

10°C以外の混作区では、栽植後83日目には単作区より高くなり、10°, 25°Cでは127日目に単作区との差がさらに拡大した。ソラマメを刈取ると、15°, 20°, 25°Cでは刈取り後30日目に、10°Cでは66日目にそれぞれ単作区よりも高くなった。

混作による個体当り地上部全窒素含有量の増大は乾物重の場合より明らかであり(第6図)、20°Cで顕著であった。

栽植後119日目または127日目の茎数は、10°, 15°Cでは各区の間に明らかな差を示さなかったが、20°, 25°Cでは刈取り区が最も多かった(第7図(A))。また生葉葉身面積は、10°Cを除いて混作区と刈取り区が単作区よりも多かった(第7図(B))。

(2) ソラマメ

個体当り地上部乾物重および全窒素含有量は、混作によってコムギの窒素吸収量が増大した15°~25°Cで多く、10°Cでは極めて少なかった(第8図)。アセチレン還元能は、栽植後53日目には15°~25°Cで高く、10°Cで低かったが、119~127日目には10°Cで最も高かった(第9図)。なお119~127日目におけるソラマメの生育段階は何れの温度でも開花期であったが、その進捗は温度が低いほど遅かった。

以上の結果に示されるように、ソラマメとの混作によるコムギ窒素吸収の増大は、コムギおよびソラマメの生長に適当な温度で認められた。またソラマメの生長量が大きく、窒素固定活性の高い時期の地上部の刈取りは、刈取り後速やかにコムギの窒素吸収量を増大させた。なお栽植後119日目または127日目の土壤中の窒素含有率(第1表)は、混作区が

第5図 ソラマメと混作したコムギ個体地上部乾物重の推移。

注) ○：単作区，●：混作区，▲：刈取り区。

第6図 ソラマメと混作したコムギ個体地上部の全窒素含有率および全窒素含有量の推移。

注) ○：単作区，●：混作区，▲：刈取り区。

破線は全窒素含有率，実線は全窒素含有量を示す。

単作区よりも高かったが，コムギ窒素吸収はさらに温度の影響を受けると考えられる。

3. ソラマメ根系から放出される窒素化合物量（第3実験）

第2実験において，混作区およびソラマメ地上部刈取り区のコムギの窒素吸収量が増大し，また混作区の土壤窒素含有量が多かった原因の一つとして，ソラマメが根系から窒素を放出したことが考えられる。そこで，混作ならびにソラマメ地上部刈取りによるコムギの窒素吸収量増大効果が認められた20℃と，認められなかった10℃の2条件を設け，礫耕栽培したソラマメが培養液中に放出する無機態窒

素の定量を行った。

10℃では栽培期間中に窒素を検出できなかったが，20℃では栽植後127日目および137日目に検出できた（第2表）。一方，栽植後75日目にソラマメ地上部を刈取ると，10℃では刈取り後30日目以降，20℃では20日目以降に窒素が検出でき，刈取り後60日間の放出窒素量は10℃より20℃で多かった。

考 察

1. 混作によるコムギ窒素吸収増大の時期

イネ科作物の生長におけるマメ科作物との混作効果発現の様相は，生長促進の時期や程度などの点で

第7図 栽培終了時におけるコムギ個体の茎数 (A), および生葉葉面積 (B).

第8図 ソラマメ個体地上部の乾物重 (A), 全窒素含有率および全窒素含有量 (B) の推移。
注) ●: 10°C, ▲: 15°C, ▼: 20°C, ■: 25°C.
(B) において破線は全窒素含有率, 実線は全窒素含有量を示す。

第9図 ソラマメのアセチレン還元能の推移。
注) ○: 個体当り, ●: 地下部 1g 乾物重当り。

マメ科作物の種類によって異なっている^{3,12,14,17,20,21}). 混作によるイネ科作物窒素吸収量の増大は, 一つにはマメ科作物根粒菌による固定窒素を土壌を介してイネ科作物が吸収することに起因するとされている^{5,6,11,16,19}). 従ってマメ科作物との混作効果は, 根粒菌の種類, マメ科作物の生育段階あるいは生育期間の差異に基づく固定窒素量や窒素の移行機作の差異によって異なると考えられているが, 現在まで明確な結論は得られていない。

本研究において, エンドウとの混作によるコムギ窒素吸収量の増大は, エンドウの生育段階が子実肥大期にあった播種後 70 日目までは認められず, 完熟期を経て地上部が枯死に至った栽植後 85 日目には認められた (第 1, 2 図). 一方ソラマメとの場合は, ソラマメが栄養相にあった期間には全く認められず, 開花期にあたる栽植後約 4 か月目に僅かながら認められた (第 5, 6 図).

一般に一年生作物では, 地上部の光合成能力が高く, 地下部への炭水化物の転流が盛んな栄養相にお

第1表 栽培終了時の土壌窒素含有率 (mg/100g 乾土).

栽培温度	窒素の形態	単作区	混作区	刈取り区
10°C	無機態窒素	0.14	0.25	0.14
	全 窒 素	3.00	11.49	10.80
15°C	無機態窒素	0.50	0.50	0.57
	全 窒 素	9.30	11.03	13.95
20°C	無機態窒素	0.30	0.71	0.61
	全 窒 素	6.18	11.72	10.17
25°C	無機態窒素	0.57	0.51	0.49
	全 窒 素	5.71	11.30	11.99

第2表 礫耕栽培におけるソラマメ根系からの放出窒素量($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ mg/ポット)。

栽培温度	区	期間（栽植後日数，（ ）内は刈取り後日数）							合 計
		65~75 (-10~0)	75~86 (0~11)	86~97 (11~22)	97~107 (22~32)	107~117 (32~42)	117~127 (42~52)	127~137 (52~62)	
10℃	対 照 区	*	*	*	*	*	*	*	*
	刈取り区	—	*	*	1.75±0.90	7.18±2.67	3.91±0.99	2.73±0.92	15.57
20℃	対 照 区	*	*	*	*	*	0.73±0.06	0.56±0.03	1.29
	刈取り区	—	*	6.86±2.70	5.98±1.38	10.72±1.61	8.62±1.28	7.59±0.68	39.77

*：検出せず。

いて根粒の着生ならびに窒素固定活性が盛んであり，開花終期頃から根粒は次第に活性を失って離脱するといわれている^{10,26)}。マメ科作物からイネ科作物への窒素の移行機作の一つとして，このような失活，離脱した根粒の分解による窒素の放出があげられている^{1,4)}。本研究において，エンドウの根粒数と根粒重は，子実肥大期にはそれ以前よりも減少し，さらに完熟期後には着生根粒がほとんど認められなかった(第4図(B))。一方ソラマメの場合には，栄養相にあった時期に比べて開花期にあった栽植後約4か月目には，窒素固定活性は著しく低下し(第9図)，根粒の離脱も認められた。本実験において認められた混作によるコムギ窒素吸収の増大の原因をこれらの結果から推測すると，その一つとして上述したような老化した根粒の離脱，分解によって土壤中に放出された窒素をコムギが吸収したことが考えられる。一方著者らは前報³⁾で，アカクローバとの混作によるイネ科牧草窒素吸収量の増大が混作後極めて早期から認められることを報告し，その原因の一つとして，活性の高い根粒あるいは根から窒素が直接的に放出されることをあげた。このような早期における窒素吸収量の増大は本研究では認められなかった。これらの点もふまえ，両マメ科作物との混作によるコムギ窒素吸収増大の時期ならびに窒素の移行機作についてさらに検討する必要がある。

2. 混作によるコムギ窒素吸収量の増大に及ぼす窒素施肥の影響

土壤中の窒素含有量または窒素施肥量が多い条件では，マメ科作物との混作によるイネ科作物の生長促進効果が認められないことをいくつかの研究が報告している^{2,3,5,13)}。その原因として，そのような条件では根粒の着生と窒素固定活性が抑えられ，その結果，マメ科作物根系からの窒素放出が生じにくくなることをあげている。本研究の第1実験においても，N-8区ではエンドウの根粒数と根粒重がN-0区，N

-1区に比べて少なかったこと(第4図(B))が，混作によるコムギ窒素吸収の増大が認められなかったこと(第1,2図)の一原因と考えられる。

3. 混作コムギの窒素吸収に及ぼす温度の影響

栽培温度は，混作両科作物の光合成，地下部への炭水化物の転流，マメ科作物の根粒着生，窒素固定活性などに影響を及ぼすことから，栽培温度が混作効果に影響を及ぼす過程は複雑である。

シロクローバと種々のイネ科牧草との混播草地の収量がイネ科牧草単播草地に比べて減少する場合があります，その原因の一つとして，早春や秋の低温による生長抑制がシロクローバではイネ科牧草よりも著しいことがあげられている²³⁾。また，ソラマメにおいては，10℃では18℃に比べて根粒着生後窒素固定活性が発現するまでの日数が長く，アセチレン還元能も低いことが報告されている⁷⁾。

本研究の第2実験においても，10℃では，栽植後53日目および83日目のソラマメの生長量が他の温度に比べて少なく(第8図)，53日目のアセチレン還元能も著しく低かった(第9図)。さらに第3実験においては，ソラマメ根系から培養液への窒素放出が10℃では認められなかった(第2表)。従って，混作によるコムギ窒素吸収量増大が低温で認められなかったのは低温によるコムギの生長抑制とともにソラマメの生長抑制も関連していると考えられる。しかし，マメ科作物根系からの窒素放出には低温条件が適するという報告²⁴⁾もあるので，窒素放出についてはとくにマメ科作物の生育段階と栽培温度との関連から明らかにしていく必要がある。

4. マメ科作物の刈取りが混作コムギの窒素吸収に及ぼす影響

マメ科作物地上部の刈取りあるいは遮光など地下部への炭水化物の転流量が減少するような条件は，活性の高い根粒の離脱を促進する場合が多い^{12,15,17)}。離脱根粒は分解して土壤中の窒素量を増

加させると考えられる。本研究の第3実験において、培養液中に検出できた無機態窒素量は刈取り区が対照区に比べて著しく多く(第2表)、第2実験において、生長が旺盛であり窒素固定活性が高いソラマメの地上部を刈取ると、混作コムギの窒素吸収量が著しく増大した(第6図)のは、上記の機作によって増加した土壌窒素をコムギが吸収したことが一つの要因であると考えられる。しかし、いくつかの作物においては刈取りは一時的に窒素固定活性を低下させるだけで、根粒の離脱を引き起こさない¹⁸⁾といわれており、刈取り後の土壌への窒素放出については、放出の機作ならびに放出窒素の形態などをさらに検討する必要がある。

本研究は窒素含有量の極めて少ない土壌を用いたポットにエンドウまたはソラマメとコムギを混作して行ったものである。その結果、マメ科作物に比べてコムギの生長量は極めて僅かであった。従って得られた知見はそのまま実際の混作に適用されるものでないことはいうまでもない。実際栽培における混作効果を決定する種々の要因のうちで重要と考えられる窒素吸収についての基礎的知見を得ることが本研究の目的である。従って本研究で得られた知見はさらに圃場実験によって確認されねばならない。

摘 要

窒素含有量の極めて少ない土壌をつめた 1/5000 a ワグナーポットに、コムギをエンドウならびにソラマメと混作し、コムギの窒素吸収に及ぼす窒素施肥量、温度ならびに刈取りの影響について検討した。結果の要約は次のとおりである。

1. エンドウと混作したコムギ地上部の乾物重と全窒素含有量は、窒素無施肥区と 1 kg/10 a 施肥区においては、播種後 85 日目に単作区より多くなった。この時期のエンドウは子実完熟期を経てすでに地上部が枯死しており、着生根粒はほとんど認められなかった。一方、8 kg/10 a 施肥区においては、栽培期間を通じて単作区よりも少なかった。

2. ソラマメと混作したコムギ地上部の乾物重と全窒素含有量は、ソラマメが栄養相にあった栽植後 83 日目までは 10°, 15°, 20°, 25°C の何れの温度でも単作区より少なかったが、開花期にあたる約 4 か月目には僅かながら多くなった。開花期におけるソラマメのアセチレン還元能は栄養相にある時期に比べて低下した。また根粒の離脱も認められた。

3. ソラマメとコムギの混作において、栽植後 53

日目にソラマメの地上部を刈取ると、20°, 25°C では刈取り後 30 日目に、15°C では 66 日目にコムギ地上部の全窒素含有量が著しく増大した。また無窒素培養液を用いた礫耕栽培によって生育させたソラマメの地上部を刈取ると、20°C では刈取り後 20 日目以降、10°C では 30 日目以降に培養液の無機態窒素含有量が増大し、その量は 20°C で著しく多かった。

以上の結果から、両マメ科作物との混作によるコムギ窒素吸収の増大は、両マメ科作物の生育後期に認められること、マメ科作物の根粒着生ならびに窒素固定活性を増大させる土壌窒素条件および温度条件が混作コムギの窒素吸収増大に有利であることが明らかになった。

謝辞：本研究を行うに際して、終始御協力を頂いた大阪府立大学技師 山田忠夫氏、ならびに根粒菌を提供して頂いた十勝農業協同組合連合会に深謝します。

引 用 文 献

1. BUTLER, G.W. and N.O. BATHURST 1956. The underground transference of nitrogen from clover to associated grass. Proc. 7th Int. Grassld Congr. 168—175.
2. CHESTNUTT, B.M.B. 1972. The effects of white clover and applied nitrogen on the nitrogen content of various grass/clover mixtures. J. Br. Grassld Soc. 27: 211—216.
3. 中條博良・大門弘幸 1984. 混作, 間作, 輪作における作物の生長と窒素の動態. 第1報 アカクローバとの混作初期におけるイネ科牧草の生長. 日作紀 53: 213—221.
4. DILZ, K. and E.G. MULDER 1962. Effect of associated growth on yield and nitrogen content of legume and grass plants. Plant and Soil 16: 229—237.
5. EAGLESHAM, A.R.J., A. AYANABA, V.R. RAO and D.L. ESKEW 1981. Improving the nitrogen nutrition of maize by intercropping with cowpea. Soil Biol. Biochem. 13: 169—171.
6. FLEMING, A.A., J.E. GIDDENS and E.R. BEATY 1981. Corn yields as related to legumes and inorganic nitrogen. Crop Sci. 21: 977—980.
7. FYSON, A. and J.I. SPRENT 1982. The development of primary root nodules on *Vicia faba* L. grown at two temperatures. Ann. Bot. 50: 681—692.
8. GARDNER, W.K. 1983. The acquisition of phosphorus by *Lupinus albus* L. IV. The effect of interplanting wheat and white lupin on the growth and mineral composition of the two species. Plant and Soil 70: 391—402.
9. HAYSTEAD, A. and C. MARRIOTT 1978. Fixation

- and transfer of nitrogen in a white clover-grass sward under hill conditions. *Ann. Appl. Biol.* **88**: 453—457.
10. KRALL, J.M. and R.H. DELANEY 1982. Assessment of acetylene reduction by sainfoin and alfalfa over three growing seasons. *Crop Sci.* **22**: 762—766.
11. NICOL, H. 1934. The derivation of the nitrogen of crop plants, with special reference to associated growth. *Biol. Rev.* **9**: 383—410.
12. OSMAN, A.E. and A.A.A. DIEK 1982. Effects of defoliation on yield and forage quality of some tropical grasses, legumes and their mixtures. *Expl. Agric.* **18**: 157—166.
13. PETERSON, M.L. and L.E. BENDIXEN 1961. Plant competition in relationship to nitrogen economy. *Agron. J.* **53**: 45—49.
14. ROBINSON, R.G. 1960. Oat-pea or oat-vetch mixtures for forage or seed. *Agron. J.* **52**: 546—549.
15. RÜEGG, J.J. and A.M. ALSTON 1978. Seasonal and diurnal variation of nitrogenase activity (acetylene reduction) in barrel medic (*Medicago truncatula* Gaertn.) grown in pots. *Aust. J. Agric. Res.* **29**: 951—962.
16. RUSCHEL, A.P., E. SALATI and P.B. VOSE 1979. Nitrogen enrichment of soil and plant by *Rhizobium phaseoli*-*Phaseolus vulgaris* symbiosis. *Plant and Soil* **51**: 425—429.
17. SIMPSON, J.R. 1965. The transference of nitrogen from pasture legumes to an associated grass under several systems of management in pot culture. *Aust. J. Agric. Res.* **16**: 915—926.
18. VANCE, C.P., G.H. HEICHEL, D.K. BARNES, J.W. BRYAN and L.E. JOHNSON 1979. Nitrogen fixation, nodule development, and vegetative regrowth of alfalfa (*Medicago sativa* L.) following harvest. *Plant Physiol.* **64**: 1—8.
19. VEST, G. 1971. Nitrogen increases in a non-nodulating soybean genotype grown with nodulating genotypes. *Agron. J.* **63**: 356—359.
20. WHITNEY, A.S., Y. KANEHIRO and G.D. SHERMAN 1967. Nitrogen relationships of three tropical forage legumes in pure stands and in grass mixtures. *Agron. J.* **59**: 47—50.
21. ——— and ——— 1967. Pathways of nitrogen transfer in some tropical legume-grass associations. *Agron. J.* **59**: 585—588.
22. WILSON, P.W. and O. WYSS 1937. Mixed cropping and the excretion of nitrogen by leguminous plants. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **2**: 289—297.
23. WOLEDGE, J. and A.C. SUAREZ 1983. The growth and photosynthesis of seedling plants of white clover at low temperature. *Ann. Bot.* **52**: 239—245.
24. WYSS, O. and P.W. WILSON 1941. Factors influencing excretion of nitrogen by legumes. *Soil Sci.* **52**: 15—30.
25. 吉田重方・谷田沢道彦 1977. ラジノクローバの再生過程における共生窒素固定能の変動. アセチレン還元法による調査. *日草誌* **23**: 6—13.
26. YOUNG, J.P.W. 1982. The time course of nitrogen fixation, apical growth and fruit development in peas. *Ann. Bot.* **49**: 135—139.

Plant Growth and Fate of Nitrogen in Mixed Cropping, Intercropping and Crop Rotation

II. Nitrogen content of wheat in association with pea or broad bean

Hiroyuki DAIMON and Hiroyoshi CHUJO
(The College of Agriculture, University
of Osaka Prefecture, Sakai 591)

Summary

Wheat were grown alone or in association with pea (*Pisum sativum* L.) or broad bean (*Vicia faba* L.) under several treatment conditions of nitrogen application, temperature and clipping in nitrogen-poor soil. The results are summarized as follows.

1. Without nitrogen fertilizer and with nitrogen 1 kg/10 a, top dry weight and nitrogen content of wheat in association with pea were the same as those grown alone on the 60th and the 70th day after sowing, but were remarkably larger on the 85th day when tops of the pea died and almost all the root nodules sloughed off (Figs. 1, 2, 3 and 4). With nitrogen 8 kg/10 a, however, they were less than those grown alone 60, 70 and 85 days after sowing.

2. Wheat grown in association with broad bean yielded smaller top dry weight and nitrogen than those grown alone till the 83rd day after planting at 10°, 15°, 20° and 25°C (Figs. 5 and 6). In the early stage of anthesis of broad bean 4 months after planting, the wheat at 15°, 20° and 25°C yielded more dry weight and nitrogen, being largest at 20°C where broad bean growth was most marked on the 53rd and 83rd day (Figs. 8 and 9). Four months after planting, acetylene reduction activity declined markedly and some of the root nodules sloughed off (Fig. 9). At 10°C, top dry weight and nitrogen content of wheat did not increase by association with broad bean.

3. Clipping the tops of broad bean plants in soil culture increased top dry weight and nitrogen content of associated wheat at 15°, 20° and 25°C. These increase were observed 30 days after clipping at 20° and 25°C and after 66 days at 15°C (Figs. 5 and 6). Broad bean grown in gravel culture containing no nitrogen fertilizer increased inorganic nitrogen in the culture solution after clipping their tops. The amount of nitrogen increased markedly at 20°C than at 10°C (Table 2).

It is found from these results that the increase of nitrogen content of wheat by association with these two legumes is observed 3 to 4 months after sowing or planting and also that this increase is promoted by the favorable conditions for nodulation and nitrogen fixation, such as nitrogen-poor soil and appropriate temperature.