

第V章 クロロタロニルによる土壌中のアンモニア酸化阻害が作物生育に及ぼす影響

第1節 緒言

第4章において、クロロタロニルが土壌中のアンモニア酸化を阻害することが明らかとなった。畑地で栽培される農作物の多くが好硝酸性植物であることから(河崎・森次、1990)、クロロタロニルによる土壌中のアンモニア酸化阻害作用が作物生育に影響を及ぼすことが懸念される。

そこで、実際にクロロタロニルの農薬登録上の対象作物であるコカブについて(米山ら、1990)、クロロタロニルの施用が生育量と施肥窒素の吸収に及ぼす影響を調査することとした。また、近年、作物が窒素を吸収する時の化学的形態が作物の生育量に加えて、硝酸濃度などの品質に影響を及ぼすことが知られてきた。特に、ハウレンソウでは施用する無機態窒素の形態の相違、すなわち $\text{NH}_4\text{-N}$ と $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ の比率が、生育量と品質に及ぼす影響が明らかとなっている(池田・大沢、1980; 河崎・森次、1990; 建部、1999)。そこで、クロロタロニルによる土壌中のアンモニア酸化阻害作用がハウレンソウの生育量と品質に及ぼす影響についても併せて検討した。

第2節 材料および方法

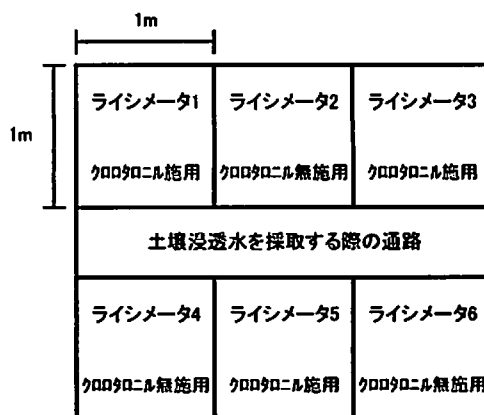
1. 試験の概要

試験は、2001年10月16日から12月20日まで、中央農業総合研究センター(つくば市観音台)のライシメータ施設において実施した。ライシメータの構造は、平面が一边1mの正方形で、深さが0.6mであり、内部には細粒灰色低地土(多多良統、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 6.22、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量 6.8mg kg^{-1} 、 $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ 含量 4.9mg kg^{-1} 、仮比重0.867)が充填されている。

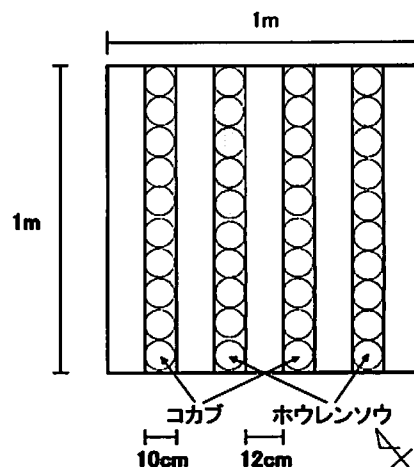
試験区の設定は、供試農薬であるクロロタロニル10.0%含有粉剤(商品名:ダコソイル)を 40g m^{-2} 作条施用するクロロタロニル施用区とクロロタロニル無施用区とし、それぞれ3基のライシメータを使用した(第5-1図、第5-3図)。クロロタロニル施用区における供試農薬の処理は、ライシメータ毎に4条(幅10cm、 0.1m^2)を設置し、条当たり10g施用後、地表から深さ10cmまで混和した(第5-4図)。各ライシメータに2種類の作物をそれぞれ2条ずつ栽培し、各条を一 반복とした(第5-2図)。供

試作物はコカブとハウレンソウとした。コカブの品種は千葉県で一般的に栽培されている‘CR白涼’(トーホク)とした(宮本、1997)。ハウレンソウの品種は、施肥窒素の $\text{NH}_4\text{-N}$ 比率を高めても生育量が低下しない‘リード’(サカタのタネ)とした(建部、1999)。これは、ハウレンソウの品質を評価する際に、クロロタロニルの効果で土壌中の無機態窒素の形態に差が生じても、生育量が極端に異なることを避けるためである。

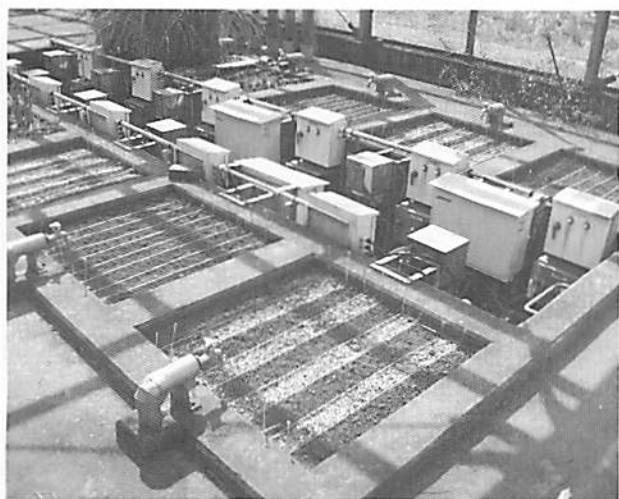
施肥は、全量基肥とし、一条ごとに施用した。窒素については、施肥窒素の作物への吸収および試験系における収支を土壌由来窒素と区別して精密に解析するため、重窒素標識硫酸アンモニウム(3.10atom%)を用いた。施用量は、非標識窒素に換算して 2.5g を 0.1m^2 の条内にもみ施肥した(ライシメータ当たり 10g m^{-2})。リン酸及びカリ肥料は、過リン酸石灰及び塩化カリウムを用い、施用量を P_2O_5 及び K_2O 換算でそれぞれ条当たり 2.5g とし、



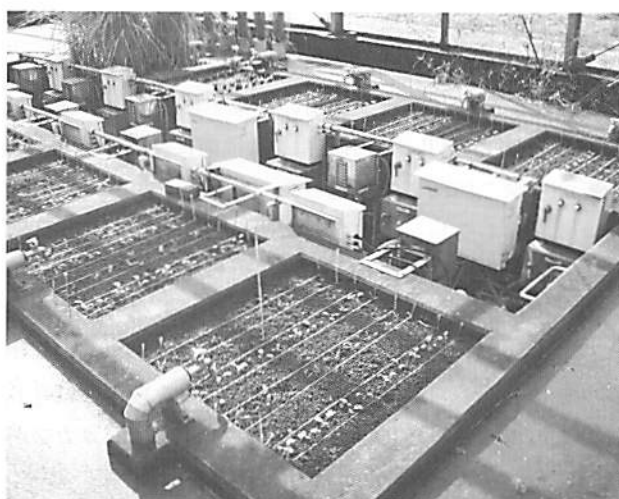
第5-1図 試験区の配置



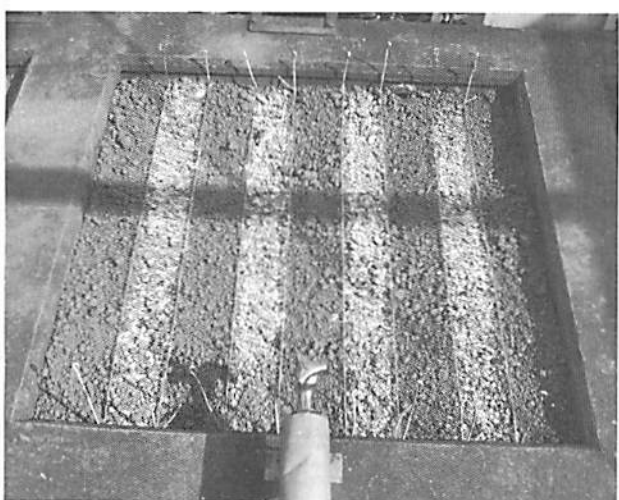
第5-2図 ライシメータにおける作物栽培の状況



第5-3図 試験に用いたライシメータ設備



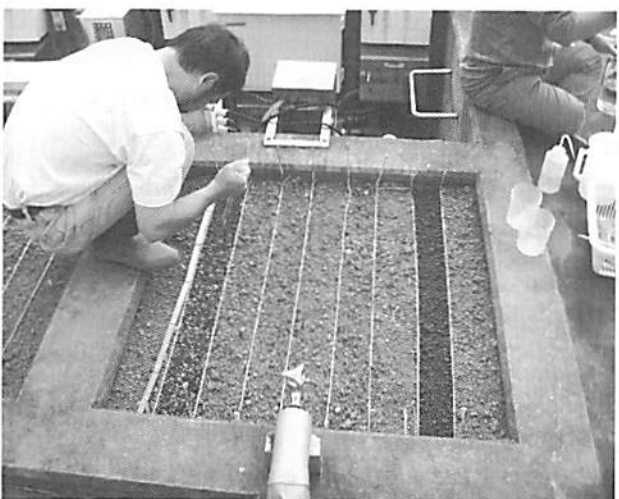
第5-6図 間引き直後の状況



第5-4図 供試農薬施用直後の状況



第5-7図 トンネル被覆の状況



第5-5図 重窒素標識硫酸アンモニウム施用状況



第5-8図 収穫時の状況

窒素と同様に条内に施用した。重窒素標識硫酸アンモニウムと塩化カリウムは、条当たり0.1Lの蒸留水に溶解し、播種、覆土後、ピペットを用いて条全体に均一に施用した(第5-5図)。過リン酸石灰は、播種前に条内に施用し、地表から深さ10cmまで耕起した。

コカブ、ハウレンソウともに播種を2001年10月16日に行い、間引きを11月2日と21日に行った(第5-6図)。この際、両作物ともに条当たりの株数を10とした。また、有孔トンネル(商品名:ぼかぼかシート穴あき、ポリオレフィン製、厚さ0.04mm、穴径45mm)による被覆を11月6日から収穫日まで行った(第5-7図)。収穫日は、コカブが12月19日、ハウレンソウが12月20日であった(第5-8図)。

2. 作物体の分析方法

作物体の窒素含量と窒素同位体組成の分析は、乾燥・微粉碎後、昭光通商に依頼し、元素分析計-安定同位体比質量分析計(deltaplusadvantage サーマエレクトロン、プレーメン、ドイツ)により行った。また、作物体の施肥窒素吸収量は、次式により求めた(程・中島、2005)。

$$\text{施肥窒素吸収量} = \text{作物の窒素含量} \times \frac{\text{作物の } ^{15}\text{N比} - 0.369}{2.73}$$

・・・(1)

このとき、0.369はバックグラウンド(供試ライシメータ内土壌の試験開始前の値)、2.73は供試した重窒素硫酸アンモニウムの¹⁵N比(3.10atom%)からバックグラウンドを差し引いた値である。

ハウレンソウの(NO₂+NO₃)-N含量は、蒸留水を加えて磨細し、抽出液を銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン法で発色後(千葉県、2005)、試料をオートアナライザ(ブラン・ルーベ社製TRAACS800)により定量した。

ハウレンソウの水溶性シュウ酸含量と還元型アスコルビン酸含量は、収穫後直ちに新鮮試料5~10gを精密に計り、それぞれ蒸留水50mLと10%メタリン酸25mLを加えて磨細し、抽出液を小型反射式光度計(関東化学社製、RQフレックスシステム)を用いて測定した(森田・太田、2001; 建部・米山、1995)。

3. 土壌の分析方法

土壌は、収穫後の2001年12月25日に地表から5cmまでを採土管を用いて採取した。各条毎に3地点をランダムに採取し、よく混合して1試料として分析に供した。

土壌窒素の分析は上述の作物に準じて、元素分析計-安定同位体比質量分析計で行った。また、土壌における施肥由来の窒素の残存量を以下の式で求めた。

$$\text{土壌中施肥由来窒素} = \text{土壌の全窒素} \times \frac{\text{土壌の } ^{15}\text{N比} - 0.369}{2.73}$$

・・・(2)

なお、0.369及び2.73は(1)式と同様である。

土壌のNH₄-Nと(NO₂+NO₃)-Nは、土壌10gを10%塩化カリウム溶液50mLで抽出し、NH₄-Nはインドフェノール法で、(NO₂+NO₃)-Nは銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン法で発色後(千葉県、2005)、オートアナライザ(ブラン・ルーベ社製TRAACS800)により定量した。

土壌中のクロロタロニル濃度の測定は、以下の方法によった。試料20gに10%リン酸溶液10mLとアセトン100mLを添加後30分間振とうし、吸引ろ過した。残さを容器に戻し、アセトン50mLを添加して同様の操作を繰り返した後、ろ液を合わせてロータリーエバポレータでアセトンを留去後、多孔性珪藻土カラム(VARIAN社製CHEMELUT-CE1020)に移し、*n*-ヘキササン80mLで溶出し、無水硫酸ナトリウムで脱水、ろ過後、濃縮し、アセトンで1mLに定容した。定量は、ガスクロマトグラフ法(HP-6890、検出器NPD、ヒューレットパッカード社、US、分離カラムDB-5MS)によった。検出限界値は0.02mg kg⁻¹、添加回収率は76%であった。

また、試験開始前の土壌からクロロタロニルは検出されなかった。

第3節 結果

1. クロロタロニルの施用が作物の草丈に及ぼす影響

ハウレンソウは、クロロタロニルを施用したライシメータの1基において発芽数が不足し、追加播種したものの生育が著しく劣った。このため、以下の結果では、このライシメータの2反復分のデータを除いた4反復を集計した。

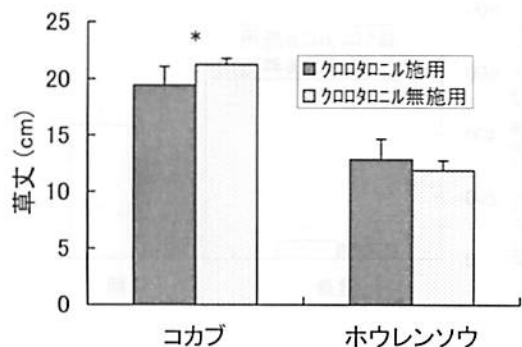
収穫時におけるコカブとハウレンソウの形態及び葉色は、両区の間で相違が観察されなかった。

コカブの草丈は、クロロタロニル無施用区が21.2cmであったのに対し、クロロタロニル施用区が19.4cmと有意に短かった(*t*検定、危険率5%)。また、この時の減少率は、8.49%であった(第5-9図)。

ハウレンソウの草丈は、クロロタロニル無施用区が11.9cmであったのに対し、クロロタロニル施用区が12.9cmであり、有意な差がなかった(第5-9図)。

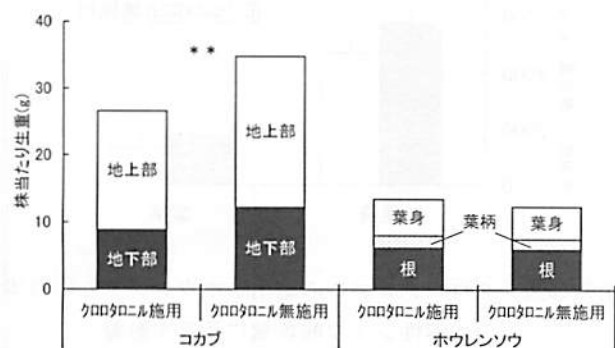
2. クロロタロニルの施用が作物の重量に及ぼす影響

コカブ1株当たりの生重は、クロロタロニル無施用区が34.9gであったのに対し、クロロタロニル施用区が26.58gで有意に小さかった(*t*検定、危険率1%)。また、この時の減少率は、23.8%であった。部位別にみると、地上部がクロロタロニル無施用区22.55gに対し、クロロタロニル施用区17.73g、地下部がクロロタロニル無



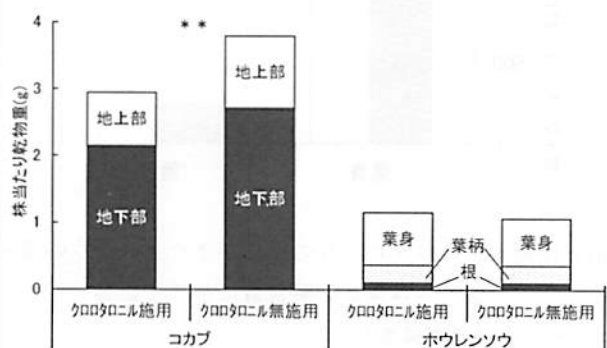
第5-9図 クロロタロニルの施用が作物の草丈に及ぼす影響

* 5%水準で有意差あり (t検定)。エラーバーは標準偏差を示す。



第5-10図 クロロタロニルの施用が作物の生重に及ぼす影響

** 1%水準で有意差あり (t検定)。



第5-11図 クロロタロニルの施用が作物の乾物重に及ぼす影響

** 1%水準で有意差あり (t検定)。

施用区12.3gに対し、クロロタロニル施用区8.85gであり、それぞれ5%の水準で有意差が検出された(第5-10図)。

ホウレンソウ1株当たりの生重は、クロロタロニル無施用区が12.35gであったのに対し、クロロタロニル施用区が13.42gであり、有意な差はなかった。また、葉身、葉柄、根のいずれの部位でも両区間に有意な差はなかった(第5-10図)。

コカブ1株当たりの乾物重は、クロロタロニル無施用区が3.79gであったのに対し、クロロタロニル施用区が2.94gであり、有意に小さかった(t検定、危険率1%)。また、この時の減少率は、22.3%であった。部位別では、地上部がクロロタロニル無施用区2.712gに対し、クロロタロニル施用区2.147g、地下部がクロロタロニル無施用区1.08gに対し、クロロタロニル施用区0.796gであり、それぞれ1%の水準で有意差が検出された(第5-11図)。

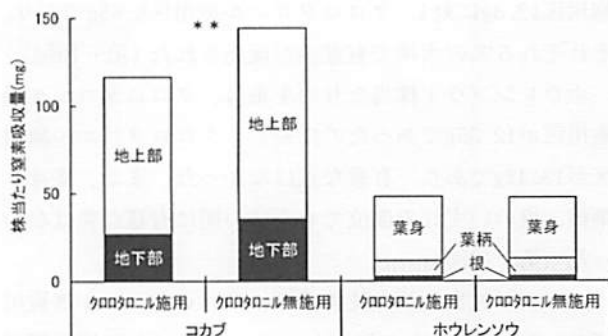
ホウレンソウ1株当たりの乾物重は、クロロタロニル無施用区が1.06gであったのに対し、クロロタロニル施用区が1.15gであり、有意な差はなかった。また、葉身、葉柄、根のいずれの部位でも両区間に有意な差はなかった(第5-11図)。

3. クロロタロニルの施用が作物の窒素吸収量に及ぼす影響

コカブ1株当たりの窒素吸収量は、クロロタロニル無施用区が144mgであったのに対し、クロロタロニル施用区が116.6mgで有意に少なかった(t検定、危険率1%)。また、この時の減少率は、19.0%であった。部位別では、地上部がクロロタロニル無施用区109mgに対し、クロロタロニル施用区90.1mg、地下部がクロロタロニル無施用区35.2mgに対し、クロロタロニル施用区26.5mgであり、それぞれ5%と1%の水準で有意差が検出された(第5-12図)。

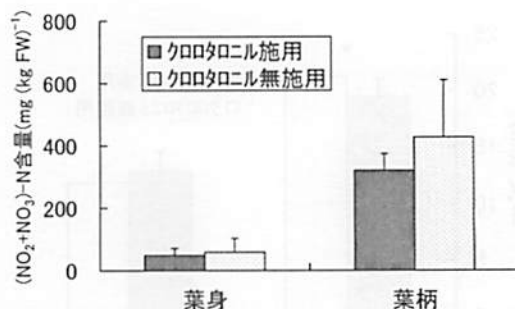
ホウレンソウ1株当たりの窒素吸収量は、クロロタロニル無施用区が47.6mgであったのに対し、クロロタロニル施用区が48.1mgであり、有意な差はなかった。また、葉身、葉柄、根のいずれの部位でも両区間に有意な差はなかった(第5-12図)。

窒素吸収量のうち施肥由来についてみると、コカブ1株当たりでは、クロロタロニル無施用区が116.6mgであったのに対し、クロロタロニル施用区が90.8mgで有意に少なかった(t検定、危険率1%)。また、この時の減少率は、22.1%であった。部位別では、地上部がクロロタロニル無施用区88.1mgに対し、クロロタロニル施用区70.0mg、地下部がクロロタロニル無施用区28.5mgに対し、クロロタロニル施用区20.8mgであり、それぞれ5%と1%の水準で有意差が検出された(第5-13図)。



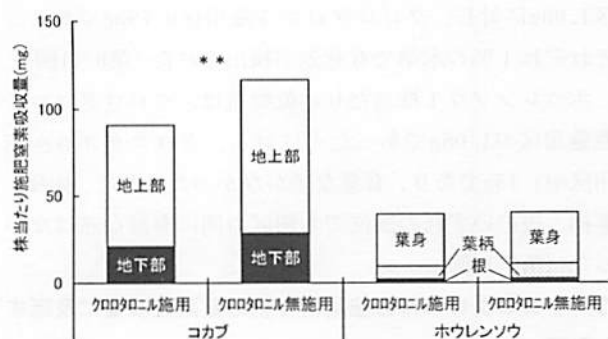
第5-12図 クロロタロニルの施用が作物の窒素吸収量に及ぼす影響

** 1%水準で有意差あり (t検定)。



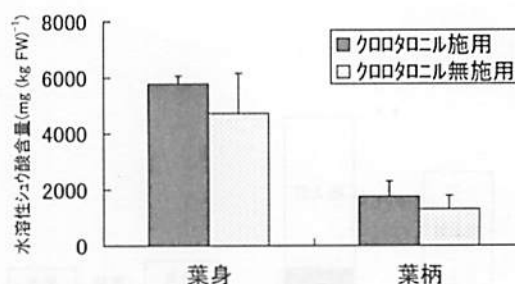
第5-14図 クロロタロニルの施用がホウレンソウの(NO₂+NO₃)-N含量に及ぼす影響

エラーバーは標準偏差を示す。



第5-13図 クロロタロニルの施用が作物の施肥窒素吸収量に及ぼす影響

** 1%水準で有意差あり (t検定)。



第5-15図 クロロタロニルの施用がホウレンソウ作物体の水溶性シュウ酸含量に及ぼす影響

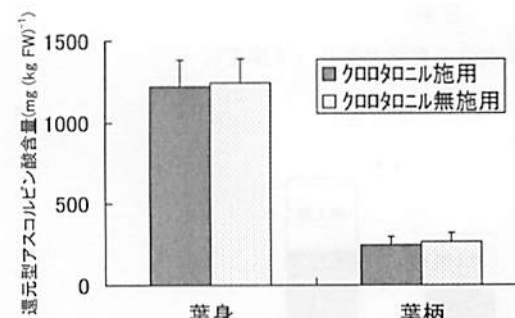
エラーバーは標準偏差を示す。

ホウレンソウ1株当たりの施肥窒素吸収量は、クロロタロニル無施用区が40.2mgであったのに対し、クロロタロニル施用区が39.2mgであり、有意な差がなかった。また、葉身、葉柄、根のいずれの部位でも両区間に有意な差はなかった(第5-13図)。

4. クロロタロニルの施用がホウレンソウの品質に及ぼす影響

ホウレンソウの(NO₂+NO₃)-N含量は、葉身より葉柄で高かった。葉身の(NO₂+NO₃)-N含量は、クロロタロニル無施用区の58.7mg (kg FW)⁻¹に対して、クロロタロニル施用区が48.8mg (kg FW)⁻¹であり、有意差は検出されなかった。また、葉柄では、クロロタロニル無施用区の426mg (kg FW)⁻¹に対して、クロロタロニル施用区が320mg (kg FW)⁻¹であり、有意差は検出されなかった(第5-14図)。

水溶性シュウ酸含量は、葉柄より葉身で高かった。葉身の水溶性シュウ酸含量は、クロロタロニル無施用区の4730mg (kg FW)⁻¹に対して、クロロタロニル施用区が5780mg (kg FW)⁻¹であり、有意差は検出されなかった。また、葉柄では、クロロタロニル無施用区の1310mg (kg FW)⁻¹



第5-16図 クロロタロニルの施用がホウレンソウの還元型アスコルビン酸含量に及ぼす影響

エラーバーは標準偏差を示す。

に対して、クロロタロニル施用区が1760mg (kg FW)⁻¹であり、有意差はなかった(第5-15図)。

還元型アスコルビン酸含量は、葉柄より葉身で高かった。葉身の還元型アスコルビン酸含量は、クロロタロニル無施用区の1240mg (kg FW)⁻¹に対して、クロロタロニル施用区が1220mg (kg FW)⁻¹であり、有意差はなかった。また、葉柄では、クロロタロニル無施用区の260mg (kg FW)⁻¹

に対して、クロロタロニル施用区が $240\text{mg}(\text{kg FW})^{-1}$ であり、有意差が検出されなかった(第5-16図)。

5. 土壌中の窒素含量とクロロタロニル濃度

土壌に残存した施肥窒素含量は、コカブ栽培跡地でクロロタロニル無処理区の 215mg kg^{-1} に対してクロロタロニル施用区が 294mg kg^{-1} 、ホウレンソウ栽培跡地でクロロタロニル無処理区の 223mg kg^{-1} に対してクロロタロニル施用区が 203mg kg^{-1} であり、ともに有意な差はなかった(第5-17図)。

また、土壌に残存した $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量は、コカブ栽培跡地でクロロタロニル無処理区が 116mg kg^{-1} であったのに対してクロロタロニル施用区が 201mg kg^{-1} 、ホウレンソウ栽培跡地でクロロタロニル無処理区が 120mg kg^{-1} であったのに対してクロロタロニル施用区が 126mg kg^{-1} であり、ともに有意な差はなかった。 $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ 含量は、コカブ栽培跡地でクロロタロニル無処理区が 44.3mg kg^{-1} であったのに対してクロロタロニル施用区が 61.7mg kg^{-1} 、ホウレンソウ栽培跡地でクロロタロニル無処理区が 56.3mg kg^{-1} であったのに対してクロロタロニル施用区が 74.4mg kg^{-1} であり、ともに有意な差はなかった(第5-18図)。

また、施肥窒素の収支をみると、土壌、作物体、間引き及び雑草を合わせた比率が、コカブでは両区とも約90%であり、ホウレンソウでは両区とも60%以下であった(第5-19図)。

収穫後のクロロタロニル施用区における土壌中のクロロタロニル濃度は、平均 64.20mg kg^{-1} であった。

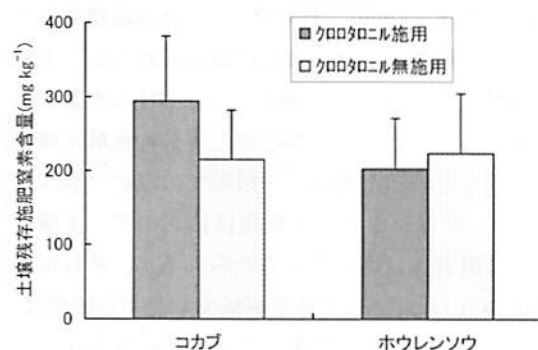
第4節 考察

1. クロロタロニル施用が作物の生育量に及ぼす影響

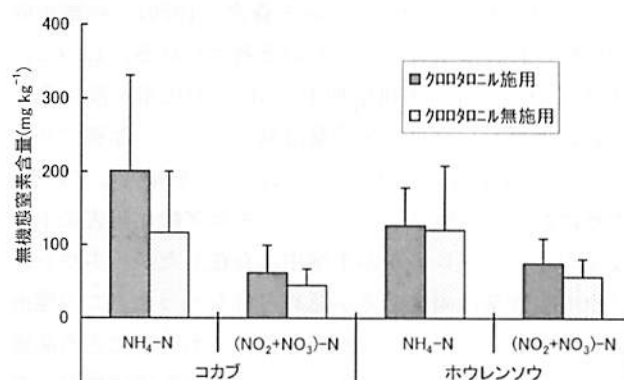
第4章の結果から、クロロタロニルが土壌中のアンモニア酸化を阻害することが明らかとなり、クロロタロニルの施用が好硝酸性植物の生育に影響を及ぼすことが懸念された。そこで、本章では、クロロタロニルの施用がコカブの生育量およびホウレンソウの生育量と品質に及ぼす影響について検討した。

クロロタロニル施用区における栽培跡地土壌中のクロロタロニル濃度は、 64.20mg kg^{-1} と第4章で用いた添加量 50mg kg^{-1} を上回った。このことから、試験期間をとおして土壌中のアンモニア酸化能は、強く阻害されていたと推察される。

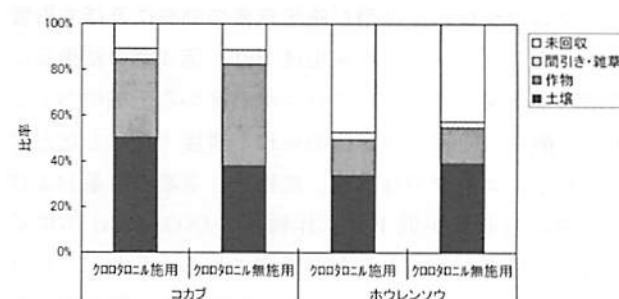
クロロタロニル施用区におけるコカブの生育量は、クロロタロニル無施用区と比べて草丈が短く、生重と乾燥重が小さく、土壌由来を含めた窒素吸収量および施肥窒素吸収量が少なかった。コカブは好硝酸性植物であることが知られており(池田・大沢, 1981)、こうした生育



第5-17図 土壌に残存した施肥窒素含量
エラーバーは標準偏差を示す。



第5-18図 土壌に残存した無機態窒素含量
エラーバーは標準偏差を示す。



第5-19図 試験終了時の施肥窒素の収支

量の減少は、クロロタロニルによる土壌中のアンモニア酸化阻害作用の結果もたらされたものと考えられた。なお、土壌由来を含む窒素吸収量の減少率は19%であり、施肥窒素吸収量の減少率は22%であった。土壌由来窒素が後期に吸収されると考えると、生育初期により生育が抑制されたと推定される。クロロタロニル施用区においてコカブの生育量が減少した機作についてさらに考察すると、土壌中のアンモニア酸化阻害によりコカブ体内に $\text{NH}_4\text{-N}$ が蓄積して障害を起こしたこと(岩田, 1958; 松丸ら, 1989)、および $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収速度が $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ と比べて遅いために窒素吸収量が減少したことが考えら

れる(河崎・森次、1990)。作物体内の $\text{NH}_4\text{-N}$ 蓄積による生育障害は、水耕栽培ではしばしば認められるが、土耕栽培では硝酸化成が速やかに進むこと、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の多くが土壤に吸着保持されること、作物根と養分の接触が植物根の伸長に負うといった理由で一般的ではない(森次・河崎、1981)。クロロタロニル施用区において、土壤中の硝酸化成は阻害されていると考えられるが、それ以外の上記理由から、コカブの生育量が減少した主な機作は、コカブによる $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収速度が $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ と比べて遅いためと考えられた。

一方、ハウレンソウでは生育に差が認められなかった。本来、ハウレンソウはコカブと同様に好硝酸性植物なので(池田・大沢、1980;河崎・森次、1990)、硝酸化成が抑制されれば生育が劣るものと考えられる。しかし、建部(1999)は、水耕培地中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の比率を高めると一般のハウレンソウの生育量は減少したが、品種‘リード’のみは生育量が減少しなかったことを報告している。本章における試験結果でも、アンモニア酸化阻害に十分な量のクロロタロニルが土壤中に存在したが、ハウレンソウの生育量は両区で差が認められなかった。この理由として、アンモニア比率が高い条件でも生育できる品種を供試したことの他に、ハウレンソウの生育速度がコカブと比べて遅いことから、アンモニア酸化阻害を受けた土壤条件でも生育に必要な $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ は供給されていたことが考えられる。

2. クロロタロニル施用が施肥窒素の動態に及ぼす影響

本章のクロロタロニル施用区では、第4章の結果及び栽培跡地土壤中のクロロタロニル濃度から土壤中のアンモニア酸化の阻害活性が認められる濃度で推移したと考えられる。コカブでは生重、乾物重、窒素吸収量および施肥窒素吸収量が低下し、作物への $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ 供給に対する障害があったことが推定される。しかし、コカブ栽培跡地土壤の $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ 含量では区間の差は認められなかった。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量についてもクロロタロニル施用区がクロロタロニル無施用区と比べて1.7倍残存し、アンモニア酸化を阻害した傾向をうかがわせたもののサンプル間の振れが大きいため有意差は認められず、コカブの窒素吸収量が低下した現象と矛盾する結果となった。この理由として、土壤に残存する窒素は、作物による吸収、間引きや雑草による吸収、溶脱や脱窒等による揮散といった複数の要因の影響を受けたことによりばらつきが大きくなったことが考えられた。また、コカブ栽培跡地土壤の $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ 含量において区間の差がなかった理由は、 $\text{NH}_4\text{-N}$ のプールから硝酸化成が起こるとコカブが直ちに吸収したことが考えられる。

ハウレンソウ栽培跡地土壤では $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量、 $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ 含量ともにクロロタロニルの施用による差がなかった。施肥窒素収支中の「未回収」の部分は、亜酸化窒素の生成、溶脱及び脱窒等が考えられるが、それらは硝酸化成の過程もしくは $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ の形態で生じる(秋山、2005;金子ら、2002)。ハウレンソウは、コカブと比べて生育が遅く、施肥窒素収支中の作物の比率が低く、未回収の比率が高い(第5-19図)。このことから、クロロタロニル施用区における土壤中の硝酸化成能でも余剰の $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ が供給され、溶脱または脱窒しやすい環境にあったと考えられる。このことは、好硝酸性植物の中でも生育が早い作物ほどクロロタロニル施用による影響が現れやすいことを示唆している。

3. クロロタロニル施用がハウレンソウの品質に及ぼす影響

ハウレンソウの $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ 含量、水溶性シュウ酸含量および還元型アスコルビン酸含量のいずれも、クロロタロニル施用区と無施用区で差はなかった。このことから、本試験ではハウレンソウの主要な品質関連成分はクロロタロニルの施用による影響は受けないと結論できた。建部(1999)は、水耕培地中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の比率を高めることにより品種‘リード’を含むハウレンソウの $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ 含量とシュウ酸含量が減少し、アスコルビン酸含量が増加することを報告している。しかし、本試験における土壤中の $\text{NH}_4\text{-N}$ と $(\text{NO}_2+\text{NO}_3)\text{-N}$ の比率は、両区間でハウレンソウの品質関連成分に影響する程の差を生じなかったと推定される。

以上のように、クロロタロニルの施用はコカブの生育量を抑制することが明らかとなり、クロロタロニルによる土壤中のアンモニア酸化阻害の関与が示唆された。一方で、ハウレンソウの生育量と品質関連成分では、クロロタロニル施用による影響は認められなかった。今後、クロロタロニルの農業登録上施用の対象となっている作物を中心に、クロロタロニル施用による生育量への影響を検証する必要がある。また、本章で供試したクロロタロニル10%含有粉剤施用後3ヵ月以内に後作としてトマトとハウレンソウを作付けると、それらの生育が抑制されることが知られている(JA全農肥料農業部農業技術・安全課編、2004a)。この現象とクロロタロニルによる土壤中のアンモニア酸化阻害との関係を明らかにすると共に、ハウレンソウを含めた後作物に対するクロロタロニル施用の影響をさらに詳細に検証する必要がある。