

テンサイの安定生産に向けた肥培管理法に関する研究

学位論文内容の要旨

北海道のテンサイはペーパーポット移植栽培によって大幅に生産性が向上したが、近年では国際競争力強化のために省力・低コスト化を図ることが急務となっている。そのため直播栽培が見直されているが、直播栽培テンサイの初期生育障害が全道でしばしば多発した。この原因には、輪作体系内で作付けされるジャガイモのそうか病の蔓延抑制を意図した石灰の施用忌避による土壌酸性と、作条施肥による濃度障害があると考えられているが、土壌による違いがあり、対策が不明確であった。本研究ではその対策を明確にするとともに、具体的な改善策の提示を目的とした。

1. テンサイにおける初期生育障害の発生要因の解明

1) 移植および直播テンサイの初期生育障害の発生要因

移植テンサイ現地圃場 23 カ所(初期生育障害地点: 12 カ所, 正常地点: 11 カ所)の調査結果では、初期生育障害地点の土壌 pH は正常地点よりも有意に低く、生育・収量は土壌 pH と密接に関係したことから、移植における初期生育障害の発生要因は酸性障害と考えられた。

直播テンサイ現地圃場 391 カ所(初期生育障害地点: 143 カ所, 正常地点: 248 カ所)の調査結果においても、初期生育障害地点の土壌 pH は正常地点よりも有意に低かった。ただし、直播の場合は土壌 pH が 5.7 と比較的高い場合にも初期生育障害が発生し、また播種時の石灰の作条施肥が生育を改善する、という特徴があった。全体傾向としては、直播においても初期生育障害の発生要因は第 1 には酸性障害であり、次に作条施肥による濃度障害が複雑に関与すると考えられた。

作条施肥による濃度障害を受けやすい直播テンサイには、全層施肥や分施など根圏域での窒素濃度が極端に高まらない施肥法が有効と考えられた。

2) 直播テンサイの初期生育に及ぼす土壌 pH、交換酸度 y_1 、作条施肥窒素の硝酸化成の影響と相互関係

交換酸度 y_1 が高い腐植質灰色台地土(y_1 :18.0)と、腐植質火山放出物未熟土(y_1 :6.9)、普通褐色低地土(y_1 :5.3)、淡色黒ボク土(y_1 :2.2)を供試した。土壌溶液への Al 放出が始まる土壌 pH は淡色黒ボク土で最も低かった。硝酸化成による土壌 pH の低下は腐植質灰色台地土で最も著しかった。

これら 4 土壌で直播テンサイを栽培したところ、生育は土壌 pH および y_1 と有意に関係したが、どちらも土壌タイプの違いによってばらついた。

一方、株間の土壌中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は、土壌 pH および y_1 よりもテンサイ生育と密接に関係し、さらに株間の土壌中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は土壌 pH および y_1 と密接に関係した。

以上から、まず $\text{NO}_3\text{-N}$ 量はテンサイの直接的な窒素栄養源であることから、テンサイの生育と直接的に関係すると考えられ、次に $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は硝酸化成の結果であり土壌の酸性状態に支配されるため、間接的に土壌酸性と関係すると考えられた。すなわち施肥窒素の硝酸化成程度は土壌の種類や土壌酸性によらずテンサイの生育を改善する上で重要なことが分かった。

2. 施肥窒素の硝酸化成に影響を及ぼす要因の解析

窒素添加濃度を多段階(0-300 mg N kg⁻¹)とした培養実験から、(1)高濃度の窒素添加は硝酸化成を抑制する、(2)添加窒素濃度の高い条件(300 mg N kg⁻¹)における硝酸化成は、有機物含量の低い土壌よりも有機物含量の高い土壌で速やかである、(3)有機物含量の高い土壌のみ見た場合、硝酸化成は土壌 pH と密接に関係する、(4)供試土壌全体でみれば、高添加窒素濃度(300 mg N kg⁻¹)における硝酸化成は第 1 に T-C、次に土壌 pH と有意な正の相関関係にあることを明らかにした。

次に、高添加窒素濃度条件(最高 1000 mg N kg⁻¹)の培養実験により、最も硝酸化成が抑制されるのは硫酸アンモニウムで、ついでリン酸 1 アンモニウム、尿素の順であることを明らかにした。これらの知見は、全層施肥・分施・作条施肥の違いを理解する上で有効である。

3. 全層施肥による直播テンサイの窒素施肥改善

作条施肥では、硝酸化成が遅れ、NH₄-N 濃度が高濃度のまま残存し濃度障害が生じテンサイの初期生育が抑制された。一方全層施肥では、硝酸化成も速やかで株間土壌の NH₄-N 濃度は作条施肥よりも低く、濃度障害は生じなかった。延べ 18 カ所の圃場試験から、全層施肥は濃度障害の心配がなく、生育や収量の改善が期待できることを実証した。

4. 分施による直播テンサイの窒素施肥改善

1) 直播テンサイの初期生育確保に最適な作条基肥窒素量は 40 kg ha⁻¹ 程度であり、またその最適な施肥位置は種子から側方 2.5~5.0cm、深さ 6cm、であった。

2) 通気培養実験から以下を明らかにした。表面施肥した窒素の NH₃-N 揮散率は高温・高 pH (30℃, 土壌 pH 7.0) で大きく、低温・低 pH (15℃, 土壌 pH 5.9) では小さかった。また、温度が高くとも pH が低い場合(30℃, 土壌 pH 5.9)でのアンモニア揮散率は、リン酸 2 アンモニウムを除けば数%以下と小さかった。また NH₃-N 揮散率の窒素形態間差は窒素添加 24 時間後の土壌 pH によって説明できた。以上から、窒素の表面施肥を行う場合には土壌 pH を高くし過ぎないことが重要であるが、土壌 pH 5.9 での NH₃-N 揮散率は、リン酸 2 アンモニウムを除けば数%以下と低かったので、極度に低 pH とする必要はない。また低 pH の場合(土壌 pH 5.9 程度)には、尿素、硫酸アンモニウム、リン酸 1 アンモニウムのいずれも NH₃-N 揮散率は低いので、表面施肥への適用は可能であった。

3) 延べ 11 カ所の圃場試験から、作条基肥窒素量を 40 kg ha⁻¹ 程度、残りの窒素施肥量を発芽揃い~本葉 2 葉期に表面施肥する分施は、濃度障害の心配がなく、NH₃-N 揮散による窒素損失も少なく、生育や窒素吸収・収量の改善が期待できることを実証した。

5. 降水条件の違いが全層施肥と分施の有効性に与える影響

淡色黒ボク土(土性 SL)の場合、少雨条件(6 月の余剰水量 4mm, 余剰水量=降水量-蒸発散量)では、全層施肥および分施によって、直播テンサイの初期生育は改善され、増収が期待できる。一方多雨条件では(同 64mm)、根重・糖量には施肥法間で大差なかったが、全層施肥では NO₃-N の下層土への流出と葉色値の低下が認められ、収穫時の窒素吸収量もやや少ない傾向があり、施肥法によって流れ易さに違いがあった。

6. 結論

1) 直播テンサイでは、pH が比較的高くとも初期生育障害が発生する場合があります。これは主に硝酸化成の抑制に伴う窒素吸収抑制と理解され、さらなる酸性矯正が必要と考えられた。

2) 酸性矯正の目標は、pH 5.7 付近とし、播種時に石灰の作条施用を併用すれば直播テンサイの生育を改善できる。

3) 全層施肥および分施ともに、根圏域の NH₄-N 濃度が極端に高まらないため硝酸化成が促進され、直播テンサイの濃度障害回避に有効であり、初期生育の改善と増収が期待できる。

4) 余剰水量の多い地域では、硝酸態窒素が流亡し難い分施を選択すべきである。硝酸態窒素が流亡し易い全層施肥も、流れ易さ区分図(北海道農政部, 2003)における、作土層(0~20cm)からの硝酸態窒素の流出程度が 30~40%未満の地域であれば適用可能である。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 波多野 隆 介

副 査 教 授 長谷川 周 一

副 査 教 授 大 崎 満

学 位 論 文 題 名

テンサイの安定生産に向けた肥培管理法に関する研究

本論文は8章からなり図36、表31、写真6、引用文献276を含む215ページの和文論文であり、他に参考論文8編が添えられている。

北海道のテンサイは移植栽培によって生産性が向上したが、近年では国際競争力強化のために省力・低コスト化を図る必要が生じたことから、直播栽培が見直されている。しかし直播栽培の初期生育障害がしばしば多発した。この原因には、輪作体系内におけるジャガイモそうか病の蔓延抑制を意図した石灰の施用忌避による土壌酸性と、作条施肥による濃度障害、があると考えられているが、対策が遅れていた。本研究ではその対策を明確にし、具体的な改善策を提示することを目的とした。

テンサイの初期生育障害地点の土壌 pH は正常地点よりも有意に低く、初期生育障害の発生要因は主に酸性障害であった。ただし、直播の場合は土壌 pH が 5.7 と比較的高い場合にも初期生育障害が発生し、また播種時の石灰の作条施肥が生育を改善したことから、初期生育障害には、作条施肥による濃度障害や硝酸化成の遅延などが複雑に関与すると考えられた。

直播テンサイの生育と、土壌 pH・交換酸度 y_1 ・株間土壌の $\text{NO}_3\text{-N}$ 量の関係を検討し、株間の土壌中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は、土壌 pH および y_1 よりもテンサイ生育と密接に関係し、さらに株間の土壌中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 量は土壌 pH および y_1 と密接に関係したことから、施肥窒素の硝酸化成程度は土壌酸性よりもテンサイ生育を理解する上で重要であり、また土壌酸性をも間接的に反映する指標であることを示した。

土壌への窒素添加濃度を多段階とした培養実験から、高濃度の窒素添加は硝酸化成を抑制し、高窒素濃度における硝酸化成は有機物含量の低い土壌よりも有機物含量の高い土壌で速やかであり、高有機物含量の土壌のみ見た場合には、硝酸化成は土壌 pH と密接に関係し、供試土壌全体では、高窒素濃度における硝酸化成は第1に T-C、次に土壌 pH と有意な正の相関関係にある、ことを示した。また高窒素濃度において最も硝酸化成が抑制されるのは硫酸アンモニウムで、ついでリン酸1アンモニウム、尿素の順であった。

全層施肥について検討したところ、作条施肥では硝酸化成が遅れ、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高濃度のまま残存し濃度障害が生じテンサイの生育が抑制されるが、全層施肥では硝酸化成も速やかで株間土壌の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は作条施肥よりも低く、濃度障害は生じなかった。延べ18カ所の圃場試験から、全層施肥は濃度障害の心配がなく、生育や収量の改善が期待できることを実証した。

次に分施について、(1)直播テンサイの初期生育確保に最適な作条基肥窒素量は 40 kg ha^{-1} 程度であり、最適な施肥位置は種子から側方 $2.5 \sim 5.0 \text{ cm}$ 、深さ 6 cm である、(2) $\text{NH}_3\text{-N}$ 揮散による表面施肥窒素の損失を低く抑えるには土壌 pH を高くし過ぎないことが重要であるが、土壌 pH5.9 程度での $\text{NH}_3\text{-N}$ 揮散率は数%以下と低いので、極度に低 pH とする必要はなく、また尿素、硫酸アンモニウム、リン酸 1 アンモニウムのいずれも表面施肥が可能である、(3)延べ 11 カ所の圃場試験から、作条基肥窒素量を 40 kg ha^{-1} 程度、残りの窒素施肥量(120 kg ha^{-1})を発芽揃い〜本葉 2 葉期に表面施肥する分施は、生育や窒素吸収・収量の改善が期待できる、ことを示した。

施肥法による窒素の流れ易さの違いについて、少雨条件では全層施肥および分施によって、直播テンサイの生育と収量は改善されるものの、多雨条件における全層施肥では $\text{NO}_3\text{-N}$ の下層土への流出と葉色値の低下が認められ、収穫時の窒素吸収量もやや少ない傾向があることを示した。

以上から以下の 4 つの結論を得た。(1)直播テンサイでは、pH が比較的高くとも初期生育障害が発生する場合があります、これは主に硝酸化成の抑制に伴う窒素吸収抑制と理解され、さらなる酸性矯正が必要と考えられた。(2)酸性矯正の目標は、pH5.7 付近とし、播種時に石灰の作条施用を併用すれば直播テンサイの生育を改善できる。(3)全層施肥および分施ともに、根圏域の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が極端に高まらないため硝酸化成が促進され、直播テンサイの濃度障害回避に有効であり、初期生育の改善と増収が期待できる。(4)余剰水量の多い地域では、硝酸が流亡し難い分施を選択すべきである。硝酸が流亡し易い全層施肥も、作土層からの硝酸態窒素の流出程度が 30~40%未満の地域であれば適用可能である。

以上のように、本研究は、土壌酸性や濃度障害に弱い直播栽培テンサイを安定的かつ合理的に生産するための土壌 pH 管理法と窒素施肥法を示したものであり、関連学会においても高く評価されるとともに、北海道農業試験会議において指導参考および普及推進事項として認定され、広く普及されている。よって審査員一同は、笛木伸彦が博士(農学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認めた。