

学位論文題名

リンゴの樹体生長，収量および果実品質に
およぼす窒素多肥の影響

学位論文内容の要旨

わが国におけるリンゴに対する窒素施肥量は諸外国に比べて多い。これは果実の肥大と収量の増加を期待して行われていると考えられるが、窒素の多肥は果実の着色不良、生理障害の多発、貯蔵性の低下等果実品質に対して悪影響をもたらすことが知られている。特に窒素多肥により果実の着色が不良となることはよく知られているが、その生理的原因については不明な点が多い。また、窒素多肥が樹体生長におよぼす影響について定量的になされた研究は少なく、さらに窒素施肥時期と果実収量および品質との関係も明確ではない。

本研究は、リンゴの樹体生長、果実収量および品質におよぼす窒素多肥および窒素施肥時期の影響を明らかにすることを目的とし、さらに、窒素多肥により果実の着色が不良となる生理的原因を解明することを目的として実施した。供試品種は主として紅玉である。供試土壌は細粒灰色低地土であり、その有効態窒素量は青森県においてリンゴ園の約70%を占める黒ボク土よりやや多い。1972年に無窒素区と窒素施肥区（0.5kgN/樹）を設け、1982年より窒素施肥区に対する施肥量を2kgN/樹に増加し、施肥時期として4月下旬（春施肥区）、6月下旬（夏施肥区）および9月上旬（秋施肥区）の3処理を設定して実験に供した。

リンゴの樹体生長と収量におよぼす窒素多肥の影響を検討した。リンゴ葉の単位葉面積当りの光合成能は無窒素処理と窒素多肥処理間に差がなかった。春施肥区と夏施肥区の単位葉面積当りの蒸散速度は-N区より高く、これらの両区では光合成における水利用効率が-N区より低下した。-N区と春施肥区の樹体地上部の乾物生産量を非破壊的に測定した。春萌芽前の乾物重に対する果実収穫後の乾物重の比は両区で1.7と等しく、窒素多肥によって乾物生産能は上昇しなかった。増加乾物重の果実に対する配分率は-N区で高く、新梢と葉に対する配分率は春施肥区で高かった。新梢は春施肥区で長かった。+N区の窒素施肥量が0.5kgN/樹であった1972-1981年までの-N区と+N区間の果実収量に差はなかった。窒素施肥量を2kgN/樹とし、窒素

施肥時期を変えた1982-1990年の平均果実収量は夏施肥区で他区より有意に低く、他の3区間には有意差がなかった。これは6月末の窒素多肥が新梢生長を促進し、花芽の分化・発達を抑制したためと考えられた。-N区で収量が低下しなかった原因はリンゴ樹の窒素要求性が低いことと、土壌中の有効態窒素が比較的多いためである。

リンゴ果実の内部品質におよぼす窒素多肥の影響を検討した。夏施肥区の果実ではカルシウム濃度が低く、マグネシウム濃度は高かった。ゴム病の発生率は夏施肥区で高く、カルシウム濃度が低く、マグネシウム濃度が高いことがゴム病発生の原因と考えられた。果実の糖濃度は窒素施肥期間で大差なく、アミノ酸濃度は夏施肥区と秋施肥区で高かった。有機酸濃度に処理区間で有意差はなかった。-N区の果実の着色が最も良好であったことを考え合わせると、-N区の果実が品質的に最も優れていた。

リンゴ果実の着色におよぼす窒素多肥の影響を解析した。窒素多肥により果実の着色は著しく不良となった。この原因として窒素多肥によって枝葉が繁茂し光条件が悪化することより、果実の生理的条件が果実の着色に不利となることが第一義的に重要であることを明らかにした。すなわち、樹上着生果を遮光処理した場合および一定の光条件下で果皮切片をインキュベートした場合のいずれにおいても、+N区の果実の着色は-N区より不良であった。

窒素を多肥したリンゴ果実で着色が不良となる原因に関連すると考えられる生理的状态の特徴は以下のとおりである。

- 1) 可溶性窒素濃度、すなわちアスパラギンを主体とする遊離アミノ酸濃度が高い。アスパラギン、アスパラギン酸、グルタミン酸および全遊離アミノ酸濃度とアントシアニン濃度間で有意な負相関が存在した。
- 2) EMP経路を経由して代謝される糖の割合は-N区の果実より高い。EMP経路とPP経路の相対活性比を示すC6/C1比とアントシアニン濃度間に有意の負相関、可溶性窒素濃度とC6/C1比間に有意な正相関が存在した。
- 3) 果皮中の有機酸のうち、主要な酸であるリンゴ酸濃度は-N区と差がないが、シトラマル酸濃度は低い。果皮中のシトラマル酸とアントシアニン濃度間に有意な正相関が存在した。
- 4) ポリアミン、特にスパーミン濃度が高い。このことがエチレン生成と細胞の老化を抑制している可能性がある。着色開始期にのみ果芯中エチレン濃度と果皮中アントシアニン濃度間に有意な正相関があり、同時期の果肉中スパーミン濃度と果芯中エチレン濃度および果皮中アントシアニン濃度間にそれぞれ有意な負相関があった。また、果皮中スパーミン濃度の上昇にともなってアントシアニン濃度は有意に低下した。

5) フラボノイド合成系においてジヒドロケルセチン以後の合成系がアントシアニン合成系よりケルセチン配糖体合成系に傾いている。

窒素を多肥した果実で着色が不良となる直接的な原因は、フラボノイド合成系がアントシアニン合成系よりケルセチン配糖体合成系に傾いていることにある。さらに、上記の生理的条件が相互に影響しあって着色を不良にしていると推定される。可溶性窒素と糖代謝系は全着色期間にわたって、シトラマル酸は着色期間の中後期で、ポリアミンとエチレンは着色開始期でそれぞれアントシアニン生成に対して影響をおよぼす。

以上の結果から、リングに対する窒素多肥は果実収量の増加および果実肥大にさほど効果はなく、新梢などの栄養生長を盛んにし、果実の着色を不良にし、生理障害の多発、貯蔵性の低下等果実品質に悪影響を与えることが確認された。したがって、リングに対する窒素施肥はできる限り低く抑えるべきであると考え、低窒素肥沃度のリング園に対する適正な窒素施肥量を本研究結果および既往の研究結果に基づいて試算した。果実 4 t / 10 a を生産するのに要する窒素量は 8 kg N / 10 a であった。草生栽培の場合土壌窒素依存率を 90%、施肥窒素の利用率を 8% とすると、10 kg N / 10 a となる。葉に含まれる窒素 (2.4 kg N / 10 a) は落葉後土壌で分解され、再吸収されるとすると 7.6 kg N / 10 a が必要量となる。したがって、果実収量と品質の両面からみて低窒素肥沃度のリング園に対する最適な窒素施肥量は 8 kg N / 10 a 程度であり、窒素肥沃度が高い場合には、施肥量をさらに減ずる必要があると考えられ、現在の施肥量 (青森県のリングに対する平均窒素施肥量 17 kg N / 10 a) は過剰であると結論される。また、春から夏にかけてリング樹に吸収された窒素は新生部位である新梢、葉および果実に重点的に配分され、秋に吸収された窒素は根、幹等に一時的に貯蔵された後、次年度の初期生長に利用されることから、春の窒素施肥量は必要な枝と葉面積を確保する程度にとどめ、果実品質に対して影響が少なく、根の窒素吸収力が大きく衰えていない着色開始期 (9 月上旬) に残りの窒素を施肥するのが合理的であると提案した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 但 野 利 秋
副 査 教 授 佐 久 間 敏 雄
副 査 教 授 千 葉 誠 哉
副 査 教 授 原 田 隆

本論文は、図35、表69、引用文献131を含み、6章からなる総頁数198の和文論文である。別に参考論文19編が添えられている。

わが国のリンゴに対する窒素施肥量は諸外国に比べて多い。これは果実肥大と収量増を図るためと考えられるが、窒素多肥は果実の着色不良、生理障害の多発、貯蔵性の低下等果実品質に悪影響をもたらす可能性がある。特に窒素多肥により果実の着色が著しく不良となることはよく知られた事実であるが、その生理的機作については不明である。また、窒素多肥と樹体生長についての定量的研究は少なく、さらに窒素施肥時期と果実収量および品質との関係も明確ではない。

本研究はリンゴの樹体生長、果実収量および品質におよぼす窒素多肥と施肥時期の影響ならびに窒素多肥による果実着色不良の生理的機作の解明を目的として実施されたものである。得られた成果の概要は次の通りである。

1. 窒素肥沃度が比較的高い土壌におけるリンゴ（品種 紅玉）葉の光合成能は無窒素処理と窒素多肥処理（36kg N/10 a）間で差がなかった。春施肥区（4月下旬施肥）と夏施肥区（6月下旬施肥）では蒸散速度が-N区より高く、光合成における水利用効率は低下した。春萌芽前の地上部乾物重に対する果実収穫後の乾物重の比は両区で1.7と等しく、窒素多肥による乾物生産能の上昇は認められなかった。増加乾物重の果実への配分率は-N区で高く、新梢と葉への配分率は春施肥区で高かった。平均果実収量は-N区、春施肥区および秋施肥区（9月上旬）間に差がなく、夏施肥区で他区より低かった。

2. 夏施肥区の果実ではゴム病の発生率が高く、Ca濃度は低く、Mg濃度が高いことがゴム病発生の原因と考えられた。

3. 窒素多肥により果実の着色は著しく不良となった。この原因として果実の生理的条件が着色に不利となることが第一義的に重要であることを明らかにした。窒素を多肥したリンゴ果実で着色が不良となる原因に関連する生理的状态の特徴は以下のとおりである。

1) 可溶性窒素濃度が高いこと。可溶性窒素濃度の上昇によってアントシアニン濃度は低下した。

2) EMP 経路を經由して代謝される糖の割合は-N区の果実より高いこと。

3) シトラマル酸濃度が低いこと。果皮中のシトラマル酸濃度の上昇によってアントシアニン濃度が上昇した。

4) ポリアミン、特にスパーミン濃度が高いこと。このことがエチレン生成と細胞の老化を抑制した可能性がある。着色開始期にのみ果芯中エチレン濃度と果皮中アントシアニン濃度間に有意な正相関があり、同時期の果肉中スパーミン濃度と果芯中エチレン濃度および果皮中アントシアニン濃度間にそれぞれ有意な負相関があった。また、果皮中スパーミン濃度の上昇にともなってアントシアニン濃度は低下した。

5) フラボノイド合成系においてジヒドロケルセチン以後の合成系がアントシアニン合成系よりケルセチン配糖体合成系に傾いていること。窒素を多肥した果実で着色が不良となる直接的な原因は、フラボノイド合成系がアントシアニン合成系よりケルセチン配糖体合成系に傾いていることにある。さらに、上記の生理的条件が相互に影響しあって着色を不良にしていると推定される。可溶性窒素と糖代謝系は全着色期間にわたって、シトラマル酸は着色期間の中後期で、ポリアミンとエチレンは着色開始期でそれぞれアントシアニン生成に対して影響をおよぼす。

以上の解析結果から、リンゴに対する窒素多肥は果実の肥大と収量増にさほど効果はなく、果実の着色不良、生理障害の多発、貯蔵性の低下等果実品質に悪影響を与えることを確認した。それ故、リンゴに対する窒素施肥はできるだけ低くすべきであると考え、低窒素肥沃度のリンゴ園に対する適正な窒素施肥量を試算した結果、 $7.6\text{kg N}/10\text{a}$ が必要量であった。したがって、果実収量と品質の両面からみて低窒素肥沃度のリンゴ園に対する最適な窒素施肥量は $8\text{kg N}/10\text{a}$ 程度であり、窒素肥沃度が高い場合には、施肥量をさらに減ずる必要があると結論した。また、春から夏に吸収された窒素は新生部位である新梢、葉および果実に重点的に配分され、秋に吸収された窒素は根、幹等に貯蔵された後、次年度の初期生育に利用されることから、春の窒素施肥量は必要な枝と葉面積を確保する程度にとどめ、果実品質に対して影響が少なく、根の窒素吸収力が大きく衰えていない着色開始期（9月上旬）に残りを施肥するのが合理的であると提案している。

以上のように、本研究はリンゴの樹体生長と果実収量のためにも、高品質の果実を得るためにも、現行の窒素施肥量が多すぎることを明示するとともに、窒素多肥によるリンゴ果実の着色不良の原因について新知見を得ており、その成果は学術的に高く評価し得るばかりでなく、実際のリンゴ栽培に対して貢献するところが大きい。

よって、審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文提出者齋藤 寛は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。