

学 位 論 文 題 名

Quantitative Evaluation of the Effects of Water Temperature
on Rice Growth and Yield under Cool Climates

（寒地水稻の生育・収量に及ぼす水温の影響の定量的評価）

学位論文内容の要旨

寒地・北海道において水田水温（水温）は、気温より高く推移し、水稻の安定栽培を行う上で重要な役割を担っている。本研究は、水温が北海道の水稻の生育と収量に及ぼす影響について、5年間の圃場試験によって定量的に明らかにするとともに、得られたデータを用いて成長モデルを作成し、気象条件の影響を推定した。なお、圃場試験は北海道大学農学部附属農場（現北方生物圏フィールド科学センター生物生産研究農場）内の実験用水田にて実施し、3 生育時期（栄養成長期、生殖成長期、登熟前期）に、冷水掛け流し処理（各 20-34 日間）を行い、3 水準の水温条件（16-24℃）を設定した。対象品種は北海道の主要品種「きらら 397」とした。また、道内各地域での収量および気象のデータは、道立農業試験場および気象庁気象観測所から入手した。以下、その概要を述べる。

第 1 章では、寒地における水温の特徴と水稻生育に及ぼす影響および成長モデルを用いた解析方法について、従来の知見を概括した。

第 2 章では、圃場条件下において低水温が収量と乾物生産に及ぼす影響を検討した。収量は、生殖成長期の低水温によって最も大きく低下し（最大 100%減収）、その主要因は稔実歩合の低下であった。稔実歩合は 23℃以下の水温により低下しはじめ、18℃以下ではほぼ 0%となった。19-20℃の水温では、年次によって稔実歩合が大きく変化した（17-86%）、これには穂の高さ、水深と水温および気温と日射量の複合要因によって決定される穂の温度が関係しているものと推察された。また、栄養成長期の低水温によっても収量が低下し（最大 20%減収）、その主要因は乾物生産の低下（個体群成長速度が処理期間中に最大 74%低下）であった。これには、出葉速度や分けつ増加速度の低下に起因する葉面積の増加抑制（最大 55%低下）が関係し、結果として低水温によって受光量が低下した（最大 58%低下）。一方、登熟前期の低水温が収量に及ぼす影響は、年次により異なった（-13%から+6%の増減）。

第 3 章では、乾物生産に関わる葉と根の生理活性に及ぼす低水温の影響を検討した。個葉光合成速度は栄養成長期と生殖成長期において低水温処理の開始直後には低下したが（最大 35%低下）、

処理の継続に伴い、普通水温区との差異が軽減された。これは、処理日数が長くなると葉内への炭酸ガス供給に関わる気孔コンダクタンスの低下が少なくなるとともに、葉が肥厚することにより単位葉面積当たりの葉緑素量が増加することによると推察された。また、根の生理活性の指標である出液速度に対する低水温の影響が、光合成速度に対する影響よりも大きかった（最大 54% 低下、生殖成長期のみ測定）。従って、低水温による乾物生産の抑制には葉における光合成速度の低下よりも根の養水分吸収速度の低下がより大きく影響しているものと推察された。

第 4 章では、気温と日射量を入力値に用いる既存の成長モデルを参考にして、水温を入力値に加えた成長モデルを上述の圃場試験のデータを用いて作成した。すなわち、日単位の水温、気温および日射量を用いて、発育段階、葉面積、受光量、日射利用効率、稔実歩合を推定し、最終的に全乾物重と収量を推定した。なお、収量の推定誤差（（誤差平方和/n）の平方根）は $\pm 21\%$ （成長モデルの検証に用いた全 5 処理区の平均収量 446 g m^{-2} に対して 94 g m^{-2} の推定誤差）と大きく、主として稔実歩合の推定誤差によるものであった。

第 5 章と第 6 章では、作成した成長モデルを用いて北海道各地における水稻の生育に及ぼす水温の影響を比較するとともに、地球温暖化が水稻生育と収量に及ぼす影響を推定した。なお、水温は気温に比べて測定データが少ないため、気温、日射量、風速、湿度、葉面積を入力値とした熱収支を用いた既存の水温予測モデルで算出した水温を利用した。北海道の主要稲作 4 地域（札幌、比布、岩見沢、大野）における過去 10 年間の気象データについて、水温を気温と同一温度に仮定した場合（他の要因は同一）の収量は通常条件での収量に比べて 49-71% 低下し、年次間での変動も増加した。また、他の 3 地域に比べて比布の収量が高い（10 年間の平均収量で 4-23%）のは、主として日射量の高さに起因し、これに加えて岩見沢では風速が強いこと、大野では生育初期に気温が低く、生育後期に高いことが低収の要因であると推定された。さらに、将来予測される温暖化の影響については、気温が現在よりも 3°C 上昇すると水温が 1°C 上昇し、15% 増収すると予測された。

以上のように本研究では、圃場での水温処理試験により、異なる生育時期の低水温が収量に及ぼす影響とこれに関与する要因を定量的に明らかにした。また、成長モデルを用いた解析により、水温は北海道の水稻生産についての地域間差や将来の気象変動の影響を評価する上で重要な要因であることを明らかとした。

学位論文審査の要旨

主査	教授	岩間和人
副査	教授	幸田泰則
副査	教授	山口淳一
副査	助教授	長谷川利拡

学位論文題名

Quantitative Evaluation of the Effects of Water Temperature on Rice Growth and Yield under Cool Climates

(寒地水稻の生育・収量に及ぼす水温の影響の定量的評価)

本論文は図 64, 表 19 を含み, 7 章からなる総頁数 144 の英文論文であり, 別に参考文献 2 編が添えられている。

寒地・北海道において, 水田水温(水温)は水稻の安定栽培を行う上で重要な役割を担っている。本研究では, 北海道の水稻主要品種「きらら 397」について, 3 生育時期(栄養成長期, 生殖成長期, 登熟前期)に冷水掛け流し処理(各 20-34 日間, 16-24℃の水温)を圃場条件下で 5 年間行い, 低水温が生育・収量に及ぼす影響を定量的に明らかにした。また, 得られたデータから成長モデルを作成し, 北海道内の水稻主要栽培地域での過去 10 年間の気象条件下, および将来想定されている地球温暖化が進行した気象条件下について, 水温が生育・収量に及ぼす影響を解析した。

1. 収量は, 生殖成長期の低水温によって最も大きな影響を受け(最大 100%減収), 23℃以下の水温により稔実歩合が低下しはじめ, 18℃以下ではほぼ 0%となることを明らかにした。また, 19-20℃の水温では年次によって稔実歩合が大きく変化し(17-86%), これには穂の高さ, 水深と水温および気温と日射量の複合要因によって決定される穂の温度が関係していることを示した。さらに, 栄養成長期の低水温によっても収量が低下し(最大 20%減収), これは出葉速度と分けつ増加速度の低下に起因する葉面積の増加抑制が受光量の低下(最大 58%低下)をもたらし, 乾物生産速度が低下する(最大 74%低下)ことによることを明らかにした。なお, 登熟前期の低水温が収量に及ぼす影響は, 年次により異なった(-13%から+6%の増減)。

2. 乾物生産に関わる葉と根の生理活性に及ぼす低水温の影響を検討し、栄養成長期と生殖成長期の低水温によって、個葉光合成速度は処理開始直後には低下したが（最大 35% 低下）、処理日数が長くなると葉内への炭酸ガス供給に関わる気孔コンダクタンスの低下が少なくなるとともに、葉が肥厚することにより単位葉面積当たりの葉緑素量が増加し、光合成速度の低下が軽減されることを明らかにした。また、根の生理活性の指標である出液速度に対する低水温の影響は、光合成速度に対する影響よりも大きい（最大 54% 低下、生殖成長期のみ測定）ことを明らかにし、低水温による乾物生産の抑制には根の養水分吸収速度の低下が大きく影響しているものと推察した。

3. 上述の圃場試験でのデータを用いて、日単位の水温、気温および日射量から发育段階、葉面積、受光量、日射利用効率、稔実歩合を推定し、最終的に全乾物重と収量を推定する成長モデルを作成した。このモデルを用いて、札幌、比布、岩見沢、大野の水稻収量に及ぼす水温の影響を解析したところ、1990-1999 年の気象条件下において水温が気温と同一の場合には実測の収量に比べて 49-71% 減収し、年次間での変動も増加するものと推定され、北海道の水稻栽培における水温の影響を定量的に把握できた。また、地球温暖化によって気温が現在よりも 3℃ 上昇した場合には水温が 1℃ 上昇し、現在の収量に比べて平均 15% 増収するものと予測した。

以上の研究成果は、寒地の水稻栽培の安定多収栽培技術や品種育成に寄与する基礎的知見として学術的に評価できる。よって審査員一同は、下野裕之が博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格を有するものと認めた。