

|          |   |
|----------|---|
| 氏名       | なか がわ ひろ し<br>中 川 博 視                       |
| 学位(専攻分野) | 博 士 (農 学)                                   |
| 学位記番号    | 論 農 博 第 2475 号                              |
| 学位授与の日付  | 平 成 15 年 3 月 24 日                           |
| 学位授与の要件  | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当                     |
| 学位論文題目   | 高 CO <sub>2</sub> 濃度・温暖化気候の水稲生産への影響予測に関する研究 |

|        |  |
|--------|--|
| 論文調査委員 | (主 査)<br>教 授 堀 江 武 教 授 谷 坂 隆 俊 教 授 櫻 谷 哲 夫 |
|--------|--|

### 論 文 内 容 の 要 旨

大気中 CO<sub>2</sub> 濃度 ([CO<sub>2</sub>]) の急速な増加とそれに伴う地球温暖化の可能性が指摘されており、地球環境変化が作物生産に及ぼす影響の解明と予測が求められている。そのためには、作物群落の温度・[CO<sub>2</sub>] 反応に関する実験データが必須であるが、イネについて [CO<sub>2</sub>] と温度の複合処理を群落レベルで全生育期間にわたって与えた研究は極めて限られている。また、多様な環境条件で栽培されている作物の生育・収量反応を予測するには実験的研究のみでは不十分であり、プロセス型モデルの開発とそれを用いたシミュレーション研究が不可欠である。本研究は、実験、モデル化、モデルシミュレーションの3法を用いて、地球環境変化が水稲生産に及ぼす影響の解明と予測を目的として行った研究をまとめたものであり、主な内容は以下のように要約される。

1. 新規に開発した温度勾配型 [CO<sub>2</sub>] 処理チャンバー (TGC) を用いて日本型水稲品種の群落に温度と [CO<sub>2</sub>] の複合処理を与え、光合成・蒸散および水利用効率の温度・[CO<sub>2</sub>] 反応を明らかにした。すなわち、[CO<sub>2</sub>] の倍増 (2x[CO<sub>2</sub>]) は水稲の個葉光合成速度を平均で約44%増加させ、個葉蒸散速度を減少させた。その結果、群落の水利用効率は最大で約50%向上した。しかし温度が上昇するにつれ、2x[CO<sub>2</sub>] での光合成がゆるやかに増加したのに対し、蒸散量は大きく増加し、その結果、群落水利用効率の増加率は温度の上昇に伴って急激に減少した。

2. TGC を用いた実験により、水稲群落の生育・収量の温度・[CO<sub>2</sub>] 反応を調査し、2x[CO<sub>2</sub>] は水稲の出穂日数を約5%短縮し、群落乾物生産を26%増加させることを明らかにした。さらに、温度が [CO<sub>2</sub>] による乾物重増加率に及ぼす影響は比較的小さいこと、および現行温度条件では、2x[CO<sub>2</sub>] は収量を乾物生産と同程度に増加させることを示した。しかし、温度の上昇とともに収量は急激に減少し、その原因が、主として開花期の高温により引き起こされた稔実歩合の低下によるものであることを明らかにした。さらに、この高温不稔は 2x[CO<sub>2</sub>] によって助長され、収量に及ぼす温度と [CO<sub>2</sub>] の影響には強い負の相互作用が認められることを指摘した。

3. 生長シミュレーションモデルのサブモデルとして、発育ステージを環境条件から動的に推定・予測する方法を開発し、それによって多様な環境条件で栽培した水稲品種の幼穂分化日、出穂日を日々の気温および日長の経過から高精度に予測できることを明らかにした。

4. 以上の [CO<sub>2</sub>]×温度処理実験の結果をもとに、発育、葉面積生長、日射-乾物変換効率、稔実などの各生育過程について、温度 [CO<sub>2</sub>] の相互作用を考慮したサブモデルを作成し、それらを水稲シミュレーションモデル SIMRIW に組込むことによって、高温・高 [CO<sub>2</sub>] 環境に適用可能なモデルを開発した。モデルによって TGC で測定された高温・高 [CO<sub>2</sub>] 環境下での水稲生育・収量がよく再現できることを示した。さらに群落乾物生産に及ぼす温度と [CO<sub>2</sub>] の相互作用が小さいというモデルの感度解析結果から、2x[CO<sub>2</sub>] 下での水稲の乾物生産増加率は温度にかかわらず26%とみなせることを示した。

5. この水稲モデルと大気大循環モデルによる 2x[CO<sub>2</sub>] 時の気候予測値を用いて、高 [CO<sub>2</sub>]・温暖化気候が日本各地域の水稲生産に及ぼす影響を予測した。その結果、現在の栽培技術の下では、2x[CO<sub>2</sub>] 気候は水稲収量を北日本では増加・

安定化させ、東海地方以西では減少・不安定化させることが予測された。各県の予測結果を総合すると、日本の水稲総生産量は現在の水準と大きな変化はないが、その変動性は増大することが示された。温暖化気候のもとで品種や作期の変更を加味したシミュレーションによる適応技術の導入効果の評価から、地球温暖化が西南日本の水稲生産に及ぼす悪影響を緩和するには開花期の高温耐性を強化する必要があること、北日本では晩生品種と早植の組み合わせによって増収が期待でき、特に北海道では約50%の増収が可能であることが示唆された。

以上より、 $2x[CO_2]$  は気温が現行の場合、水稲収量の最大26%の増加、水利用率の50%の向上をもたらすが、温度の上昇につれてそれらの効果は減少し、ある温度以上では減収をもたらすことが実験的に明らかになった。さらにこれらの実験データを組込んで開発したモデルによるシミュレーションによって、予測される  $2x[CO_2]$  気候は水稲収量を北日本では増加・安定化させ、東海地方以西では減少・不安定化させる可能性が高いことを示した。また、地球温暖化の悪影響を緩和するには開花期の高温耐性を強化する必要があること、および北日本では晩生品種と早植の組み合わせが未来の気候条件下で増収効果をもつことを指摘した。

### 論文審査の結果の要旨

大気中の二酸化炭素濃度 ( $[CO_2]$ ) の急増と、それに伴って予測される地球温暖化などの大規模気候変化は将来の世界食料生産に計り知れないほど大きな影響を与えると考えられている。それゆえ、その考えられる影響を地域・作目毎に明らかにすることが、地域農業の生産持続性ひいては食料の安全保障の観点から重要な課題となっている。本研究は、世界の最重要作物である水稲を対象に、その生産に及ぼす高  $[CO_2]$ ・温暖化気候の影響を予測するモデルの開発を目的に行ったものである。本論文は、水稲生育諸過程の温度・ $[CO_2]$  反応についての実験的研究、その結果のパラメータ化による生育予測モデルへの組み込み、モデルの予測精度の検証、およびモデルを日本各地の将来予測に適用した場合の結果についてまとめたものであり、その評価すべき主要な成果は以下の通りである。

1. 新規に開発した温度勾配型  $[CO_2]$  処理チャンバー (TGC) 内で日本型水稲を生育全期間にわたって栽培し、生育諸過程に及ぼす温度  $[CO_2]$  の複合環境の影響を調べ、次のことを明らかにした。すなわち、 $[CO_2]$  の倍増は通常の下では個葉光合成速度の44%の増加、群落乾物生産の26%の増加、水利用率の約50%の向上、および生育期間の5%の短縮をもたらすこと、およびこの水利用率の向上は温度の上昇とともに急激に低下することである。

2. 現行の温度下では  $[CO_2]$  の倍増は水稲収量を約26%増加させるが、温度の上昇とともにその効果は減少し、開花期の平均最高温度が約  $36^{\circ}C$  を越すと収量は逆に減少することを示した。これは高温による不受精によって穎花の不稔が発生することによるものであり、しかも高  $[CO_2]$  はこの高温不稔を助長するという事実を明らかにした。

3. 以上の実験結果をもとに、発育、葉面積と乾物重の生長、および稔実などの諸過程についてのサブモデルを開発し、それらを統合することによって、高温・高  $[CO_2]$  環境に適用可能な水稲の生育・収量の動的シミュレーションモデルを構築した。モデルによって、水稲生育収量の高  $[CO_2]$  下での温度反応がよく再現できること、および現行の気候下での日本各地の水稲収量の地域間差異や年次変動がよく説明できることを示した。

4. ここで開発した水稲生育・収量の予測モデルに、世界の様々な大気循環モデルによる  $[CO_2]$  倍増時の日本各地の予測気候値を入力することにより、予測される高  $[CO_2]$ ・温暖化気候の日本の水稲生産への影響評価を行った。その結果、高  $[CO_2]$ ・温暖化気候の水稲生産への影響は、用いた気候の予測値によって幾分異なるものの、総じて関東以北で収量の増加と年次変動の減少、東海地方以西で減収と不安定化という形で表れることを示した。

5. 高  $[CO_2]$ ・温暖化気候に適応した稲作技術を探る目的で、品種と作期の変更が日本の水稲生産に与える影響についてのモデルシミュレーションを行った。その結果から、北日本では晩生品種と早植の組み合わせによって、高  $[CO_2]$ ・温暖化気候の増収効果が一層高まり、特にそれが北海道で大きいこと、および西日本では開花期の高温耐性品種の導入によって減収程度が緩和できることを指摘した。

以上のように、本論文は今日注目されている高  $[CO_2]$ ・温暖化気候の水稲生産への影響を評価するモデルを提示し、その有効性を明らかにし、さらにモデルを日本に適用することにより新しい知見を加えたものであり、作物学、農業気象学および生物環境学の発展に寄与するところが大きい。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成15年2月20日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。