

学位論文題名

The impact of global climate change
on wheat production in the Tibet Plateau, China

(気候変動が中国チベット高原のコムギ生産に及ぼす影響)

学位論文内容の要旨

地球規模での二酸化炭素(CO₂)濃度上昇および温暖化が予測されている。作物の収量は一般的に、CO₂濃度上昇により増加するが、気温上昇により減少する。したがって、食糧の安定生産のためには、CO₂濃度および気温両方の影響を考慮する必要がある。CO₂濃度上昇が作物生産に及ぼす影響は、先進国の低地を中心にして数多く研究されてきているが、発展途上国における研究は少なく、また、高地における研究例はない。今後の世界人口は発展途上国を中心にして増加すると予測されており、将来の食糧の安定生産が最も必要なのは発展途上国であると考えられる。そこで本研究では、発展途上国の高地に着目し、中国チベット高原におけるCO₂濃度および気温上昇が作物生産に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、まず、チベット高原と北海道の圃場で春播きコムギの同一品種について生育を調査し、チベット高原におけるコムギ生育の特性を検討した。さらに、チベット高原の圃場に設置したオープントップチャンバ(OTC)および北海道の生育環境制御室で上述の春播きコムギ品種を栽培し、CO₂濃度と気温の上昇が春播きコムギの生育に及ぼす影響を高地と低地間で比較した。以上の結果から、気候変動がチベット高原などの高地での作物生産に及ぼす影響を推測した。

チベット高原における春播きコムギの生育特性

チベット高原におけるコムギ生産の特性を明らかにするために、春播きコムギ品種(チベット栽培品種 3u90 および北海道栽培品種ハルユタカ)をチベット高原のラサ市(中国科学院ラサ農業生態試験場、海拔 3688m、以下ラサ)および札幌市(北海道大学、海拔 15m、以下札幌)においてそれぞれ2ヵ年にわたって栽培し、生育および収量を比較した。ラサでは札幌に比べて、光飽和条件下での個葉純光合成速度が低かった。C₃植物の光合成速度はCO₂濃度(通常、 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ またはppmで表され、いずれの地域でも同程度の値を示す)ではなくCO₂分圧(通常、Paまたは μatm で表され、気圧およびCO₂濃度によって決定される)に依存するので、札幌に比べて標高が高くCO₂分圧が低いラサでは、光合成が低下するものと推察された。ラサでは日射量が多いことによるプラス効果が低CO₂分圧によるマイナス効果によって打ち消されたため、2品種とも個体群生長速度が札幌と同程度になったものと考えられた。一方、生育期間は、気温が低いことに起因してラ

サの方が長かったため、収穫期の全乾物重は札幌に比べて大きかった。しかし、収穫指数が札幌に比べて低かったため、ラサと札幌における2ヵ年の平均収量には有意な地域間差異が認められなかった。ラサにおける2ヵ年の結果を年次別に検討したところ、気温が低かった年の全乾物重は高かった年に比べて極めて高く、収量は32%高かった。

CO₂濃度上昇がコムギの生育に及ぼす影響に関する高地と低地間の比較

ラサの圃場に設置した OTC および札幌に設置した生育環境制御室を用いて、高地における CO₂ 濃度上昇が春播きコムギ生産に及ぼす影響を、低地との比較から検討した。いずれの地域においても CO₂ 濃度上昇により純光合成速度は増加したが、単位 CO₂ 濃度上昇当りの純光合成速度の増加程度は札幌に比べてラサの方が小さかった。これは、高地では低地に比べて気圧が低いため、同じ CO₂ 濃度上昇に対する CO₂ 分圧の上昇が小さいことによると推察できた。したがって、高地における CO₂ 濃度上昇の影響が乾物生産に及ぼすプラス効果は、低地における研究結果から予測されているものに比べて小さいと考えられた。なお、ラサの OTC では CO₂ 濃度上昇処理区と無処理区の収穫期全乾物重には処理間差は認められなかった。この要因として、ガス燃焼機を用いて CO₂ 濃度を上昇させたために、OTC 内の気温が上昇したことが影響したものと考えられた。

将来の CO₂ 濃度および気温上昇が高地の作物生産に及ぼす影響の予測

札幌において生育環境制御室を用いて、3水準の CO₂ 濃度 (250、380 および 580 $\mu\text{mol mol}^{-1}$) および2水準の気温 (11/19 および 11/21℃、最低/最高気温) 条件で、前実験と同一の春播きコムギ品種を栽培した。播種後 130 日目におけるポット当りの全乾物重は、100 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ の CO₂ 濃度上昇当り 12g (380 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ における全乾物重の 14%) 増加し、1℃の気温上昇当り 10g (同 11%) 減少した。したがって、85 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ の CO₂ 濃度上昇に伴うプラス効果が、平均気温 1℃の上昇に伴うマイナス効果によって打ち消されることが示された。

ラサにおける気圧は札幌の約 65%なので、CO₂ 濃度上昇に伴うラサでの全乾物重の増加程度も札幌の約 65%であると考えられる。したがって、気温上昇に伴う全乾物重の減少程度が高地と低地で同じと仮定すると、ラサにおける 85 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ の CO₂ 濃度上昇の影響は、0.7℃の気温上昇によって打ち消されると考えられた。将来に予測される CO₂ 濃度および気温の上昇を相加した影響は、海拔の上昇にともなって負の方向へ傾くと推察された。

以上のことから、チベット高原では低地に比べて気候変動の影響をより深刻に受けると推察した。CO₂ 濃度上昇および温暖化が作物生産に及ぼす影響を地球規模で予測する際には、海拔に起因する気圧差の影響を考慮する必要がある、CO₂ 濃度上昇のプラス効果は高地ほど小さくなると予測された。また、本研究におけるコムギでの結論は、高地における多くの C₃ 作物についても適用できると考えられた。

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 近 藤 哲 也

学 位 論 文 題 名

The impact of global climate change on wheat production in the Tibet Plateau, China

(気候変動が中国チベット高原のコムギ生産に及ぼす影響)

本論文は図 18、表 22 を含み、6 章からなる総頁数 99 の英文論文であり、別に参考論文 2 編が添えられている。

現在、地球規模での二酸化炭素 (CO_2) 濃度および気温の上昇が予測されており、この気候変動が作物収量に及ぼす影響を明らかにすることは将来の食糧生産を予測するために重要である。このため先進国では CO_2 濃度上昇装置を圃場に設置して主要作物の収量に及ぼす影響が調査されている。しかし、今後の人口増加のほとんどが開発途上国で生ずると予想されており、気候変動が開発途上国の作物生産に及ぼす影響を明らかにすることは食糧の安定供給を世界全体として考えるために必要である。本研究は、これまで調査例の少ない中国チベット高原での作物生産を対象にして気候変動の影響を検討したものである。

1. チベット高原におけるコムギの生育特性

高地での作物生産の特性を明らかにするために、春播きコムギ品種 (チベット栽培品種 3u90 および北海道栽培品種ハルユタカ) をチベット高原ラサ市 (中国科学院ラサ農業生態試験場、海拔 3688m、以下ラサ) および札幌市 (北海道大学、海拔 15m、以下札幌) においてそれぞれ 2 ヶ年にわたって栽培し、生育および収量を比較した。ラサでは札幌に比べて、光飽和条件下での個葉純光合成速度 (最大 Pn) が 20% 低かった。しかし、個体群生長速度には両地域間で有意な差異が認められなかった。この理由として、 C_3 植物の最大 Pn は CO_2 分圧に依存するので、札幌に比べて標高が高いラサでは CO_2 分圧が低い (札幌の約 65%) ために最大 Pn は低下するが、ラサでは札幌に比べて日射強度が高い (札幌の約 2 倍) ので、最大 Pn が長時間維持されるものと推察した。このように、作物の光合成に対して高地では低 CO_2 分圧による低下要因と高日射による上昇要因とが

併存していると考えられた。一方、ラサでは札幌に比べ生育期間が28～44日長かった。この理由としてラサの方が生育期間中の気温が低い（約3℃の差異）ことが考えられた。このため、収穫期の全乾物重は札幌に比べて17～63%大きかった。なお、ラサでは札幌に比べていずれの年次、品種とも収穫指数が有意に低く、2ヵ年の平均収量には有意な地域間差異が認められなかった。また、ラサにおける2ヵ年の結果を比較したところ、気温が低かった年の全乾物重は高かった年に比べて高く、収量も32%高かった。

2. CO₂濃度および気温上昇が高地の作物生産に及ぼす影響の予測

ラサでは圃場にオープントップチャンバ（縦横各3m、高さ2m、以下OTC）を12基設置し、CO₂濃度の376μmol mol⁻¹区（無処理区）と560μmol mol⁻¹区（上昇処理区）を設けた。上昇処理区にはプロパンガス燃焼装置から6～18時に通気し、OTC内の日中の平均気温が1.0℃上昇した。札幌では生育環境制御室を用いて、3水準のCO₂濃度（250、380および580μmol mol⁻¹）および2水準の気温（11/19および11/21℃、最低/最高気温）条件を設定した。チベット栽培品種3u90を栽培したところ、いずれの地域においてもCO₂濃度上昇により最大Pnは増加したが、単位CO₂濃度上昇当りの最大Pnの増加程度は札幌に比べてラサの方が小さかった。これは、札幌に比べてラサの方が単位CO₂濃度上昇当りのCO₂分圧の上昇が小さいことによると推察できた。また、ラサではCO₂濃度上昇処理区と無処理区の収穫期全乾物重には処理間差は認められなかった。この要因として、ガス燃焼機を用いてCO₂濃度を上昇させたことに伴うOTC内の気温上昇が作物の呼吸速度を促進したこと、およびCO₂濃度上昇に伴う葉の老化（SPAD値の低下）促進が考えられた。一方、札幌において収穫期におけるポット当りの全乾物重は、CO₂濃度100μmol mol⁻¹の上昇当り12g（380μmol mol⁻¹における全乾物重の14%）増加し、平均気温1℃の上昇当り10g（同11%）減少した。すなわち、CO₂濃度85μmol mol⁻¹の上昇に伴うプラス効果が、平均気温1℃の上昇に伴うマイナス効果によって打ち消された。したがって、気温上昇に伴う全乾物重の減少程度が高地と低地で同じと仮定すると、ラサにおけるCO₂濃度85μmol mol⁻¹の上昇の影響は、平均気温0.7℃の上昇によって打ち消されると推定され、気温上昇に伴う作物の生育抑制程度は高地の方が低地に比べて相対的に大きいと推測した。

以上の成果は、将来の気候変動が食糧生産に及ぼす影響を地球規模で予測するために必要な知見であり、学術的・応用的の両面から高く評価できる。よって審査員一同は、藤村恵人が博士（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。