

地球温暖化に伴う食料生産変動予測

農業環境技術研究所 地球環境部 気象研究グループ長

野内 勇

1. はじめに

2004年、日本列島は将来予想される温暖化を実践するような異常気象の年であった。2月の平均気温は各地で観測史上最高を記録し、東京都心では平年を2.4℃も上回る8.5℃、最低気温が0℃未満になる冬日を記録しない冬となった。6月、7月の平均気温が東日本、西日本とも平年を大幅に上回り、7月20日に東京都心で最高気温が39.5℃、7月21日に甲府市では40.4℃となり、気温30℃以上の真夏日も東京で連続40日となり、観測史上最も暑い夏になった。これらは短期的な異常気象であるが、長期的な温暖化傾向として、地球全体の平均地表気温は、20世紀の100年間に約0.7℃上昇し、特に1970年代中頃以降の上昇が顕著で(気象庁, 2002)、地域的には、北アジアで気温の上昇が100年あたり1℃を超えている(気象庁異常気象レポート'99, 1999)。一方、「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」の第3次評価報告書(2001)によれば、1990年から2100年までの間に1.4~5.8℃の気温上昇を予測している。

このような温暖化は、食料を供給する農業にどのような影響を及ぼすのであろうか。一般に、温度上昇およびその原因である大気CO₂濃度の増加は、作物のバイオマス増大や栽培可能期間と栽培可能地域の拡大などといった好ましい影響を与える一方、高温障害、南方系害虫の北上や雑草の繁茂や土壌水分の不足など好ましくない影響がある。現実には、このような様々な個別の影響が複雑に絡み合っており、大気CO₂増加を含む温暖化による農業生産への総合的な影響評価はまだできていない。ここでは、大気CO₂増加および温暖化の作物への影響を概括し、予想される温暖化が作物生産に及ぼす影響に関する研究の現状を紹介する。

2. 大気CO₂濃度増加の影響

大気CO₂濃度の増加は、一般には光合成を促進する。しかし、その促進率には大きな種間差があり、CO₂濃度倍増によって、C₄植物では光合成の促進効果はほとんどないが、C₃植物では約30%増加する。また、高CO₂濃度下では、気孔の閉鎖がおきるためC₃およびC₄植物とも蒸散速度が低下し、作物の水利用効率(一定量のバイオマスを生産するのに費やした水の量で示す)は増加する。さらに、高CO₂濃度下では、作物の発育が促進され生育期間が短縮して、バイオマスが減少する。これらのプロセスが総合され、作物のバイオマス生産は、チャンバーのCO₂濃度倍増の群落条件下のイネで約24%(Horie, 1993)、ダイズで約43%(Allen et al., 1983)高まっている。一方、CO₂濃度倍増に対する作物の収量(バイオマス×収穫部位への分配率)反応は、光合成やバイオマスと異なり、生殖生長が他の環境要因、特に温度に強く影響されるため複雑であるが、最近の開放系大気CO₂増加(FACE)実験などの研究によると、CO₂濃度が現在より200ppmv高まると、水稻や畑作物で収量が約15%増加する(Kim et al., 2001)。

3. 温度上昇の影響

高温化は作物の生育ステージを促進させて栄養生長期を短くし、イネやコムギでは出穂時期が早まる。群落条件下の水稻収量に対するCO₂濃度倍増と温度の複合影響を調査した温度勾配チャンバー実験結果(金ら, 1996)によれば、高CO₂濃度の水稻収量に対する影響は開花期の最高気温に強く左右され、通常の開花気温のもとではCO₂濃度倍増により約30%の増収が認められるが、気温の上昇とともにその効果は減少し、開花期平均の最高気温が36℃以上になると逆に減少する。温度の上昇とともに収量が低下するのは生育期間が短縮することに加え、高温不稔が発生することに起因する。さらに、重要なことは、高温不稔は高CO₂濃度下でより低い(1~2℃)開花期温度で発生する(金ら, 1996)。

4. 温暖化が地域の作物生産に及ぼす影響

予想される温暖化による農業生産への地域的な影響はどうなるであろうか。この答えを得るためには、作物生長モデルを用いたシミュレーションによる予測が行われている。すなわち、将来の温室効果ガス排出シナリオを大気大循環モデル(GCM)に組み込んで得られる将来の気候変化(温度、降水量、日射量など)のパラメータを、生理生態メカニズムを考慮した作物の生長モデルに与えて、作物の生長経過と収穫時の収量をシミュレートする。なお、GCMの予測値(空間スケールで400~500km、時間スケールで年単位)は時空間分解能が大きすぎるため、統計的な手法を用いてスケールダウン(空間スケールで約10km、時間スケールで約1ヶ月)した局地気候変化シナリオを用いる(Yokozawa et al., 2003)。

IPCC第3次評価報告書(2001)は、数度の温暖化が起こった場合、地域によってばらつきはあるものの、温帯における作物の生産量が全体的に増加するが、地域によっては土壌水分不足のために減収の可能性がある。また、熱帯では温暖化がごくわずかであっても高温障害により生産量は減少すると予測している。一方、温暖化により、農耕地の北への移動が考えられる。岡本ら(1997)は、CO₂倍増時の2060年代には、主要穀類の栽培適地面積は現在の514Mhaから279Mhaと減少するが、栽培可能面積は地球全体で4%増加し、栽培可能地帯全体で栽培したとすると、生産可能量は現在の4.17Gtから5.35Gtになると予測している。アジアの主要穀物であるイネでは、21世紀後半に予測される気候は日本の関東以北や中国東北部および赤道直下のインドネシアなどの収量の増加とその年次変動の減少をもたらすが、西南日本や東南アジア内陸部の収量減と不安定化をもたらすと予測されている(Horie et al., 1997)。さらに、林ら(2001)は、わが国の水稻生産予測として、気温と日射量のみで求まる気候登熟量示数(水稻の潜在収量を示す指標)を用いて、温暖化により移植可能日の早まる効果、生育期間が短縮する効果を考慮し、収量を高位に保つ条件で最適出穂期の分布を推定し、最適な栽培期間を選択した場合でも、全国平均で収量は約10%減少することを報告している。

作物生産量予測は、CO₂濃度と気候以外の要因は現在の栽培管理法を前提に行われている。雑草・病害虫の種類や発生動態の変化、土壌有機物の分解の変化、土壌侵食の変化など、さらには、温暖化に対する農業の適応技術(新品種、播種時期の変更、肥培管理法の変更など)の導入などもあり、これらの要因を含めた総合的な影響予測が今後の重要課題である。