

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 12 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25450020

研究課題名(和文) 貿易協定の変化に迅速に対応できる小麦生産システム確立のための作物生育モデリング

研究課題名(英文) Modeling for establishing wheat producing system to quickly adapt to the commodity treaty changes

研究代表者

岡田 謙介 (OKADA, Kensuke)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：80391431

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：我が国の小麦自給率は10%程度であり、今後、輸入元との自由貿易協定の変化に迅速に対応できる生産システムを予め準備しておくことが重要である。そこで最適作物生産システム構築のため、これまで日本であまり取り組まれてこなかった作物モデルの小麦生産への利用法を確立し適用することを目的とした。

東京都西東京市において窒素施肥パターンや播種期を変えた圃場試験を5シーズン行って作物モデルAPSIMのパラメータ改変と妥当性検証を行い実用精度を確認した。その後、関東地域および北海道において多種の窒素施肥のシナリオ分析を行い、とくに関東において現在の推奨より高いレベルで収量、収益性が上がる可能性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The self-sufficiency of wheat in Japan is ca. 10%, and it is imperative to prepare the optimized production system which can quickly adapt to any changes of the free-trade treaties with the countries from which wheat is imported. Therefore, to develop the optimized wheat production system, we aimed at applying crop growth model for wheat production system which has not been tried in Japan so far.

A series of field experiments with different nitrogen application patterns and sowing dates were tried for five seasons at Nishitokyo City in Tokyo. And the parameter improvement (calibration) and validation of the APSIM crop model were conducted and the practical level of precision was confirmed. Then scenario analysis of a number of nitrogen application schemes were conducted in Kanto area and Hokkaido. As a result, the possibility of attaining higher yield and profitability under the higher nitrogen application levels than the current recommendation was demonstrated.

研究分野：作物学

キーワード：作物モデル APSIM 意思決定支援システム 小麦 子実タンパク質含量

1. 研究開始当初の背景

小麦は日本人のエネルギー摂取量の14%を占める重要な食物であり、米からの転作作物としても大豆と共に最重要作物である。国内における小麦生産は、小麦自体の安定供給のみならず、米価の安定に対しても貢献している。

しかしながら我が国は小麦需要の約90%を輸入に依存している。そこで小麦輸入元であるアメリカ、カナダ、オーストラリアとの自由貿易協定の締結をにらみ、様々な国際条約の締結や市場環境の変化にも迅速に対応できる生産システムを予め準備しておくことが重要であると考えられる。しかしながら、本邦では、作物モデルの研究が普及していないために、最適作物生産システムについての十分な研究の取り組みがなされていない。

2. 研究の目的

本研究では対象を食用小麦に絞り、北関東・南関東における様々な土壌・気象条件・施肥パターンの下で軟質小麦・硬質小麦双方の品種を栽培した場合の収量および品質が予測できるモデリングの枠組みを設計した上で、将来起こり得る様々な貿易パターンそれぞれの場合において、農家にとって最適な品種と栽培方法を導出する。

3. 研究の方法

(1) 圃場試験

2013年から2017年にわたり、東京都西東京市にある東京大学附属生態調和農学機構の畑圃場においてさまざまな窒素施肥条件のもとで小麦の収量、品質、生育等のデータを得た。まず2010-12年の2シーズンに2品種を用いて播種時期と開花期窒素施用量を変えて、それらが収量、子実重タンパク質含量他に与える影響について検討した。続いて2012-13年にさらに東北、西日本の品種も含めた4品種を用いて窒素施用量と播種時期を変えた試験を実施した。また2014-16年の2シーズンには、播種時期を変えた処理において、出芽率等の詳細な調査を行い、播種遅延の場合の低温での出芽経過が植物体個体数に及ぼす影響について検討した。

(2) モデルのパラメータ修正 (calibration)

本研究で用いた APSIM 作物生育モデルは世界で広く用いられているが国内での使用例はほとんどない。そこで2012-13年の圃場試験の結果を用い、国内品種(あやひかり、ユメシホウ)の植物体パラメータと、火山灰土壌の炭素窒素画分のパラメータについて調整を行った。

(3) APSIM モデルの適合性検定 (validation)

続いて2014~2016年の2シーズンの収量、

子実重タンパク質含量等について実測値をシミュレーション結果と比較し、モデルの妥当性を検証した。

(4) モデルの改良 (低温期播種の影響)

上記の検討の結果、播種時期が遅れた場合の低温下での出芽率低下のシミュレーション結果において現行のモデルが対応しておらず、生育を過大見積もりすることが明らかになった。そこで2014-16年の圃場試験の出芽数の詳細な調査の結果に基づいて、モデルに出芽までの所要日数と出芽率の関係を新たに導入して、モデルを改良した。

(5) モデルを用いたシナリオ分析 (関東)

上記のキャリブレーション済みのモデルを用いて、「あやひかり」と「ユメシホウ」の播種期、茎立期、開花期のそれぞれにおける窒素施肥量を0, 40, 80, 120kg/haにしたすべての組合せについて、東京の過去55年間(1961~2016年)の気象データを用いてシミュレーションを行い、その収量と子実重タンパク質含有量から収益性を計算して最適な施肥設計について検討した。

(6) モデルを用いたシナリオ分析 (北海道)

上記と同様のシナリオ分析を、北海道でもっとも広く栽培されている麺用、パン用の「きたほなみ」と「ゆめちから」について、北見と札幌の気象・土壌データを用い、キャリブレーションとバリデーションを行ったのち、過去55年のデータについてシミュレーション分析を行った。

4. 研究成果

(1) 開花期窒素施肥と子実タンパク質含量

これまで開花期の窒素施肥が小麦の子実重タンパク質含量に影響を与えるという報告はあった。しかし同時に播種日も収量を通じてタンパク質含量に影響を与える。そこで両者の相互作用を検討した。その結果、開花期の窒素追肥が効果を表すのは主に最適播種の場合のみであり、関東地域でしばしば見られるように秋雨などで播種が遅れた場合には効果が限定的であることが明らかとなった。

(2) モデルのパラメータ導出

このように小麦の収量と子実品質の両方に、施肥法のみならず、播種時期、また天候など多くの要素が影響を与えることが明らかになったため、オーストラリアで小麦について開発された APSIM 作物モデルを用いて様々な条件をシミュレーションすることとした。本モデルは日本の小麦品種について、また窒素供給力が高い火山灰土壌において適用されたことがなく、本研究は初の試みである。その結果、2012-13年の試験に基づいて修正した以下の品種ごとのパラメータを得た。

パラメータ	デフォルト	あやひかり	ユメシホウ
dLAI 最大比葉面積(1/1000)	27~22	20~14	22~16
茎 1g あたり種子数	25	61	57
最大子実重サイズ	0.041	0.035	0.032
潜在子実重充実速度	0.002	0.0025	0.0022

(3) APSIM モデルの適合性検定 (validation)

次に、2014~2016 年のデータを用いて、パラメータを修正したモデルの妥当性検定 (バリデーション) を行った。その結果、適期に播種した場合は、子実収量、タンパク質含量ともに相対 RMSE が 15%以下となり、実用に供することができることが明らかとなった。

	RMSE ¹	RRMSE ²	ME ³	m ⁴
あやひかり				
子実収量(g m ⁻²)	23	7.2	0.97	0.96
タンパク質含量(%)	1.0	15.8	-1.1	1.13
ユメシホウ				
子実収量(g m ⁻²)	48	15.7	0.88	0.88
タンパク質含量(%)	1.4	10.5	-0.3	0.95

¹ 平均二乗誤差 Root mean square error

² 相対平均二乗誤差 Relative root mean square error

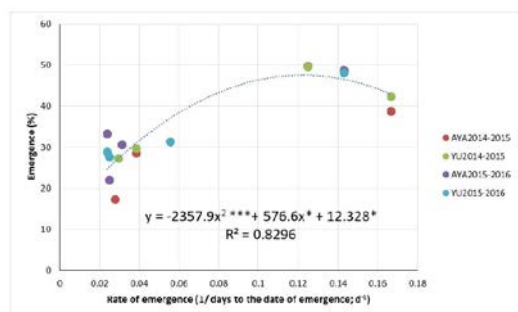
³ Modelling efficiency (Mahanty et al. 2012)

⁴ Slope (m) on a best-fit regression line forced through the origin

しかしながら適期播種の場合だけでなく晩期播種の場合を含めると、モデル適合性が著しく低下し、その点の改良が必要であることが明らかとなった。

(4) モデルの改良 (低温期播種の影響)

2014~2016 年に 2 シーズンの圃場試験を行い、10 月下旬から 12 月下旬におよぶ広い播種期について収量とその構成要素を解明するとともに、出芽率を継続的に測定した。その結果、晩期播種の収量低減が、低温下での出芽速度が低下することによって、最終的な出芽率が低下することにあることが明らかとなり、後者が前者の二次式で表すことができた。



Relationship between maximum emergence percentage and rate of emergence (1/ number of days to the date of emergence). ***,*: significant at P<0.001, P<0.05

しかしながら APSIM では出芽数が低温によって影響される設定になっていない。そこで APSIM において、出芽時に所要日数から出芽率を計算し、APSIM の "kill" コマンドを用いて個体密度を調節するようにした。その結果、晩期播種の場合にも、収量、地上部全乾

物重 (開花期、収穫期)、葉面積等のシミュレーション結果が、観察結果に合うようになった。またそれによって、晩播の場合も含めたモデルの妥当性も向上した。

(5) モデルを用いたシナリオ分析 (関東)

次に、パラメータ調整されたモデルを用いて関東地域の代表的なめん用品種である「あやひかり」とパン用品種の「ユメシホウ」について、播種時、茎伸長期、開花期における窒素施用量を変えてシミュレーションを行った。その結果、播種期-茎立期-開花期の窒素施肥量が、「あやひかり」と「ユメシホウ」それぞれ 120-120-40、120-80-80(kg/ha)で生産者は最大の利益を上げることが推測され、それぞれ現行より 85%、146%高い収益性を上げることが分かった。これらはいずれも現行の 80-20-0 と比較するとかなり高い施用量であった。しかし日本に比べ収量が高い欧州等の小麦生産地域ではこれらの窒素施用量を用いており、今後、日本でもこれらの高い施肥量を用いることにより収量と収益性の大幅向上を達成できる可能性があることが分かった。

(6) モデルを用いたシナリオ分析 (北海道)

北海道は日本最大の小麦生産地域である。そこで北海道の代表的な 2 品種「きたほなみ」(麺用)、「ゆめちから」(パン用)についてパラメータ修正と妥当性検証を行った。その結果、これらについても APSIM モデルが適用できることが確認された。そこで関東の場合と同様のシナリオ分析を行って、収益性ももっとも高い窒素施肥について求めたところ、それぞれ 120-40-0、120-120-40kg/ha (播種期-茎立期-開花期) と、関東同様にかかなり高い施用水準であった。一方北海道での対応する推奨施肥量は 40-100-40、40-90-60 であった。これらは関東地域よりは高く、モデルによる結果と近い施用量である。しかしながら推奨施肥量は基肥の割合が低く、それは積雪と初春の融雪が基肥窒素の大部分を下方浸透によって損失させることに基づいている。APSIM ではこれらの要因が考慮されておらず、必要なモデル改良点が明らかとなった。

以上これらの研究によって、APSIM が実用程度に圃場試験の結果と整合性があり、またモデル用いた窒素施用推奨量の結果にも、欧州と比較して妥当性があることが分かった。これらは、モデルを用いることにより様々なシナリオのテストが可能であること、それにより圃場試験では想定できないような新しい窒素施肥管理法の可能性を明らかにできることを示している。今後さらにモデルで得られた推奨施肥法の現場での検証と、他の土壌・気象条件への適用が必要である。またとくに積雪地帯ではモデル自体にもさらなる改良が求められることも明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

①De Silva S.H.N.P., Takahashi T., Okada K.
2018. Controlling yield and grain protein content of wheat in Japan through pre-anthesis nitrogen application to maximize producers' profit. JARQ 52 (3) 205-217.

[学会発表] (計 5 件)

①De Silva, S.H.N.P., Takahashi T., Okada, K.
Preliminary evaluation of optimum N management for soft and hard wheat in Kanto area through crop growth simulation. 日本作物学会第 243 回講演会、2017 年 3 月 29 日、東京大学 (東京都・文京区)

②De Silva, S.H.N.P., Takahashi T., Okada, K.
Effect of flowering time nitrogen application on grain yield and grain protein content: a comparative study between hard wheat and soft wheat in Kanto area. 日本作物学会第 240 回講演会、2015 年 9 月 5 日、信州大学 (長野県・長野市)

③De Silva, S.H.N.P., Takahashi T., Okada, K.
Validation of the APSIM crop growth model for Japanese wheat varieties across N application rates. 日本作物学会第 239 回講演会、2015 年 3 月 28 日、日本大学 (神奈川県・藤沢市)

④De Silva, S.H.N.P., Takahashi T., Okada, K.
Parameterization of the APSIM crop growth model for Japanese wheat varieties across sowing times and N application rates. 日本作物学会第 238 回講演会、2014 年 9 月 9 日、愛媛大学 (愛媛県・松山市)

⑤De Silva, S.H.N.P., Takahashi T., Okada, K.
Decision support system for nitrogen fertilization in wheat using crop growth model (APSIM): Model parameterization and validation. 農業情報学会 2014 年次大会、2014 年 5 月 14 日、東京大学 (東京・文京区)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 謙介 (OKADA, Kensuke)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授

研究者番号：80391431

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

高橋 太郎 (TAKAHASHI, Taro)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・特任
研究員

研究者番号：20540876