

飼料作物の選定と栽培技術の確立—トウモロコシ二期作栽培技術の確立—

九石寛之¹⁾、増山秀人²⁾、佐田竜一

1)現 那須農業振興事務所 2)現 農業大学校

要 約

飼料用トウモロコシ二期作を想定し、一期作でKD500、二期作で3470と30D44の作期移動試験を行い、2次元ノンパラメトリックDVR法で生育進度を算出し、実到達日と差の平均を比較したところ、±3日以内となった。また、可能地域判定を行ったところ、現状の気象では二期作はほとんど困難であるが、日平均気温が1℃上昇した場合は、県南の一部で可能になる。

目 的

近年、原油価格の高騰、バイオエタノールや食糧確保のため穀物価格の高騰等により、飼料価格が高騰している。このため、自給飼料の生産拡大による飼料の自給率向上が大きな課題となっている。県内では、土地生産性に優れた飼料作物作付体系として主にトウモロコシ—イタリアンライグラスの一年二毛作が主流であるが、現在の二毛作よりもさらに多収となる作付体系が求められている。また、温暖化による環境変化に対応した作付体系として、トウモロコシ二期作が注目されている。今後、温暖化が進行した場合、現在のイタリアンライグラスの栽培期間の短縮、収量は横ばいになると考えられ、新たな作付体系を検討する必要性があった。

トウモロコシ二期作は、九州での作付体系と考えられてきたが、近年では岡山県、静岡県、神奈川県、そして本県でも一部の地域で行われてきており、将来的には本県でも作付体系の一つとして位置づけられていくと考えられる。

そのため、本県でのトウモロコシ二期作における最適な品種の組み合わせ、収量性を明らかにするとともに、生育予測モデルを二期作用に改良し、本県におけるトウモロコシ二期作の有用性を検討した。

なお、本試験は独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所、同機構九州沖縄農業研究センター、神奈川県農業技術センター畜産技術所、鹿児島県農業開発総合センター畜産試験場との共同研究の一部について記載している。

材料及び方法

1 飼料用トウモロコシの作期移動試験

栽培試験は、栃木県那須塩原市の場内ほ場（表層腐植質黒ボク土）で2009年から2011年まで実施した。

一期作に用いた飼料用トウモロコシの品種は、38H20

(RM95)、KD500 (RM100)、LG3457 (RM100) の3品種を用いて、2010～2011年にかけて、4月8日、4月23日、5月8日を基準日とし3回播種を行った。他の試験地との整合性をとるため、KD500を共通品種とした。

二期作に用いた飼料用トウモロコシの品種は、KD640 (RM114)、31P41 (RM120)、3470 (RM127)、30D44 (RM135) の4品種で、2009年は8月3日、12日、17日に3回播種を行った。2010～2011年にかけては、7月1日、7月15日、7月30日を基準日とし3回播種を行った。他の試験地との整合性をとるため、3470と30D44を共通品種とした。

一期作と二期作の栽植密度は10aあたり6,667本（畝間75cm×株間20cm）で、各播種期1品種2区設定し、播種後の出芽、出穂、絹糸抽出期、黄熟期等の生育ステージの経過を確認した。施肥は高度化成（オール14）を10aあたりN-P₂O₅-K₂O:10-10-10kgになるように播種前に散布した。また、トウモロコシ4～5葉期に、高度化成（オール14）を10aあたりN-P₂O₅-K₂O:10-10-10kgになるように追肥を行った。黄熟期に達した時点で収量調査を行った。黄熟期まで達しなかったものについては、生育及び登熟が止まった時点で収量調査を行った。

2 ノンパラメトリックDVR法による生育予測手法

得られた共通品種（一期作KD500、二期作3470、二期作30D44）の生育データをもとに、日平均気温と天文日長による二次元ノンパラメトリックDVR法で生育進度を算出した。併せて、畜産草地研究所現地試験ほ場（栃木県小山市）と神奈川県農業技術センター畜産技術所（神奈川県海老名市）のデータも活用した。計算には「対話型ノンパラメトリックDVR法プログラム」（P第7672号-1）を用いた。そのデータを元に生育予測を行い、実際の生育ステージとの差を確認した。

結 果

1 気象の概要

(1) 2009年の気象

4月は、上中旬で気温は高く、下旬で低くなった。月の後半は大雨の日があり、降水量は多くなった。また日照時間は上中旬に晴れの日が多かったため、平年よりも多くなった。5～7月にかけて気温は高く推移し、降水量も少なくなったが、7月は上・下旬で前線の停滞により降水量が多くなった。8月は、太平洋高気圧の張り出しが弱く、気温は低くなった。台風9号では大雨、11号の影響で強風が吹いた。9月は秋雨前線の活動が弱かったため、晴れて日照時間は多くなり、降水量は記録的に少なかった。10月には台風18号の影響で大雨と強風があった。降水量は多くなった。11月は気温は高かったものの、上旬と下旬で寒気の影響で低くなるなど、寒暖の差が激しくなった。低気圧や前線の影響で降水量は多くなり、日照時間は少なくなった。12月も気温の変動が大きかったが、全般的に高く推移した。

(2) 2010年の気象

4月は低気圧や前線の通過により、気温は低く、降水量は多くなった。5月は気温は高くなったが、低気圧や前線の通過に伴い、降水量は多くなった。6月は上旬に高気圧に覆われ晴れの日が多くなった。中旬以降は梅雨前線の停滞があり、降水量は平年並であった。月を通して気温はかなり高く、日照時間も多くなった。7月は梅雨前線の停滞があったが、梅雨明け後は高気圧に覆われ、晴れの日が多くなった。気温はかなり高く、降水量、日照時間も多くなった。8月は高気圧に覆われて晴れの暑い日が続いた。気温はかなり高く、降水量は少なく、日照時間は平年並であった。9月は高気圧に覆われて晴れの暑い日が続いた。また、台風9、12号が本州付近を通過した。気温はかなり高く、降水量は平年並、日照時間は多くなった。10月も高気圧に覆われて晴れの暑い日が続いた。後半は低気圧や前線の影響で曇りや雨の日が多くなった。台風14号が関東の東海上を通過し、まとまった雨となった。気温はかなり高く、降水量は多く、日照時間はかなり少なくなった。11月は天気の周期的な変化があった。気温は高く、降水量は平年並、日照時間は多くなった。12月は短い周期で低気圧が通過し、天気も周期的に変わった。気温はかなり高く、降水量もかなり多く、日照時間は平年並であった。

(3) 2011年の気象

4月から5月にかけて気温は平年並であったが、5月は降水量が多く、日照時間は少なくなった。6月は

気温は高くなったが、梅雨前線や寒気の影響で中旬までは平年並か低く、高気圧が張り出した下旬はかなり高くなった。降水量は平年並であった。7月は梅雨明け後高気圧に覆われて晴れの日が多くなった。中旬に台風6号が接近し、通過後も湿った空気の影響で雨が多かった。気温は高く、降水量はかなり多く、日照時間も多くなった。8月は高気圧の勢力が弱く、前線の停滞もあった。また下旬には、台風12号による降雨もあった。気温、降水量ともに平年並で日照時間は多くなった。9月は上旬は前線の影響で曇りや雨の日が多くなったが、中旬以降は高気圧に覆われて晴れの日が多くなった。また、台風15号の影響で降雨が多くなった。気温はかなり高く、降水量は多く、日照時間はかなり多くなった。10月は天気が周期的に変化した。気温は高く、降水量は平年並、日照時間は少なくなった。11月も天気は周期的に変化した。前半は暖気、後半は寒気が流れ込んだため、気温の変動は大きくなった。降水量は多く、日照時間は平年並であった。12月は気温は低く、降水量、日照時間は平年並であった。

なお、気象ではないが、自然災害として3月11日に東日本大震災が発生し、その後も余震が続いたが、本試験を実施するに当たり影響は見られなかった。

2 飼料用トウモロコシの作期移動試験

(1) 一作目トウモロコシ作期移動試験

2カ年において、冷夏や洪水等の生育を大きく左右する気象変動はみられなかった。発芽期は2010年よりも2011年が早くなった。絹糸抽出期では年次間において大きな差はみられなかったものの、5/8基準の播種期で気象の影響から5日程度早くなった。2011年では、2010年より播種から黄熟期まで、播種が遅くなるほど生育期間は短くなった。登熟日数では、年次間の差はみられたものの品種間の差は少なかった。(表1)

収量調査結果では、品種間差はあるものの、播種が遅くなるほど稈長は高く、着雌穂高は高く、稈径は太くなる傾向がみられた。乾物収量については、2010年では播種が遅いほど多くなったが、2011年は播種が早いほど多くなった。折損・倒伏や病害虫はその栽培期間の気象に左右されるので、特に傾向はみられなかった。(表2)

(2) 二作目トウモロコシ作期移動試験

2009年に実施した試験では、8/12と8/17播種で絹糸抽出期まで生育ステージが達しなかったため、2010年以降は播種を早めて生育データを確実に収集することとした。発芽期における品種間差はほとんど見られ

なかったが、雄穂開花期、絹糸抽出期、黄熟期の到達は品種の早晩生順になった。播種から絹糸抽出期、播種から黄熟期までの生育期間は、平均気温がだんだん下がっていくため、播種が遅くなるほど長くなる傾向がみられた。(表3)

収量調査結果では、品種間差はあるものの、播種が遅くなるほど稈長と着雌穂高は低く、稈径は細くなる傾向がみられた。ただし、生育期間において、2011年の7/1播種のように台風や大雨の影響を受けた場合は、この傾向から外れた。乾物収量については、2009年

は播種が早いほど多くなったが、2010年は特に傾向はみられなかった。2011年は2グループに分けられ、早生グループ(KD640、31P41)は7/14が最大となったが、晩生グループ(3470、30D44)では播種が早いほど多くなった。同じ播種日の中で、早生グループでは31P41が、晩生グループでは30D44が収量が高かった。折損・倒伏や病害虫はその栽培期間の気象に左右されるので、特に傾向はみられなかったが、すす紋病の発病程度は、播種時期や品種間を問わず高かった。(表4)

表1 一作目トウモロコシ生育ステージ結果 (2010~2011年)

| 試験年 | 播種日 | 品種名 | RM | 発芽期 | 雄穂開花期 | 絹糸抽出期 | 黄熟期 | 播種～黄熟日 | 播種～絹糸抽出日 | 絹糸抽出～黄熟日 |
|------|-------|--------|-----|-------|-------|-------|-------|--------|----------|----------|
| 2010 | 4月8日 | 38H20 | 95 | 5月3日 | 7月8日 | 7月9日 | 8月20日 | 134 | 92 | 42 |
| | | KD500 | 100 | 5月3日 | 7月9日 | 7月10日 | 8月20日 | 134 | 93 | 41 |
| | | LG3457 | 100 | 5月4日 | 7月7日 | 7月8日 | 8月18日 | 132 | 91 | 41 |
| | 4月26日 | 38H20 | 95 | 5月9日 | 7月10日 | 7月11日 | 8月20日 | 116 | 76 | 40 |
| | | KD500 | 100 | 5月7日 | 7月10日 | 7月11日 | 8月20日 | 116 | 76 | 40 |
| | | LG3457 | 100 | 5月8日 | 7月13日 | 7月15日 | 8月22日 | 118 | 80 | 38 |
| | 5月7日 | 38H20 | 95 | 5月21日 | 7月15日 | 7月16日 | 8月24日 | 109 | 70 | 39 |
| | | KD500 | 100 | 5月19日 | 7月15日 | 7月16日 | 8月24日 | 109 | 70 | 39 |
| | | LG3457 | 100 | 5月19日 | 7月17日 | 7月18日 | 8月26日 | 111 | 72 | 39 |
| 2011 | 4月8日 | 38H20 | 95 | 4月25日 | 7月8日 | 7月8日 | 8月16日 | 130 | 91 | 39 |
| | | KD500 | 100 | 4月28日 | 7月9日 | 7月9日 | 8月16日 | 130 | 92 | 38 |
| | | LG3457 | 100 | 4月29日 | 7月10日 | 7月10日 | 8月16日 | 130 | 93 | 37 |
| | 4月22日 | 38H20 | 95 | 5月8日 | 7月9日 | 7月9日 | 8月16日 | 116 | 78 | 38 |
| | | KD500 | 100 | 5月10日 | 7月10日 | 7月10日 | 8月16日 | 116 | 79 | 37 |
| | | LG3457 | 100 | 5月9日 | 7月13日 | 7月13日 | 8月18日 | 118 | 82 | 36 |
| | 5月6日 | 38H20 | 95 | 5月15日 | 7月12日 | 7月11日 | 8月18日 | 104 | 66 | 38 |
| | | KD500 | 100 | 5月16日 | 7月12日 | 7月11日 | 8月18日 | 104 | 66 | 38 |
| | | LG3457 | 100 | 5月16日 | 7月13日 | 7月13日 | 8月20日 | 106 | 68 | 38 |

表2 一作目トウモロコシ収量調査結果 (2010~2011年)

| 試験年 | 播種日 | 品種名 | RM | 稈長 cm | 着雌穂高 cm | 稈径 mm | 乾物収量 kg/10a | 乾物率 % | 折損 % | 倒伏 % | ごま葉枯 無0~甚9 | すす紋 無0~甚9 | 虫害 % |
|------|-------|--------|-----|----------|------------|----------|----------------|----------|---------|---------|---------------|--------------|---------|
| 2010 | 4月8日 | 38H20 | 95 | 258 | 115 | 18.9 | 1,401 | 34.1 | 13.3 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 6.7 |
| | | KD500 | 100 | 255 | 104 | 19.7 | 1,265 | 33.2 | 30.0 | 0.0 | 3.0 | 0.0 | 0.0 |
| | | LG3457 | 100 | 241 | 108 | 19.8 | 1,407 | 35.8 | 20.0 | 0.0 | 3.0 | 1.0 | 10.0 |
| | 4月26日 | 38H20 | 95 | 244 | 117 | 18.7 | 1,162 | 36.5 | 30.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 10.0 |
| | | KD500 | 100 | 251 | 123 | 20.6 | 1,510 | 34.6 | 13.3 | 0.0 | 4.0 | 0.0 | 3.3 |
| | | LG3457 | 100 | 284 | 121 | 21.8 | 1,528 | 30.9 | 6.7 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 5月7日 | 38H20 | 95 | 255 | 114 | 20.9 | 1,299 | 37.7 | 26.7 | 33.3 | 5.0 | 0.0 | 6.7 |
| | | KD500 | 100 | 254 | 113 | 21.7 | 1,523 | 35.2 | 23.3 | 0.3 | 4.0 | 0.0 | 13.3 |
| | | LG3457 | 100 | 283 | 117 | 21.7 | 1,798 | 33.6 | 10.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 |
| 2011 | 4月8日 | 38H20 | 95 | 246 | 117 | 21.0 | 1,560 | 37.1 | 46.6 | 0.0 | 0.5 | 3.0 | 0.0 |
| | | KD500 | 100 | 247 | 119 | 22.1 | 1,606 | 33.8 | 43.3 | 0.0 | 0.5 | 3.0 | 0.0 |
| | | LG3457 | 100 | 276 | 114 | 21.0 | 1,766 | 30.6 | 13.3 | 0.0 | 1.0 | 1.0 | 0.0 |
| | 4月22日 | 38H20 | 95 | 252 | 118 | 21.4 | 1,385 | 31.1 | 56.6 | 0.0 | 0.5 | 2.0 | 0.0 |
| | | KD500 | 100 | 247 | 128 | 24.3 | 1,461 | 28.9 | 26.6 | 0.0 | 2.0 | 1.0 | 0.0 |
| | | LG3457 | 100 | 280 | 125 | 22.2 | 1,412 | 25.6 | 50.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 5月6日 | 38H20 | 95 | 260 | 120 | 21.6 | 1,368 | 35.8 | 43.3 | 0.0 | 2.5 | 5.0 | 0.0 |
| | | KD500 | 100 | 249 | 128 | 24.5 | 1,447 | 31.4 | 26.6 | 0.0 | 2.0 | 3.0 | 0.0 |
| | | LG3457 | 100 | 287 | 129 | 24.1 | 1,795 | 29.9 | 23.3 | 0.0 | 2.5 | 5.0 | 0.0 |

表3 二作目トウモロコシ生育ステージ結果 (2009~2011年)

| 試験年 | 播種日 | 品種名 | RM | 発芽期 | 雄穂 開花期 | 絹糸 抽出期 | 黄熟期 | 播種 ~黄熟 日 | 播種~ 絹糸抽出 日 | 絹糸抽出 ~黄熟 日 |
|------|-------|-------|-----|-------|-----------|-----------|--------|----------------|------------------|------------------|
| 2009 | 8月3日 | KD640 | 115 | 8月8日 | 10月2日 | 10月4日 | 未達(乳) | - | 62 | - |
| | | 31P41 | 120 | 8月8日 | 10月10日 | 10月12日 | 未達(未乳) | - | 70 | - |
| | | 3470 | 127 | 8月8日 | 10月13日 | 10月14日 | 未達(未乳) | - | 72 | - |
| | | 30D44 | 135 | 8月8日 | 10月19日 | 10月20日 | 未達(未乳) | - | 78 | - |
| | 8月12日 | KD640 | 115 | 8月16日 | 10月29日 | 未達 | 未達(生) | - | - | - |
| | | 31P41 | 120 | 8月16日 | 11月2日 | 未達 | 未達(生) | - | - | - |
| | | 3470 | 127 | 8月16日 | 11月5日 | 未達 | 未達(生) | - | - | - |
| | | 30D44 | 135 | 8月16日 | 11月12日 | 未達 | 未達(生) | - | - | - |
| | 8月17日 | KD640 | 115 | 8月21日 | 未達 | 未達 | 未達(生) | - | - | - |
| | | 31P41 | 120 | 8月21日 | 未達 | 未達 | 未達(生) | - | - | - |
| | | 3470 | 127 | 8月21日 | 未達 | 未達 | 未達(生) | - | - | - |
| | | 30D44 | 135 | 8月22日 | 未達 | 未達 | 未達(生) | - | - | - |
| 2010 | 7月5日 | KD640 | 115 | 7月9日 | 8月15日 | 8月16日 | 10月1日 | 88 | 42 | 46 |
| | | 31P41 | 120 | 7月8日 | 8月20日 | 8月21日 | 10月8日 | 95 | 47 | 48 |
| | | 3470 | 127 | 7月9日 | 8月27日 | 8月28日 | 10月15日 | 102 | 54 | 48 |
| | | 30D44 | 135 | 7月9日 | 8月30日 | 9月2日 | 10月20日 | 107 | 59 | 48 |
| | 7月16日 | KD640 | 115 | 7月20日 | 8月30日 | 9月2日 | 10月18日 | 94 | 48 | 46 |
| | | 31P41 | 120 | 7月20日 | 9月2日 | 9月4日 | 10月25日 | 101 | 50 | 51 |
| | | 3470 | 127 | 7月20日 | 9月5日 | 9月6日 | 10月28日 | 104 | 52 | 52 |
| | | 30D44 | 135 | 7月20日 | 9月7日 | 9月8日 | 10月31日 | 107 | 54 | 53 |
| | 7月29日 | KD640 | 115 | 8月1日 | 9月14日 | 9月15日 | 未達(糊) | - | 45 | - |
| | | 31P41 | 120 | 8月1日 | 9月17日 | 9月18日 | 未達(糊) | - | 51 | - |
| | | 3470 | 127 | 8月1日 | 9月19日 | 9月20日 | 未達(糊) | - | 53 | - |
| | | 30D44 | 135 | 8月1日 | 9月23日 | 9月24日 | 未達(乳) | - | 57 | - |
| 2011 | 7月1日 | KD640 | 115 | 7月5日 | 8月24日 | 8月25日 | 10月25日 | 116 | 55 | 61 |
| | | 31P41 | 120 | 7月5日 | 8月26日 | 8月27日 | 10月26日 | 117 | 57 | 60 |
| | | 3470 | 127 | 7月5日 | 8月30日 | 8月30日 | 10月27日 | 118 | 60 | 58 |
| | | 30D44 | 135 | 7月5日 | 9月2日 | 9月2日 | 10月29日 | 120 | 63 | 57 |
| | 7月14日 | KD640 | 115 | 7月18日 | 9月10日 | 9月9日 | 11月21日 | 130 | 57 | 73 |
| | | 31P41 | 120 | 7月18日 | 9月11日 | 9月10日 | 11月21日 | 130 | 58 | 72 |
| | | 3470 | 127 | 7月18日 | 9月12日 | 9月11日 | 未達(糊) | - | 59 | - |
| | | 30D44 | 135 | 7月18日 | 9月12日 | 9月12日 | 未達(糊) | - | 60 | - |
| | 8月2日 | KD640 | 115 | 8月6日 | 9月22日 | 9月24日 | 未達(乳) | - | 53 | - |
| | | 31P41 | 120 | 8月6日 | 9月27日 | 9月28日 | 未達(乳) | - | 57 | - |
| | | 3470 | 127 | 8月6日 | 9月29日 | 9月30日 | 未達(乳) | - | 59 | - |
| | | 30D44 | 135 | 8月6日 | 10月3日 | 10月5日 | 未達(乳) | - | 64 | - |

*黄熟期の未達(生)は生育期、未達(乳)は乳熟期、未達(糊)は糊熟期を表す。

表4 二作目トウモロコシ収量調査結果 (2009~2011年)

| 試験年 | 播種日 | 品種名 | RM | 稈長 cm | 着雌穂高 cm | 稈径 mm | 乾物収量 kg/10a | 乾物率 % | 折損 % | 倒伏 % | ごま葉枯 無0~基9 | すす紋 無0~基9 | 虫害 % |
|-------|-------|-------|-----|----------|------------|----------|----------------|----------|---------|---------|---------------|--------------|---------|
| 2009 | 8月3日 | KD640 | 115 | 220 | 85 | 18.3 | 537 | 23.0 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 31P41 | 120 | 209 | 108 | 20.8 | 620 | 22.3 | 0.0 | 22.3 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 3470 | 127 | 190 | 104 | 20.9 | 618 | 20.2 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 30D44 | 135 | 198 | 119 | 22.6 | 788 | 21.4 | 0.0 | 44.4 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | 8月12日 | KD640 | 115 | 146 | - | 16.3 | 270 | 19.7 | 3.3 | 44.4 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 31P41 | 120 | 154 | - | 19.3 | 327 | 18.0 | 0.0 | 66.7 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 3470 | 127 | 148 | - | 19.4 | 394 | 18.4 | 6.7 | 22.3 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 30D44 | 135 | 157 | - | 22.0 | 458 | 16.6 | 3.3 | 44.4 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | 8月17日 | KD640 | 115 | 153 | - | 16.3 | 208 | 16.9 | 0.0 | 22.3 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 31P41 | 120 | 146 | - | 18.0 | 216 | 15.6 | 0.0 | 22.3 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 3470 | 127 | 154 | - | 17.9 | 276 | 16.0 | 0.0 | 11.1 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 30D44 | 135 | 167 | - | 20.6 | 375 | 15.4 | 0.0 | 22.3 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| 2010 | 7月5日 | KD640 | 115 | - | 123 | 21.6 | 617 | 28.3 | 100.0 | 100.0 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 31P41 | 120 | - | 125 | 22.6 | 897 | 36.7 | 100.0 | 36.6 | 0.0 | 8.0 | 0.0 |
| | | 3470 | 127 | - | 134 | 22.2 | 1,345 | 32.0 | 100.0 | 0.0 | 0.0 | 7.5 | 0.0 |
| | | 30D44 | 135 | - | 133 | 22.7 | 892 | 31.3 | 100.0 | 90.0 | 0.0 | 8.0 | 0.0 |
| | 7月16日 | KD640 | 115 | 267 | 113 | 20.7 | 942 | 31.9 | 96.0 | 30.0 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 31P41 | 120 | 255 | 113 | 22.8 | 957 | 32.0 | 96.0 | 10.0 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 3470 | 127 | 230 | 121 | 22.5 | 1,219 | 30.7 | 96.0 | 0.0 | 0.0 | 6.5 | 0.0 |
| | | 30D44 | 135 | 267 | 136 | 23.5 | 1,353 | 31.6 | 90.0 | 0.0 | 0.0 | 6.5 | 0.0 |
| | 7月29日 | KD640 | 115 | 256 | 116 | 16.5 | 892 | 27.9 | 67.0 | 0.0 | 0.0 | 9.0 | 0.0 |
| | | 31P41 | 120 | 257 | 125 | 17.8 | 806 | 22.7 | 53.0 | 0.0 | 0.0 | 8.0 | 0.0 |
| | | 3470 | 127 | 235 | 121 | 19.2 | 1,094 | 22.8 | 13.3 | 0.0 | 0.0 | 4.5 | 0.0 |
| | | 30D44 | 135 | 265 | 135 | 18.1 | 1,364 | 23.9 | 16.6 | 0.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 |
| 7月1日 | KD640 | 115 | 233 | 100 | 16.6 | 1,111 | 35.9 | 26.6 | 0.0 | 8.0 | 8.0 | 0.0 | |
| | 31P41 | 120 | 232 | 102 | 18.8 | 1,762 | 41.3 | 26.6 | 0.0 | 7.0 | 7.0 | 0.0 | |
| | 3470 | 127 | 227 | 113 | 17.6 | 1,535 | 33.6 | 40.0 | 0.0 | 7.0 | 7.0 | 0.0 | |
| | 30D44 | 135 | 240 | 130 | 19.0 | 1,861 | 34.7 | 6.6 | 0.0 | 7.0 | 7.0 | 0.0 | |
| 7月14日 | KD640 | 115 | 237 | 108 | 20.5 | 1,484 | 43.6 | 26.6 | 0.0 | 8.0 | 8.0 | 0.0 | |
| | 31P41 | 120 | 250 | 122 | 22.7 | 1,781 | 40.6 | 26.6 | 0.0 | 7.0 | 7.0 | 0.0 | |
| | 3470 | 127 | 223 | 110 | 22.1 | 1,407 | 32.1 | 33.3 | 0.0 | 7.0 | 7.0 | 0.0 | |
| | 30D44 | 135 | 258 | 133 | 23.6 | 1,777 | 32.0 | 33.3 | 0.0 | 7.0 | 7.0 | 0.0 | |
| 8月2日 | KD640 | 115 | 183 | 99 | 15.3 | 625 | 29.1 | 43.3 | 0.0 | 5.5 | 5.5 | 0.0 | |
| | 31P41 | 120 | 199 | 104 | 17.6 | 1,155 | 29.6 | 6.6 | 3.3 | 2.5 | 5.5 | 0.0 | |
| | 3470 | 127 | 173 | 97 | 16.5 | 1,027 | 29.2 | 13.3 | 0.0 | 2.0 | 3.0 | 0.0 | |
| | 30D44 | 135 | 190 | 102 | 17.8 | 1,303 | 30.2 | 16.6 | 40.0 | 2.0 | 2.0 | 0.0 | |

3 飼料用トウモロコシにおけるノンパラメトリック DVR 法による生育予測手法

過去2ないし3カ年分のデータを整理し、一作目のKD500と二作目の3470と30D44について、気温と日長による二次元ノンパラメトリック DVR 法により、DVR 値を計算した。生育期間を播種から絹糸抽出期と絹糸抽出期から黄熟期までの2つに分けて算出した結果、播種から絹糸抽出期において、3品種とも生育進度に気温が大きく影響しているが、KD500は右肩上がりの値を示し、3470は26°Cでピークを、30D44は25°C以降はほとんど一定となった。一方で、3品種ともに日長は抑制の値を示したが、30D44は13時間までは一定であった。(図1)。

一方、絹糸抽出期から黄熟期において、同様に3品種とも生育進度に気温が大きく影響しており、右肩上がりの値を示しているが、KD500は他の2品種よりも依存度は低くなった。KD500は日長の影響も大きく、日長も登熟に関与していることが示された。3470と30D44について、日長は抑制の値を示した。(図2)

今回の算出した DVR を元に、栃木県、神奈川県、熊本県、鹿児島県の各試験地における試験実施当該年の日平均気温と天文日長のデータ提供を受けて、絹糸抽出期と黄熟期の予測到達日をもとめ、実到達日との差

を比べた。(表5、6)

ただし、九州では差が大きくなることが示されたので、九州のデータセットのみを用いて DVR を再計算した。

関東では、播種から絹糸抽出期まではどの品種でも±1日以内であったが、絹糸抽出期から黄熟期までは神奈川県の3470で5日の差があった。それ以外では3日以内と予測可能な範囲であった。播種から黄熟期までの差は、神奈川県の3470で5日の差があったものそれ以外は3日以内であった。

九州では、2年5作を想定したため、二期作だけでなく遅まきの3470も DVR を作成し、差を調べた。播種から熊本県の30D44と鹿児島県南九州市の3470で4日の差があったものの、それ以外は3日以内であった。絹糸抽出期から黄熟期(二期作は実情に合わせて糊熟期)では、熊本県の遅まき3470と二作目30D44、鹿児島県霧島市の二作目30D44、鹿児島県南九州市の遅まき3470が4日の差があった。ただし、播種から黄熟期までの差で見ると、熊本県の遅まき3470で4日の差があったものの、それ以外では3日以内であった。

以上のことから、今回算出した DVR モデルについて、一作目をKD500、二作目を30D44とした場合、3日以内で関東から九州まで適応できることが示された。

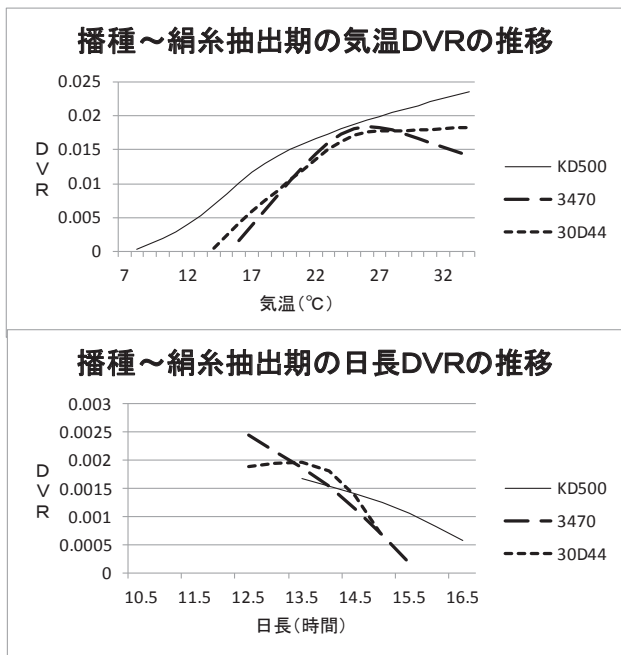


図1 播種～絹糸抽出期のDVRの推移

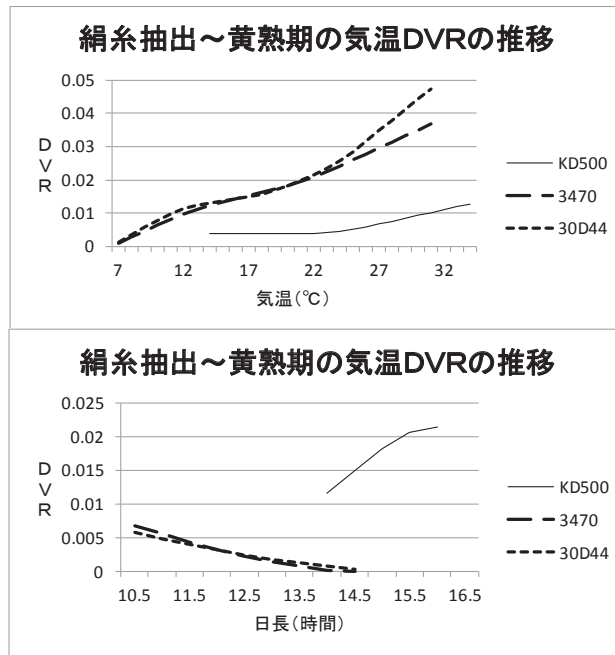


図2 絹糸抽出期～黄熟期の推移

表5 関東における予測到達日と実到達日の差

| 試験場所 | 品種 | 播種年 | 播種日 | 絹糸抽出期 | | | 差の平均 | 黄熟期 | | | 生育期間の 差の平均 | |
|----------------|--------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|------|---------------|----|
| | | | | 実到達日 | 予測到達日 | 差の平均 | | 実到達日 | 予測到達日 | 差の平均 | | |
| 畜草研 (那須塩原市) | KD500 | 2009 | 4月16日 | 7月3日 | 7月4日 | | 8月11日 | 8月11日 | | 1 | 1 | |
| | | 2010 | 4月14日 | 7月7日 | 7月9日 | | 8月14日 | 8月14日 | | | | |
| | | 2011 | 4月21日 | 7月7日 | 7月8日 | | 8月14日 | 8月14日 | | | | |
| | 3470 | 2009 | 7月15日 | 9月14日 | 9月16日 | | 11月13日 | - | | 0 | -1 | |
| | | 2010 | 6月28日 | 8月23日 | 8月22日 | | 10月8日 | 10月8日 | | | | |
| | | 2011 | 7月14日 | 9月4日 | 9月5日 | | 11月8日 | 11月1日 | | | | |
| | 30D44 | 2009 | 7月15日 | 9月20日 | 9月20日 | | 11月13日 | - | | 0 | -1 | |
| | | 2010 | 6月28日 | 8月26日 | 8月26日 | | 10月8日 | 10月9日 | | | | |
| | | 2011 | 7月14日 | 9月6日 | 9月7日 | | 11月8日 | 11月2日 | | | | |
| | 栃木県 那須塩原市 | KD500 | 2009 | 4月8日 | 7月9日 | 7月7日 | | 8月20日 | 8月16日 | | -1 | -2 |
| | | | 2010 | 4月26日 | 7月11日 | 7月10日 | | 8月20日 | 8月18日 | | | |
| | | | 2011 | 5月7日 | 7月16日 | 7月15日 | | 8月24日 | 8月24日 | | | |
| 3470 | | 2009 | 8月3日 | 10月14日 | - | | - | - | | -1 | 0 | |
| | | 2010 | 7月5日 | 8月28日 | 8月28日 | | 10月15日 | 10月16日 | | | | |
| | | 2011 | 7月16日 | 9月6日 | 9月5日 | | 10月28日 | 11月4日 | | | | |
| 30D44 | | 2009 | 8月3日 | 10月20日 | - | | - | - | | -1 | 0 | |
| | | 2010 | 7月5日 | 9月2日 | 8月31日 | | 10月20日 | 10月21日 | | | | |
| | | 2011 | 7月16日 | 9月8日 | 9月8日 | | 10月31日 | 11月7日 | | | | |
| 神奈川県 海老名市 | | KD500 | 2009 | 4月6日 | 6月18日 | 6月16日 | | 7月27日 | 7月24日 | | 0 | 0 |
| | | | 2010 | 4月1日 | 6月20日 | 6月22日 | | 7月28日 | 7月29日 | | | |
| | | | 2011 | 4月8日 | 6月24日 | 6月24日 | | 7月28日 | 8月1日 | | | |
| | 3470 | 2009 | 8月3日 | 9月27日 | 9月26日 | | 12月2日 | 11月27日 | | -1 | -5 | |
| | | 2010 | 8月2日 | 9月24日 | 9月24日 | | 11月21日 | 11月16日 | | | | |
| | | 2011 | 8月4日 | 9月30日 | 9月29日 | | 12月11日 | 12月9日 | | | | |
| | 30D44 | 2009 | 8月3日 | 9月29日 | 9月28日 | | 12月2日 | 11月29日 | | 0 | -3 | |
| | | 2010 | 8月4日 | 9月26日 | 9月27日 | | 11月11日 | - | | | | |
| | | 2011 | 8月11日 | 10月7日 | 10月6日 | | 11月11日 | - | | | | |

※差のマイナスの値は予測到達日を実到達日より早いことを示す。
 ※神奈川のグレー部分は平塚市での栽培結果。

表6 九州における予測到達日と実到達日の差

| 試験場所 | 品種 | 播種年 | 播種日 | 絹糸抽出期 | | | 差の平均 | 黄熟期(二期作は糊熟期) | | | 生育期間の 差の平均 |
|------------------|--------------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------------|-------|------|---------------|
| | | | | 実到達日 | 予測到達日 | 差の平均 | | 実到達日 | 予測到達日 | 差の平均 | |
| 九沖農研 (熊本県合志市) | KD500 | 2009 | 4月1日 | 6月18日 | 6月18日 | | 7月23日 | 7月22日 | | -1 | -1 |
| | | 2010 | 4月5日 | 6月24日 | 6月24日 | | 7月27日 | 7月28日 | | | |
| | | 2011 | 4月5日 | 6月27日 | 6月25日 | | 7月30日 | 7月29日 | | | |
| | 3470 | 2009 | 5月26日 | 8月1日 | 7月30日 | | 9月2日 | 8月29日 | | 0 | -4 |
| | | 2010 | 6月4日 | 8月5日 | 8月8日 | | 9月8日 | 9月1日 | | | |
| | | 2011 | 6月3日 | 8月8日 | 8月7日 | | 9月10日 | 9月8日 | | | |
| | 3470 | 2009 | 8月7日 | 10月2日 | 10月2日 | | 11月18日 | 11月19日 | | -3 | -1 |
| | | 2010 | 8月5日 | 9月30日 | 9月26日 | | 11月15日 | 11月18日 | | | |
| | | 2011 | 8月5日 | 10月4日 | 9月28日 | | 11月17日 | 11月21日 | | | |
| | 30D44 | 2009 | 8月7日 | 10月4日 | 10月1日 | | 11月18日 | 11月24日 | | -4 | 0 |
| | | 2010 | 8月5日 | 9月30日 | 9月26日 | | 11月15日 | 11月20日 | | | |
| | | 2011 | 8月5日 | 10月4日 | 9月28日 | | 11月17日 | 11月18日 | | | |
| 鹿児島県 霧島市 | KD500 | 2010 | 4月8日 | 6月28日 | 6月25日 | | 7月29日 | 7月30日 | | -3 | -3 |
| | | 2011 | 4月11日 | 6月28日 | 6月25日 | | 8月1日 | 7月31日 | | | |
| | 3470 | 2009 | 6月1日 | 8月4日 | 8月7日 | | 9月8日 | 9月7日 | | 0 | 0 |
| | | 2010 | 6月7日 | 8月16日 | 8月13日 | | 9月21日 | 9月23日 | | | |
| | | 2011 | 5月31日 | 8月6日 | 8月6日 | | 9月13日 | 9月12日 | | | |
| | 3470 | 2009 | 8月3日 | 9月27日 | 9月29日 | | 11月25日 | 11月18日 | | 0 | -3 |
| | | 2010 | 8月13日 | 10月4日 | 10月4日 | | 11月25日 | 11月25日 | | | |
| | | 2011 | 8月12日 | 10月13日 | 10月10日 | | 11月28日 | 11月28日 | | | |
| | 30D44 | 2009 | 8月3日 | 9月27日 | 9月28日 | | 11月25日 | 11月15日 | | 1 | -4 |
| | | 2010 | 8月13日 | 10月5日 | 10月8日 | | 11月25日 | 11月24日 | | | |
| | | 2011 | 8月12日 | 10月10日 | 10月8日 | | 11月28日 | 11月27日 | | | |
| | 鹿児島県 南九州市 | KD500 | 2010 | 3月31日 | 6月19日 | 6月20日 | | 7月23日 | 7月21日 | | 3 |
| 2011 | | | 4月6日 | 6月20日 | 6月24日 | | 7月22日 | 7月22日 | | | |
| 3470 | | 2010 | 6月11日 | 8月10日 | 8月16日 | | 8月24日 | - | | -1 | 4 |
| | | 2011 | 5月20日 | 8月1日 | 7月25日 | | 8月24日 | 8月28日 | | | |
| | | 2009 | 8月11日 | 9月29日 | 10月4日 | | 11月18日 | 11月19日 | | | |
| 3470 | | 2010 | 8月7日 | 9月25日 | 9月28日 | | 10月26日 | - | | 4 | -2 |
| | | 2011 | 8月11日 | 10月1日 | 10月4日 | | 11月24日 | 11月20日 | | | |
| | | 2009 | 8月11日 | 9月28日 | 10月4日 | | 11月18日 | 11月17日 | | | |
| 30D44 | | 2010 | 8月7日 | 9月24日 | 9月28日 | | 10月26日 | 10月26日 | | 3 | -1 |
| | | 2011 | 8月11日 | 10月3日 | 10月3日 | | 11月24日 | 11月22日 | | | |

注) マイナスは実到達日より予測到達日が早いことを示す。

これらの結果をもとに、関東地方における二期作の適地判定を行った。まずは、一作目 KD500 を4月1日播種、二作目 30D44 を8月5日播種という設定で、気温は1999～2008年までの日平均気温を用いた。すると、一作目は県南の栃木、小山、佐野、足利で7月31日までに黄熟期に達したものの(図3)、二作目はほとんど黄熟期に達しなかった(図4)。そこで二作目の播種日を8月1日に設定し直したところ、県南の渡良瀬川流域を中心とした栃木、小山、佐野、足利の一部で黄熟期まで達する地域が出た(図5)。



図3 一作目 KD500 の黄熟期判定



図4 二作目 30D44 の黄熟期判定



図5 二作目の播種が8月1日の黄熟期判定

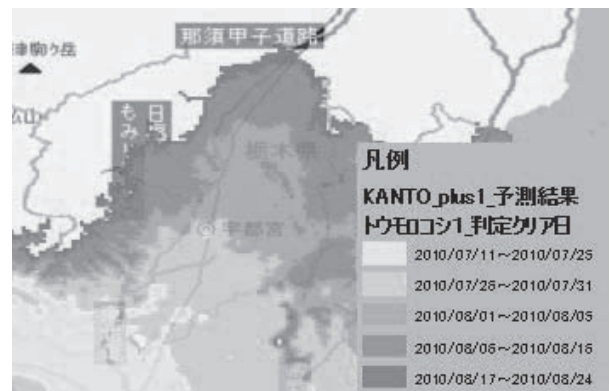


図6 気温が1°C上昇した場合の一作目黄熟期判定



図7 気温が1°C上昇した場合の二作目黄熟期判定

また、今後温暖化が進むことを想定し、日平均気温が1°C上昇した場合のシミュレーションを行った。すると、一作目は県南から県央にかけての広い地域で7月31日までに黄熟期に達し(図6)、二作目も栃木、小山、佐野、足利の一部で黄熟期まで達する地域が出た(図7)。

これらのことから、現在では一作目と二作目で黄熟期に達するような二期作は難しいが、日平均気温が1°C上昇した場合は、県南の一部で可能になることが示唆された。

考 察

今回の試験では、二期作ができない当センター内のほ場でデータを収集したため、実際の二期作栽培地帯で適応できるかが懸念されたが、神奈川県や九州のデータを用いることにより、実用できるレベルになった。これから温暖化が進行していくと広い地域で二期作が可能になると想定されるが、C₄植物であるトウモロコシは、温暖化が進んでも収量増になるとは限らないことが報告されている。今回試験で用いた品種の他にも、収量性の良い品種がある可能性があるので、特に二作目に用いる品種については今後試験を行っていく必要がある。

また、二期作を実施する場合に、品種の組み合わせも重要になってくる。一作目は、二作目の栽培期間を確保するために、RM100以下の極早生品種を用いて栽培期間を短縮することになる。このとき、極端にRMの小さい品種を選択しても生育期間はさほど短縮できない。むしろRM100に近いほうが、乾物収量を確保しやすい。二作目は利用者の好みが変わるところで、子実割合を高めてサイレージの栄養価を求めるならRM115~120の早生中生を、乾物収量を求めるならRM130以上の極晩生を作付けするとよいと思われる。

現在、栃木県内でもごく一部の地域で二期作が行われており、従来のトウモロコシ・イタリアンライグラスの一年二毛作体系とTDN収量を比較すると約8%増収することが別の調査で明らかにされているが、増収部分だけでないメリットもある。それは、機械体系がトウモロコシだけに整理できることと、作業遅延による収量およびサイレージの品質低下を防ぐことができるようになるからである。二毛作では春作業（イタリアンライグラスの収穫とトウモロコシの播種）と秋作業（トウモロコシの収穫とイタ

リアンライグラスの播種）の作業競合が一年に2回発生するため、遅れやすくなる。二期作では、夏作業（トウモロコシの収穫と播種）の年一回だけであり、理論上は遅れにくいと言える。ただし、実際は降雨による遅延や、夏に収穫調整するという過重労働があり、作業が遅れるだけでなく、疲労による事故の発生も懸念される。また、二作目の生育が不安定で、黄熟期に達しなかったり、台風の影響を受けやすいというリスクもある。それを理解した上で取り組んで欲しい。

自給飼料生産を取り巻く環境について、穀物相場の高騰という追い風があったものの、現在は放射性物質に怯える毎日である。今後を考えると、放射性物質の影響は少なからず残るものの、穀物相場の高騰は続くであろうし、海上運賃の値上げや、円高から円安に移行するとの予想もある。そうすると自給飼料生産としてのトウモロコシは重要になってくるであろうし、中心作物として位置づけられるであろう。そのようなときに本研究を参考としていただければ幸いである。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、当センターの技術員各位には、ほ場作業から各種調査についてご協力いただいた。特に試験担当として、黒木光一郎氏には試験設計から運営及び取りまとめまで事細やかにサポートをいただいた。

また、畜産草地研究所の菅野首席研究員、九州沖縄農業研究センターの西村研究員、加藤研究員、神奈川県農業技術センター畜産技術所の折原主任研究員、鹿児島県農業開発総合センター畜産試験場の原田主任研究員に多大なるご指導及びご助言をいただいた。併せて御礼申し上げる。

参考文献

- 1) Atsushi MARUYAMA et al (2010). Modeling of phenological development in winter wheat to estimate the timing of heading and maturity based on daiary mean air temperature and photoperiod. *J. Agric. Meteorol.* 66(1):41-50.
- 2) 原田直人・松野愛子・加藤直樹・西村和志 (2012) 鹿児島県におけるトウモロコシ二期作を基幹とする2年5作栽培体系の検討. 日草誌 58 (別): 36
- 3) 星一好・百武友紀子 (2000) 飼料用トウモロコシの生育予測手法の確立. 栃木県酪農試研場研究報告. No. 124:11-19.
- 4) 星一好・百武友紀子 (2005) 飼料用トウモロコシ生育ステージ予測法の現場適用. 日本草地学会誌. Vol. 51. No. 2:209-212.
- 5) 菅野 勉・森田聡一郎・佐藤節郎・黒川俊二・九石寛之・島田 研 (2011) 関東北部のサイレージ用トウモロコシ二期作栽培における乾物収量および乾物率. 日草誌 57(1): 43-46
- 6) Kanno T, Morita S, Sato S, Kurokawa S, Sazarashi H, Mashiyama H, Shimada K (2012) Determination of the effective cumulative temperature required for second cropping of corn (*Zea mays L.*) at the northern boundary

- for the double-cropping system. Proceedings of the 4th Japan-China-Korea Joint Symposium on Grassland Agriculture and Livestock Production, p64-65
- 7) 加藤直樹・服部育男・吉川好文・村木正則・山田明央・佐藤健次 (2011) 極早生品種を利用した九州中北部向けサイレージ用トウモロコシ2期作栽培技術.
<http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2010/konarc10-02.html>
 - 8) 西村和志 (2012) ArcGIS上で利用可能な飼料作物・作型適地判定・マップ化システム
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/karc/2011/114c0_10_09.html
 - 9) 大槻和夫 (2001) 飼料のTDNの推定. 改訂粗飼料の品質ガイドブック (自給飼料研究会編). 日本草地種子協会. p77-83
 - 10) 折原健太郎 (2010) 神奈川県におけるトウモロコシ二期作栽培体系の検討. 日草誌 56 (別) : 20
 - 11) 折原健太郎 (2011) 神奈川県におけるトウモロコシ二期作の品種の組み合わせ及び播種期の検討. 日草誌 57 (別) : 151
 - 12) 折原健太郎 (2012) トウモロコシ二期作の経済性の検討.
<http://www.agri-kanagawa.jp/tikugi/jyouho/201202/jyouho-k201202.html>
 - 13) 九石寛之・天野祐敏・宮原雅明・鮎田直子・菅沼京子・神辺佳弘 (2009) 我が国3地点における飼料用とうもろこしの作期と生育パターン. 日本草地学会誌. Vol. 55. 別:157
 - 14) 九石寛之・鮎田直子・増山秀人 (2010) 栃木県における飼料用トウモロコシの生育予測と実測値の差. 日本草地学会誌. Vol. 56. 別:153
 - 15) 九石寛之・田丸直子・増山秀人・菅沼京子・前田綾子 (2011) 大規模飼料作物栽培における草種品種の組み合わせ技術の開発. 栃木県畜産酪農研究センター研究報告. No. 1:28-33.
 - 16) 竹澤邦夫・田村良文・小野祐幸 (1987). 作物の発育ステージのノンパラメトリック推定の有効性. 農業気象. Vol. 45. No. 3:151-154
 - 17) 竹澤邦夫 (2002) B-スプラインを用いたノンパラメトリック DVR 法. システム農学. Vol. 19. No. 2:121-129
 - 18) 農業技術大系 畜産編 7 飼料作物

Establishment of a cultivation system for double cropping of silage corn in Tochigi prefecture.

This study was accuracy of growth prediction using a non-parametric method based on developmental rate (DVR) for double cropping of silage corn (*Zea mays L.*) cultivated in Tochigi prefecture.

“KD500” was used for the first crop, “3470” and “30D44” were used for second crop. Difference was within ± 3 days between calculated DVR and the practical development.

It is determined double cropping of silage corn was impossible because current temperature condition is low in most area of Tochigi prefecture.

If mean temperature rises 1°C/day, double cropping of silage corn will be enabled in a part of south area in Tochigi prefecture.