

国産濃厚飼料等の地域産飼料資源の活用 －山形大学における取り組みを中心として－

山形大学農学部附属やまがたフィールド科学センター
高坂農場長 浦川 修司

はじめに

配合飼料価格が再び高騰し、畜産経営を大きく圧迫しつつある。その要因はトウモロコシなどの飼料用穀物の相場上昇にあり、特にトウモロコシ価格は、南米産地での長雨による作付けの遅れと、その後の乾燥による作柄悪化、さらに、中国の旺盛な需要によるトウモロコシの大量買い付けなどに起因するものである。今後、産地の天候の状況や中国や新興国の需要動向等に影響を受けながらも、トウモロコシ価格は堅調に推移すると見込まれている。このように、飼料穀物価格の高騰は、一度は収まっても再び起きる問題であり、世界的な異常気象の常態化や中国や新興国の畜産需要の増加によって、今後とも頻繁に起こり得る問題である。そのため、飼料用穀物を含めた自給飼料の調達構造の転換を図ることは急務である。

一方、主食用米の需要は毎年 10 万 t 程度の減少が続き、令和元年産までの民間在庫（出荷＋販売段階）が例年よりもかなり高い水準で推移し、人口減などによる消費の減少に加え、特に新型コロナウイルス禍による業務需要の低迷も重なって、2021 年産米の概算金・買い取り価格は全国で大幅に低下している。このような状況において、2021 年産米については、最大規模の転作拡大に取り組んだものの、米価が下落し、さらに 2022 年産でも強化されるとなると、稲作経営への失望感は一層大きくなる。

このように飼料価格の高騰や米をめぐる現状を踏まえ、水田転作施策の一つとして推進されてきた都府県の自給飼料生産において、日本でも有数の稲作地帯であり、銘柄豚（庄内豚）の生産地帯でもある山形県庄内地域において、山形大学が地域と連携しながら推進している畜産を基軸とした持続可能な循環型農村経済圏（以下、スマート・テロワール）構想について紹介するとともに、その構想の中で、特に持続的な畜産物生産のための飼料用穀物（子実用トウモロコシや飼料用米）の生産や、コムギの製粉副産物であるふすま等の地域産飼料資源の調達に向けた取り組みの概要を紹介する。

1. スマート・テロワール構想の概略

山形大学では 2016 年度から寄附講座として「庄内スマート・テロワール」形成講座を設置し、庄内地域にスマート・テロワールを構築するため取り組みを行っている。スマート・テロワールとは、カルビー株式会社元会長の故松尾雅彦氏が提唱した構想であり、特に山形大学では地域の風土と農畜産物の生産および加工、さらに消費までを共有するユニットであり、地域独自の特色のある循環型農村経済圏と定義している。具体的な取り組みとしては、地域の風土を活かしながら耕種農家と畜産農家の連携によって、農畜産物を生産し（耕畜連携）、農業者と加工業者の連携によって生産した農畜産物を原料とした加工食品を製造する（農工連携）。さらに加工業者と地域の小売店が連携して（工商連携）、地域の消費者が望む加工食品を地域の消費者に提供する（地消地産）。このよ

うに、本プロジェクトでは、地域の中小規模経営体（農畜産業、加工業、小売業）が連携し、輸入食料に依存した大量生産・大量消費の経済システムから脱却し、ステークホルダーの協働活動によって、地域住民の消費をベースとした食と農に関する経済を地域内で循環・完結させ、“豊かで持続可能な循環型農村経済圏”を構築することを目的としている。本構想の背景にあるのが、食料自給率の低迷と高齢化と担い手不足によって崩壊の危機にある農村の現状である。そして、その解決策の一つが、飽和状態にある主食用米を中心とした水田農業から脱却し、地域をゾーニングして耕作放棄地や余剰水田を永久畑地化し、需要が伸びている加工用穀物（コムギやダイズ等）や飼料用穀物（飼料用米や子実用トウモロコシ）への転換を図ることにある。そして、スマート・テロワール構想では、その循環の要となるのが畜産業と位置付けている。

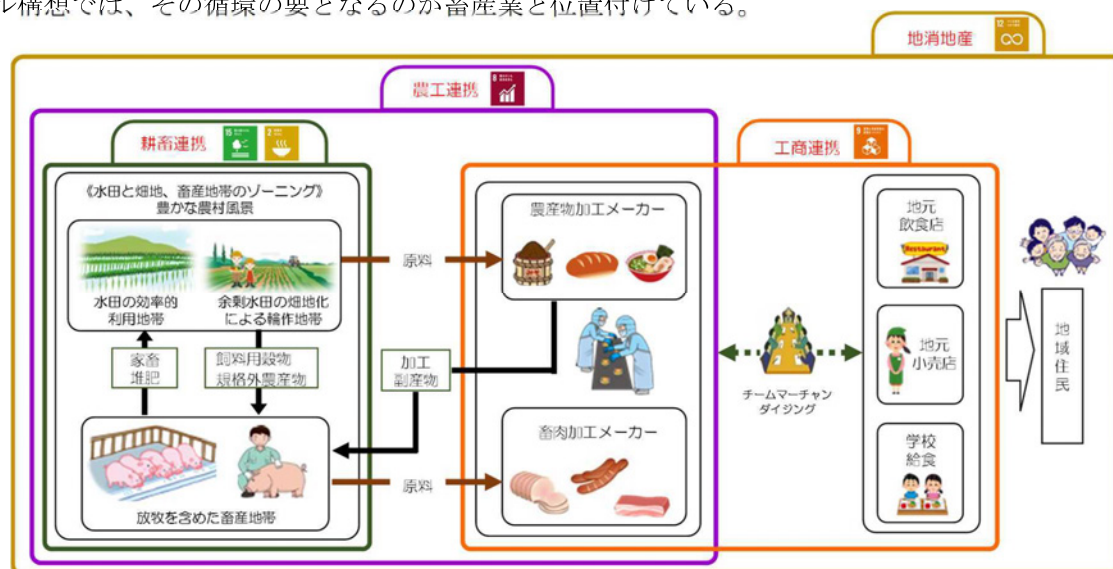


図1. 持続可能な循環型農村経済圏(スマート・テロワール)構想の全体イメージ

1) スマート・テロワール構想における畑輪作体系

スマート・テロワール構想においては、稲作の条件不利地である中山間地帯の余剰水田を中心に、その畦畔を取り除き、緩やかな傾斜のある畑地として整備し（永久畑地化）、輪作体系で畑作穀物を生産する。輪作に組入れる加工用穀物としては、需要が高まりつつあるムギやダイズなどの畑作穀物が主な作物になる。特にコムギについては国内で消費される小麦粉のうち、国産コムギの占める割合は10%程度と極めて低いが、近年のパン食の増加や消費者の国産志向の高まりから、国産コムギ（地域産コムギ）に対する需要は高まりつつあり、「食料・農業・農村基本計画（令和2年）」では、コムギの生産努力目標を10年後に108万t（平成30年：76万t）に増産する目標が示されている。コムギ生産は北海道では輪作体系を支える基幹作物であるが、都府県では水田作における転作や裏作物であり、東北地域でも地域産コムギの需要は高まりつつあるが、単収は都府県平均を下回っている（東北地域における麦をめぐる事情（令和2年））。そこで、コムギについては、東北日本海側地域の厳しい栽培環境条件に対応し、加工適性の優れた品種の育成と、地域に適した輪作体系を構築し、高品質多収栽培技術を確立する必要がある。また、水田転作物として導入されてきたダイズは、連作によって収量が低下しつつあるだけでなく、農地が荒廃しつつある地

域も見受けられる。そこで、畑作穀物の輪作作物として欠かせないのがトウモロコシ（子実用トウモロコシ）である。山形県庄内地域で実証実験を行ってきた輪作体系は、子実用トウモロコシ－コムギ－ダイズ－バレイショであったが、庄内地域の気象条件や土壌条件、作業条件等を考慮した結果、2021年度からはバレイショに替わってソバ等の導入を検討している。

2. 畑輪作体系における子実用トウモロコシの位置づけ

北海道の子実用トウモロコシ栽培農家を対象としたアンケート調査において、その導入理由は「新たな輪作作物としての位置づけ」、「伸根性による水田土壌の水捌け改善」、「茎葉部の有機物の還元による緑肥効果」が上位に挙げられており、一方、労働生産性の高い作物であるものの、「他作物より高収益」であるとの回答はなかったと報告されている（荒木 2019）。つまり、子実用トウモロコシに期待しているのは、単作における収益よりも、土壌改善効果等による後作物の収益性にあり、輪作体系全体を通した収益の向上が目的である。

1) 子実用トウモロコシ導入による土壌改善効果

2017年度の実証試験において、トウモロコシ用リールヘッダを装着した普通型コンバイン（写真 1）で収穫した場合の有機物の還元量を調査した結果では、夾雑部を合わせた全乾物回収量 770kg/10a（内子実 763.4kg/10a）に対して、刈高さ 65cm 程度で刈取った場合のトウモロコシの地上部由来の残渣（有機物）は乾物で 977kg/10a（地上部植物体全体の約 56%）になり、地上部だけで約 1t/10a の有機物が圃場へ還元されることになる（表 1）。さらに、トウモロコシの根は登熟期には深さ、幅ともに約 2m の範囲に広がっており（橋爪 2014）、トウモロコシを作付けることで、有機物の還元と深耕の両面から土壌物理性の改善効果が期待できる。



写真1. 子実用トウモロコシの収穫作業(2017)

表 1. 普通型コンバインで収穫した子実用トウモロコシの回収物の内訳と地上部残渣由来の還元物の内訳

項目	刈高さ (cm)	回収物の内訳(kg/10a)				圃場還元物の内訳(kg/10a)				合計重量 (kg/10a)
		子実	茎葉	穂芯	小計	子実	茎葉	穂芯	小計	
現物重量		987.6	16.6	1.2	1005.3	26.2	2799.5	111.0	2936.8	3942.1
乾物重量	65.1	763.4	6.4	0.6	770.4	20.7	895.7	60.9	977.3	1747.7
					(44.1%)				(55.9%)	

注) 圃場還元物の内訳は刈り株残渣(刈高:65.1cm)と脱穀部に搬入されなかった植物体残渣、排わら処理部からの排出残渣の合計値である。
()内の数値は乾物合計重量に対する回収物および圃場還元物の乾物割合を示す。

子実用トウモロコシ－コムギ－ダイズ－バレイショを用いた 4 年間の輪作体系のベンチスケール試験の結果では、家畜堆肥や収穫後の作物残渣等の有機物の還元によって、土壌中の総細菌数（土壌微生物指標）や窒素循環活性、物理性（排水性）が向上し、作物収量や品質の向上効果が認められた。特に、子実用トウモロコシを導入した輪作 4 年目には、土壌中の総細菌数が初年度の 5.4 倍に増加し、土壌改善効果によってバレイショ収量は約 20%増収し、規格品率も約 40%向上した。また、コムギについても、特にトウモロコシの導入と畑輪作によって土壌排水性等の改善に

よって約 30%増収した。以上のように、輪作体系への子実用トウモロコシの導入効果を土壌の化学性、物理性、生物性の面から解明し、さらに、後作物の収量面と品質面への効果を詳細な具体的なデータを基に提示することが、子実用トウモロコシの生産拡大につながる。

2) 子実用トウモロコシ単作の収益性

子実用トウモロコシ単作に大きな収益性は求められていないものの、収益性の向上は子実用トウモロコシの生産拡大にとって重要な課題である。2017年度から2021年度に山形県庄内地域において、子実用トウモロコシを実規模で栽培した実証実験（8地点）の平均反収は、乾燥後の製品実重量で 640kg であった。普及センターが実施した調査データや当該地域のダイズ生産に係る経費等を参考に、子実用トウモロコシの生産費を試算すると、含水率 14%換算の製品単価は 76 円/kg になる（表 2）。

表2. 山形県庄内地域で栽培した子実用トウモロコシの生産費の試算事例

項 目	10当たり 金額(円)	製品1kg当たり金額(円)		備 考
		反収650kg	反収850kg	
資材費	23,672	35.4	27.5	
種子	4,700	7.2	5.5	
肥料農薬	17,772	27.3	20.9	
その他資材	1,200	0.8	1.0	
機械費	9,900	15.2	11.6	
栽培管理用	7,100	10.9	8.4	(トウモロコシ10、大豆20、小麦10)
収穫運搬用	2,200	3.4	2.6	(トウモロコシ10、大豆20)
乾燥調製用	600	0.9	0.7	(トウモロコシ10、大豆20、小麦10)
燃料費	4,400	18.4	22.3	
栽培管理用	1,200	1.8	1.4	
収穫運搬用	800	1.2	0.9	
乾燥調製用	2,400	15.3	20.0	灯油、電気代
労働費	3,885	7.2	7.9	
栽培管理	1,785	2.7	2.1	1.7時間
収穫運搬	1,575	1.0	1.3	1.5時間
乾燥調製	525	3.4	4.5	0.5時間(張込みと排出)
合計金額	41,857	76.1	69.3	

注)2017年度産の調査データやダイズ生産組合の試算、統計データを基に算出した値である。

反収 650kg は 5 年間の平均値であり、850kg は当面の目標反収である。

子実用トウモロコシの低コスト生産には反収の向上が重要である。当該地域においてはトウモロコシの播種時期は水稻移植時期と競合する関係から、水稻移植後の播種（6月）が多く、播種時期の遅れが低収になっている要因でもあるが、普通畑での栽培ではあるものの、反収で 852kg を確保した圃場もあり、排水対策等の乾田化や栽培技術、多収品種の導入等によって、反収 850kg 程度は達成可能な収量と考えている。そこで同条件で反収を 650kg から 850kg まで増収させた場合の生産費を試算すると、69 円/kg に下げることができる。但し、乾燥調製経費は生産物に掛かる経費であることから、反収を上げれば乾燥経費も増加する。そのため、農研機構東北農業研究センターで開発したフレコンラップ法の導入や農研機構畜産研究部門が中心となって開発を進めている高水分トウモロコシ子実の保管技術等に期待したい。

3) 品種の選定

子実用トウモロコシの収益性の向上には多収品種の導入が必要である。日本国内において子実用トウモロコシ専用の品種は市販されていないことから、子実用トウモロコシ栽培にあたっては、ホールクロープサイレージ用として流通している品種の中から選定することになる。品種選定にあたっては多収であるとともに、機械収穫における損失が少ないことが不可欠である。圃場からの損失率は倒伏と折損が大きく関係することから、耐倒伏性や折損抵抗性の高い品種を選定する必要がある。さらに、ホールクロープ利用よりも在圃期間が長くなることから、かび毒に汚染されるリスクが高まるため、赤かび病の抵抗性品種を選定することも重要である。

2021 年度に実施した 13 品種 (RM90-115) の品種比較試験の結果を基に、横軸に倒伏・折損程度、縦軸に赤かび病罹病程度をとり、円の大きさを子実乾物収量を示し、各品種の特性を表現した (図 2)。単年度の結果ではあるものの、多収品種 (坪刈り収量 1,300kg/10a 程度) の中には、倒伏し易い品種や赤かび病に罹病し易い品種もあり、今後、データを蓄積して収量性、機械損失率 (耐倒伏性や折損抵抗性)、安全性 (赤かび病抵抗性) などを総合的に判断して評価をする必要がある。また、各品種のかび毒濃度にも品種間に差があり (図 3)、赤かび病の罹病程度とかび毒濃度との関係を解析するとともに、各地域に適した有望品種を迅速に選定できるように、農研機構が中心となって地域のデータを集約し、各地域に適した品種情報を提供する体制を整えていただくことに期待したい。なお、山形大学ではトウモロコシ子実の流通にあたって、大学内にかび毒分析装置を整備し、生産現場からの要望に応じて、かび毒の分析業務を行う計画である。

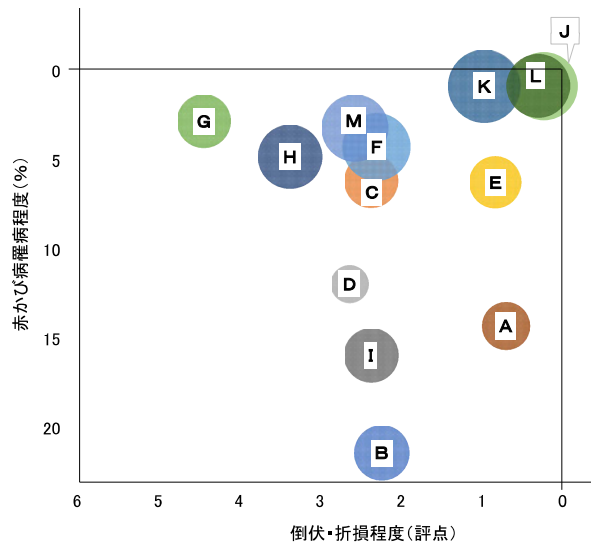


図2. 子実用トウモロコシの特性の比較 (2021 年)
 注) 罹病程度は雌穂の全体の面性に占める病斑の面積割合
 倒伏・折損程度は各項目の 5 段階評価に重みを付けて数値化
 円の大きさは子実の乾物収量を示す。

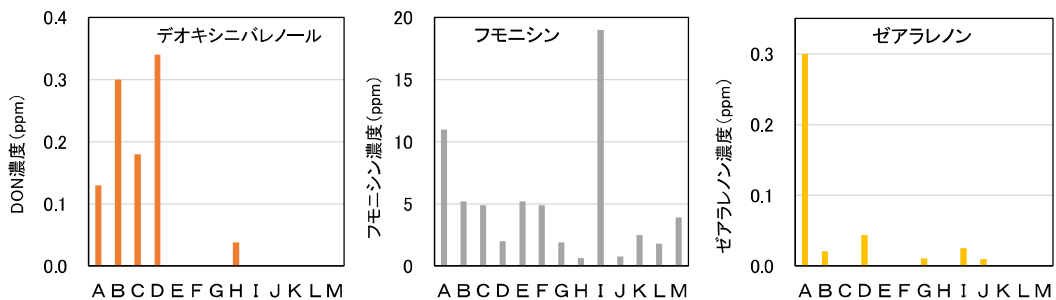


図3. 完熟期に収穫したトウモロコシ子実の主なかび毒の濃度の比較 (2021 年)
 注) 収穫した子実の水分は 26-28% の範囲である。

4) 乾燥調製

収穫したトウモロコシ子実は、広域流通に適した調製方法として乾燥調製が一般的に行われて

いる。乾燥機には米麦の他にダイズやソバの乾燥を行うことができる汎用型循環乾燥機が用いられるが、現時点では汎用型乾燥機に搭載されている水分計にトウモロコシ子実の水分を推定するための検量線は組込まれていない。そこで、株式会社山本製作所とともに、汎用型乾燥機に搭載する水分計にトウモロコシ子実の水分を推定するための検量線の策定を行っている。

2020年度に策定した検量線で推定した水分（乾燥機の表示水分）と実際の水分（絶乾法による水分）の関係については、水分25%以上では表示水分が実際の水分より高く表示され、逆に25%以下では低く表示される傾向があった。特に低い水分域において、実際の水分が乾燥機の表示水分より高い場合、設定した水分より高い状態で乾燥機が停止してしまうことから、その後の保管時のリスクが高まることになる。そのため2021年度に検量線の改良を行った結果、張込み直後から仕上がり水分までの水分域での誤差は1%以内に収まった（図4）。また、表示水分を実際の水分よりやや高めめに推定するように設定したことから、仕上がり時の実際の水分が高いために生じる保管後の品質へのリスクが軽減されると考える。

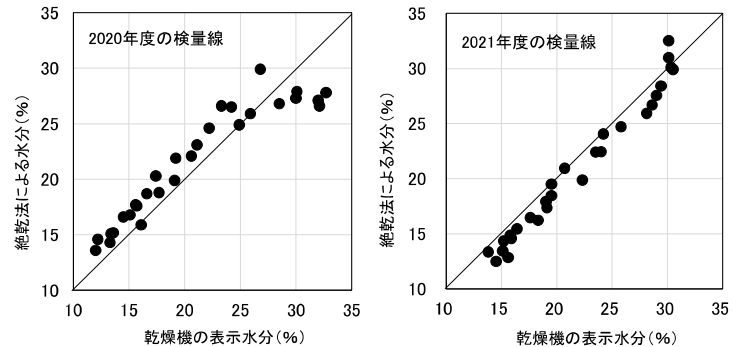


図4. 汎用型乾燥機に搭載されている水分計の推定精度

注) 汎用型乾燥機は HD40AM2ある。

絶乾法は粉碎後の試料を 135℃2 時間乾燥させた後の水分である。

乾燥調製経費は多収栽培や規模拡大によって削減はできないものの、乾燥機に張込んだ後は、乾燥終了後の排出までの間に作業を必要としない。また、多収にともなって1日の処理量を増やすためには、乾燥機の稼働率（回転率）を上げることも必要になってくる。今後、乾燥機の熱風温度や風量と乾燥速度および燃費（灯油代、電気代）との関係を調査し、ユーザの要望にあった乾燥条件を提示することも必要である。

③保管時の安全性

乾燥後のトウモロコシ子実は、フレコン等に詰込んで保管するが、冷温倉庫での保管では多大な経費が必要になることから、常温倉庫で保管することになる。簡易テント倉庫に保管した場合の穀物温度は、収穫翌年の7月になると徐々に上昇し、8月上旬には37℃以上に達した（図5）。但し、かび毒の一つであるDONは検出されず、フモニシンについても基準値以下であった。しかし、7月中旬

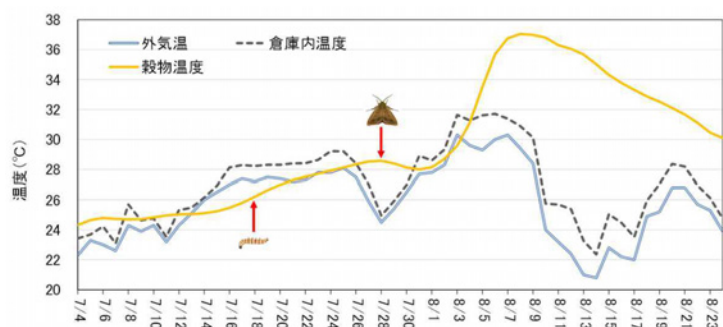


図5. トウモロコシ子実の保管時の穀物温度の変化

注) 簡易テント倉庫内で1t用のフレコンバックに2020年10月8日から保管した。保管開始時のトウモロコシ子実の水分は約14%である。

からメイガの幼虫が確認され、7月下旬になると成虫が多発したことから、翌年のトウモロコシの収穫までの1年間の長期保管のためには、かびの発生を抑制するとともに、貯蔵害虫の発生を抑制することも重要である。

4. 地域肥料資源を活用した飼料用穀物生産

「みどりの食料システム戦略」においては、2050年までに輸入原料や化石燃料を原料とした化学肥料の使用量を30%低減することを目指しており、家畜堆肥の活用は当然のことながら、他の地域肥料資源の探索と、その活用技術についての検討も必要になってくる。

1) 下水道資源を活用した飼料用米の生産技術

下水処理水や汚泥コンポストの農業利用は研究レベル、実用レベルとも古くから行われてきたが、水資源に乏しい地域での灌漑利用や化学肥料の一部を代替するに過ぎなかった。そこで、飼料用米栽培（「べこあおば」）において、下水処理水を「掛け流し」によって連続灌漑することで、天然の水資源をまったく消費せず、しかも化学肥料を一切用いずに、化成肥料で栽培した飼料用米と同等の収量が得られるだけでなく、高タンパクで栄養価の高い飼料用米を栽培できることを確認している。ただし、本技術は処理施設から送水できる範囲に限定されるため、今後、下水処理水が活用できない水田での飼料用米生産にも利用できるように、下水汚泥を堆肥化した汚泥コンポストの活用や、肥料成分を濃縮した「汚泥濃縮液」の抽出技術などを検討し、子実用トウモロコシや輪作体系におけるコムギやダイズなどの加工用穀物栽培への活用へと展開する予定である。このように、下水道資源の活用は、穀物生産を支える肥料を地域資源で賄うことによって、耕種と畜産の間の循環だけでなく、ヒトを含めた地域全体の循環が成立することになる。

2) 下水道資源や豚骨スープ残渣を活用した飼料用穀物（子実用トウモロコシ）の生産技術

前述のように下水道資源としては、処理水の外に下水汚泥を堆肥化した汚泥コンポストも活用できる地域肥料資源である。その他に山形県庄内地域は、養豚の盛んな地域であり（肉用豚：77,000頭（2016年））、豚骨エキス抽出残渣（以下、蒸製骨粉）も、地域肥料資源として活用できる可能性がある。蒸製骨粉はリン酸含量が豊富で地域肥料資源として圃場に還元できれば、豚1頭を無駄なく活用できる。家畜堆肥等の地域肥料資源を用いた作物生産において、肥料設計を行う場合には、作物生産にとって最も重要な窒素要求量を満たすように施用量を決定する。しかし、作物要求量よりも多くのリン酸が土壤に投入されると、土壤に蓄積したリン酸が水系に流出して富栄養化の危険性を高めることが懸念される。そこで、環境への負荷を与えることなく、地域肥料資源を有効活用するために、窒素また

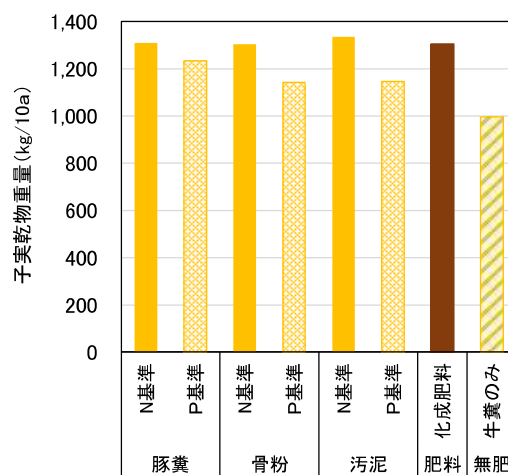


図6. 地域肥料資源を活用したトウモロコシ子実の収量
注)各試験区ともベースとして牛糞堆肥を2t/10a施用した。
肥料資源は窒素またはリン酸を基準に15kg/10aを施用した。

はリン酸を基準として地域肥料資源を活用した場合の子実用トウモロコシの収量性を検討した結果、窒素基準で地域肥料資源を施用することによって、化成肥料を用いた場合のトウモロコシ子実収量と同等の収量が確保できた（図 6）。子実用トウモロコシ栽培において、肥料費の占める割合は大きいことから（表 1）、地域肥料資源の活用は栽培経費の削減にもつながる。今後、各地域肥料資源の施用量や連年施用による土壌へのリン酸の蓄積状況等を調査し、適正な施用量を明らかにするとともに、輪作体系におけるコムギやダイズなどの加工用穀物栽培への活用へと展開する予定である。

5. 地域飼料資源としてのコムギ製粉副産物の利用

ムギは北海道では畑輪作を支える基幹作物であるが、都府県においては水田作における転作や裏作作物として重要な作物となっている。特に東北地方では1年1作体系が多いが、ダイズやソバと組合わせた1年2作、イネ・ムギ・ダイズによる2年3作体系もある（図 7）。スマート・テロワール構想では、永久畑地化した水田において、その輪作作物の一つに子実用トウモロコシを導入することによって、コムギの増収や品質の向上を図ることを目的としている。

コムギは需要量のうち、全体の90%は国家貿易によって外国産麦を一元輸入しており、国産コムギの民間流通によって取引されているのは10%程度である。スマート・テロワール構想では、輪作体系において生産されたコムギは、地域の製粉メーカーで小麦粉にし、その製粉副産物（ふすま）を地域に戻し、地域産のトウモロコシ子実とともに、家畜飼料として利用することを検討してきた。この場合、地域産コムギの製粉副産物のふすま（玄ムギの約20%）は、一定の時期に地域に戻ってくることになる。そのため、保管庫の確保や保管技術の確立が今後の重要な課題である。

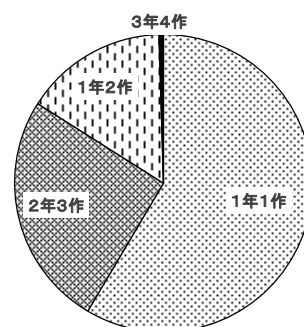


図7. 東北地方における麦の作付け体系
注) 麦をめぐる情勢(2020年)より作

6. 地域産飼料資源をフル活用した豚の肥育

飼料用穀物（飼料用米や子実トウモロコシ）や製粉副産物を活用した肥育豚飼料の原料自給率（地域産原料利用率）は80%以上である（表3）。山形県庄内地域は東北日本海側に位置し、配合飼料工場は主に太平洋湾岸地帯にあることから、他の地域よりも飼料価格は高い。そのため、地域産原料をフルに活用した配合飼料を供給することのメリットは大きい。しかし、このような地域産飼料資源を有効活用するためには、自家配合施設などが必要になるため、家族労働が中心の中小規模経営体では、その利用が困難である。しかし、国連では2019年-2028年を「家族農業の10年」と定め、各国に食料安全保障の確保と貧困・飢餓撲滅に大きな役割を果たしている家族農業に係る施策の推進等を求めていることから、地域産飼料資源のサプライチェーンを構築し、中小規模の養豚経営体を支援する体制を構築することは非常に重要である。

表3. 地域産飼料資源を用いた肥育豚用飼料の配合割合

原料の区分	配合割合 (%)	原料名
穀類	71.1	トウモロコシ、飼料用米
植物性油粕	14.0	大豆粕
糟糠類	10.7	ふすま
その他	4.2	アルファルファ、サブリ

注) 体重が概 70kg を超えた肥育豚用

令和3年度 自給飼料利用研究会 資料

編集・発行 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門
研究推進部研究推進室

〒329-2793 栃木県那須塩原市千本松768

Tel. 0287-36-0111 Fax. 0287-36-6629

Web問い合わせフォーム

<https://www.naro.go.jp/inquiry/index.html>

発行日：令和3年12月

本資料より転載・複製する場合は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構の許可を得て下さい。