

技術紹介

元 三重県農業研究所 生産技術研究室 農産研究課
(現 三重県中央農業改良普及センター)

元 主査研究員 現主査

三重県農業研究所 基盤技術研究室 フード・循環研究課
主査研究員

大野 鉄平

堂本 晶子

水田2年3作体系の水稲「なついろ」栽培におけるヘアリーベッチを活用した窒素無施肥栽培技術の検討

●ポイント

- ・三重県では大豆収穫後の11～12月上旬にヘアリーベッチを播種し、水稲移植7日前まで生育させることで水稲栽培に必要な窒素供給量を確保できる。
- ・移植7～10日前のヘアリーベッチ鋤き込みでは還元障害が発生するため、移植12日後頃からの「早期中干し」が推奨される。これにより、根傷みを抑制し、その後の生育回復を確実にすることが可能となる。
- ・ヘアリーベッチの窒素供給の特性で生じる栽培管理上のリスク回避のために、多窒素でも倒伏せず、いもち病にも極めて強い水稲品種を用いることが有効である。
- ・ヘアリーベッチの窒素供給は短期だが、早生品種であれば登熟まで窒素供給できる可能性が高いと考えられる。

1. はじめに

現在、日本の農業は持続的発展に向けて大きな転換期を迎えています。農林水産省が掲げる「みどりの食料システム戦略」(2021)に基づき、2050年までに化学肥料の使用量を30%低減するという高い目標が設定されました。また、化学肥料等については、輸入価格の高騰や原料供給国からの輸出の停滞等の安定供給を脅かす事態が生じるなど食料安全保障のリスクが増大しています。こうした背景から、化学肥料に依存しない農法の確立が急務となっており、なかでも空気中の窒素を固定する能力に優れたマメ科緑肥のヘアリーベッチ¹⁾が注目されています。三重県の水田農業では水稲－麦－大豆の2年3

作輪作体系が定着しており、転作可能地域ではその割合は93%にも達します。本稿では、三重県の水田2年3作体系におけるヘアリーベッチの活用法について報告します。

2. 持続可能な農業と三重県における課題

緑肥を栽培するために作付け1作を休止することにより多くの生産者が消極的であり、三重県における水稲作での緑肥を含むカバークロップ利用率はわずか0.06% (2024年度) と、全国平均の10分の1以下という低い水準に留まっています。

2年3作体系において緑肥を導入できる期間としては、大豆収穫後から水稲移植前、水稲収穫後から麦播種前、麦収穫後から大豆播種前が考えられます。しかし、後者の2つの作間は短く、緑肥の十分な生育量を確保することが困難です。また、前作の収穫と後作の播種作業が近接するため、緑肥の播種や鋤き込み作業との競合も課題となります。一方、大豆収穫後から水稲移植前は、比較的長い期間を確保でき、緑肥の生育量、ひいては窒素供給量を確保できる可能性があります。

そこで、2年3作体系に適した緑肥利用技術を確立するために、大豆収穫後から水稲移植前までの期間を利用したヘアリーベッチ栽培と、栽培性に優れた三重県育成の水稲早生品種「なついろ[※]」²⁾ (令和5年品種登録) を組み合わせた窒素無施肥栽培技術について検討を行いました。

※ PVP 海外持出禁止 (農林水産大臣公示有)

3. 水稲「なついろ」の特性とヘアリーベッチを用いた窒素無施肥栽培への適性

「なついろ」は早生品種であり、生育期間が短い

ため、分解が早く窒素供給が短期間となることが想定されるヘアリーベッチを用いた場合でも、登熟期まで窒素供給できる可能性があります。また、短稈で耐倒伏性が強く、葉いもち抵抗性（圃場抵抗性）が「極強」であるため、ヘアリーベッチにより比較的多量の窒素（窒素換算1.5～2.5kg/a程度）が供給された場合でも、倒伏やいもち病の発生リスクを低減できます。

以上のことから、「なついろ」はヘアリーベッチを用いた窒素無施肥栽培に適した品種であると考えられました。

そこで、ヘアリーベッチの生育量を最大限確保するため腐熟期間を短縮した条件で、「なついろ」の生育・収量がどの程度維持されるかを検証するとともに、ヘアリーベッチ由来窒素のみを利用した水稻栽培の可能性について評価しました。

4. ヘアリーベッチによる窒素供給と還元障害

2022～2023年にかけて、三重県農業研究所内の大豆収穫後圃場において、ヘアリーベッチ（品種「マッサ」）の導入試験を実施しました。

ヘアリーベッチの播種時期による影響を調査するため、2022年11月11日（標播区）と2023年2月21日（晩播区）の2条件を比較しました。2023年4月21日の鋤き込み時の調査では、標播区のヘアリーベッチは草丈54cm、生重7.2kg/m²に達し、地上部から算出された全窒素量は29.4g/m²でした（表1）。一方、晩播区的全窒素量は10.8g/m²に留まりました（比較の慣行化成区の施肥窒素量は9.0g/m²）。

本試験では、限られた作間でヘアリーベッチの生育量と窒素供給量をできるだけ確保するため、ヘアリーベッチを水稻移植10日前の4月21日まで生育させました。このため、鋤き込みから水稻移植までの期間は一般的な2～3週間¹⁾よりも、土壌の還元化による水稻への影響が懸念される条件で実施しました。

ヘアリーベッチ鋤き込みの10日後（2023年5月1日）に「なついろ」を移植したところ、初期生育の抑制が認められました。中干し（6月8～18日）以

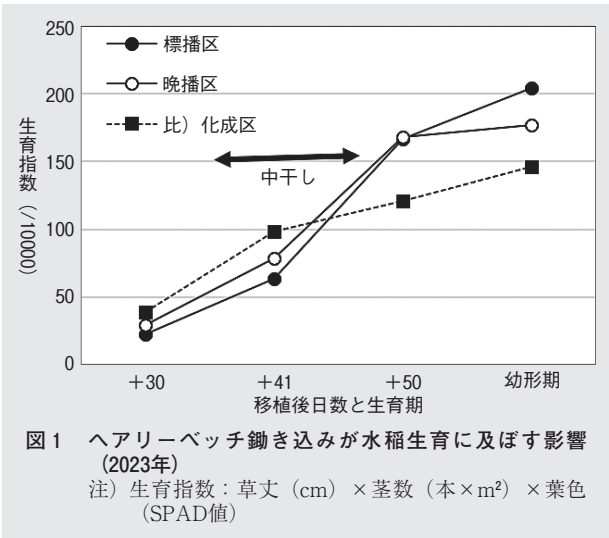


図1 ヘアリーベッチ鋤き込みが水稻生育に及ぼす影響 (2023年)
注) 生育指数：草丈 (cm) × 茎数 (本×m²) × 葉色 (SPAD値)

降は生育が顕著に回復したことから、還元化による障害が発生したと考えられました（図1）。

窒素吸収量は幼穂形成期以前で標播区・晩播区において化成区よりも多くなりましたが、幼穂形成期以降は逆転し、その傾向は晩播区で顕著でした（表2）。一方、窒素供給量が多かった標播区を含むすべての区で倒伏はみられず、いもち病の発生は確認されませんでした。

精玄米重は、化成区に対して標播区が92%、晩播区が90%となりました（表2）。標播区では幼穂形成期までの窒素吸収量が最も多く穂数およびm²粒数が確保できたものの、幼穂形成期以降の窒素供給量が穂数に対して少なかったことから、登熟歩合および千粒重が低くなりました。晩播区でも幼穂形成期後の窒素吸収量が少なかったことから、有意差はないものの登熟歩合が低下するとともに、千粒重が低くなりました。一方、標播区における玄米の外観品質や食味は化成区と同等の良好な結果が得られました（表3）。

以上の結果から、「なついろ」におけるヘアリーベッチ由来の窒素のみを利用した栽培では化成区と比較してやや減収したものの、倒伏やいもち病の発生がなく、良好な品質および食味が維持されました。また、ヘアリーベッチの生育量と窒素供給量を確保するためには、11月播種が有効であることが示

表1 播種日が異なるヘアリーベッチの生育調査結果と鋤き込み時の全窒素量（2022～2023年）									
試験区名	播種日	4月10日		4月17日		4月21日（鋤き込み時）			
		草高 (cm)	生重 (kg/m ²)	草高 (cm)	生重 (kg/m ²)	草高 (cm)	生重 (kg/m ²)	全窒素量 (g/m ²)	全炭素量 (g/m ²)
標播区	2022/11/11	56	4.1	43	4.9	54	7.2	29.4	357
晩播区	2023/2/21	—	—	—	—	31	1.9	10.8	98

注) 晩播区は生育量が小さかったため、4月17日まで調査を実施せず

表2 ヘアリーベッチ鋤き込み水田における水稻「なついろ」の成熟期調査、収量調査結果と窒素吸収量（2023年）

試験区名	成熟期 (月・日)	倒伏 程度 (0～5) ^{注1)}	稈長 (cm)	精玄 米重 (kg/a)	精玄 米重 対比	収量構成要素					窒素吸収量 (g/m ²)	
						穂数 (本/m ²)	一穂粒数	粒数 (×100粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	幼穂形成期	
											以前	以降
標播区	8.16	0	91a	58.5	92	426	77.0	328	79.2b	22.5b	6.6	6.9
晩播区	8.14	0	83b	57.2	90	379	75.7	287	86.8a	23.0ab	5.2	4.7
比)化成区 ^{注2)}	8.13	0	86b	63.6	100	373	82.7	309	85.8a	24.0a	4.5	8.1
分散分析 ^{注3)}	—	—	**	n. s.	—		n. s.	n. s.	*	*	—	—

注1) 倒伏の発生程度は無(0)～甚(5)の6段階評価。

注2) 比)化成区の窒素施肥量：基肥5kg/10a、追肥2kg/10a×2回

注3) 分散分析結果は、*は5%水準、**は1%水準で有意差があること、n. s.は5%水準で有意差がないことを示す。また異なる英小文字間には多重比較による有意差があることを示す。

表3 ヘアリーベッチ鋤き込み水田における水稻「なついろ」の玄米品質およびタンパク質含有率（2023年）

試験区名	玄米外観品質 (1～9) ^{注1)}	玄米品質判定					玄米タンパク質 含有率 (%)	食味官能試験 (+3～-3) ^{注2)}
		整粒 (%)	胴割粒 (%)	乳白粒 (%)	腹白・背白粒 (%)	基部未熟粒 (%)		
標播区	5.0	95.1a	2.8	0.3b	0.1	0.2	7.0a	-0.28
晩播区	7.0	87.9b	3.8	2.2a	1.3	0.5	6.1b	—
比)化成区 ^{注3)}	6.0	92.2ab	3.9	1.1b	0.5	0.5	7.0a	0.00
分散分析 ^{注4)}	n. s.	*	n. s.	*	n. s.	n. s.	**	n. s.

注1) 「上の上」(1)～「下の下」(9)の9段階評価

注2) 標準栽培のコシヒカリと比較して、不良(-3)～並(0)～良(+3)の7段階評価

注3) 比)化成区の窒素施肥量：基肥5kg/10a、追肥2kg/10a×2回

注4) 分散分析結果は、*は5%水準、**は1%水準で有意差があること、n. s.は5%水準で有意差がないことを示す。また異なる英小文字間には多重比較による有意差があることを示す。

されました。一方、ヘアリーベッチの生育量確保を優先して腐熟期間を短縮した条件では還元障害による初期生育の抑制が認められましたが、中干し後には生育が大きく回復しました。このことから、鋤き込みに伴う還元障害は、水管理によって軽減できる可能性が示されました。

そこで、還元障害をより早い時期に軽減する水管理技術について、検討することとしました。

5. 窒素無施肥栽培の年次評価と早期中干し効果の検証

2022～2023年の試験では、還元障害による初期生育の抑制が認められた一方、中干し後には生育が大きく回復しました。そこで、ヘアリーベッチ由来窒素のみを利用した「なついろ」の栽培における年次安定性を評価するとともに、還元障害を軽減するため、三重県で一般的に行う移植約40日後からの中干しに加えて、水稻活着後となる移植12日後にも中干しを実施する「早期中干し」の効果を検証しました。

ヘアリーベッチは2023年12月4日に播種し、2024年4月26日に鋤き込みました。しかし、湿害の影響によりヘアリーベッチの生育量が十分に確保できませんでした。そこで、試験区外で栽培したヘアリーベッチを追加し、鋤き込み時の全窒素量を30g/m² (N30区) および15g/m² (N15区) に調整し、ヘア

リーベッチ由来窒素量の違いが水稻の生育・収量に及ぼす影響を評価しました（比較の慣行化成区は施肥窒素量9.0g/m²）。さらに、N30区では、移植12日後の早期中干しと42日後の一般的な中干しを行う「早期-N30区」を設け、移植42日後のみ中干しを行う「N30区」と比較することで、早期中干しによる還元障害の軽減効果について検討しました。

ヘアリーベッチ鋤き込みの5日後（2024年5月1日）に「なついろ」を移植したところ、慣行中干しのみの実施では、N30区およびN15区とも、生育初期には還元障害による生育抑制が認められました。しかし、中干し後には生育が回復し、化成区を上回る生育指数となりました（図2）。

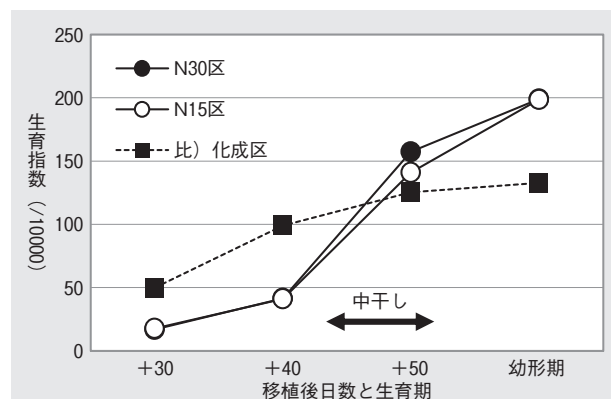


図2 ヘアリーベッチ鋤き込み量の違いが水稻生育に及ぼす影響（2024年）

注) 生育指数：草丈 (cm) × 茎数 (本×m²) × 葉色 (SPAD値)

表4 ヘアリーベッチ鋤き込み水田における水稻「なついろ」の成熟期調査、収量調査結果と窒素吸収量（2024年）

試験区名	成熟期 (月. 日)	倒伏 程度 (0-5) ^{注1)}	稈長 (cm)	精玄 米重 (kg/a)	精玄 米重 対比	収量構成要素					窒素吸収量 (g/m ²)	
						穂数 (本/m ²)	一穂穂数	粒数 (×100粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	幼穂形成期	
											以前	以降
N30区	8. 16	0	86. 4	51. 3	105	431b	67. 5	291	81. 7	21. 6b	4. 8	7. 0
N15区	8. 15	0	85. 5	52. 3	107	422ab	66. 4	280	86. 3	21. 6b	3. 9	7. 2
比) 化成区 ^{注2)}	8. 12	0	80. 8	48. 8	100	366a	62. 3	228	92. 6	23. 1a	3. 1	7. 2
分散分析 ^{注3)}	—	—	n. s.	n. s.	—	*	n. s.	n. s.	n. s.	*	n. s.	n. s.

注1) 倒伏の発生程度は無(0)～甚(5)の6段階評価

注2) 比) 化成区の窒素施肥量：基肥5 kg/10a、追肥2 kg/10a×2回

注3) 分散分析結果は、*は5%水準、**は1%水準で有意差があること、n. s. は5%水準で有意差がないことを示す。また異なる英小文字間には多重比較による有意差があることを示す。



写真1 早期中干しがN30区の根量に与える影響（左：慣行-N30、右：早期-N30）移植27日後（早期中干し終了後）の様子（三重県）

精玄米重は、化成区を100%とした場合、N30区で105%、N15区で107%となり、いずれも化成区を上回りました。これは、当年度の試験では幼穂形成期以降の窒素吸収量が化成区と同程度に確保されたことが主因と考えられました（表4）。また、2023年度と同様に、倒伏やいもち病は認められませんでした。

還元障害がみられたN30区において、早期中干しを実施した早期-N30区を設置し、処理後の根を観察したところ、N30区では根全体が暗褐色を呈し、

表5 ヘアリーベッチ鋤き込み水田の早期中干しが水稻「なついろ」の根乾物重に与える影響

試験区名	根乾物重 ^{注1)} (g/株)
早期-N30区	4. 1b
N30区	3. 0a
化成区	3. 5ab
分散分析 ^{注2)}	†

注1) 乾物重は幼穂形成期（6/25）に調査

注2) †：異なる英小文字間には10%水準で有意差があることを示す。

根量も少なかったのに対し、早期-N30区では新根の発生が多数確認されました（写真1）。また、幼穂形成期の根乾物重は、早期-N30区で4.1g/株、N30区で3.0g/株となり、早期中干しによって根の生育が改善されることが示されました（表5）。

精玄米重は、化成区を100%とした場合、早期-N30区で102%、N30区で105%となり、今回の試験条件では早期中干しによる増収効果は認められませんでした（表6）。早期-N30区で収量が伸びなかった要因として、2回の中干しによってヘアリーベッチの分解および硝化を経由した流亡・脱窒が促進され、生育後半の窒素吸収量がN30区よりやや少なくなったことが考えられました。

以上より、早期中干しは必ずしも増収に直結する技術ではないものの、ヘアリーベッチ鋤き込みに伴う還元障害を軽減し、根の健全性を維持するための水管理技術として有効であることが示されました。

表6 早期中干し条件のヘアリーベッチ鋤き込み水田における水稻「なついろ」の成熟期調査及び収量調査の結果と窒素吸収量（2024年）

試験区名	成熟期 (月. 日)	倒伏 程度 (0-5) ^{注1)}	稈長 (cm)	精玄 米重 (kg/a)	精玄 米重 対比	収量構成要素					窒素吸収量 (g/m ²)	
						穂数 (本/m ²)	一穂穂数	粒数 (×100粒/m ²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	幼穂形成期	
											以前	以降
早期-N30区	8. 16	0	87. 1a	49. 8a	102	399ab	66. 9	267ab	84. 5ab	22. 1bc	4. 4	6. 0
N30区	8. 16	0	86. 4a	51. 3a	105	431b	67. 5	291a	81. 7b	21. 6c	4. 8	7. 0
比) 慣行-化成区 ^{注2)}	8. 12	0	80. 8ab	48. 8ab	100	366a	62. 3	228b	92. 6a	23. 1a	3. 1	7. 2
分散分析 ^{注3)}	—	—	**	*	—	*	n. s.	*	*	**	n. s.	n. s.

注1) 倒伏の発生程度は無(0)～甚(5)の6段階評価

注2) 比) 慣行-化成区の窒素施肥量：基肥5 kg/10a、追肥2 kg/10a×2回

注3) 分散分析結果は、*は5%水準、**は1%水準で有意差があること、n. s. は5%水準で有意差がないことを示す。また異なる英小文字間には多重比較による有意差があることを示す。

特に、鋤き込み量が多い場合など、還元障害が強く発生する条件では、有効なリスク回避手段になると考えられます。

6. 三重県の水稲栽培を想定した気象条件下におけるヘアリーベッチの窒素無機化特性

三重県の2年3作体系における気象条件を反映させたヘアリーベッチの窒素無機化特性を以下の手順で評価しました。

- ①腐熟期間として、7または14日間、15℃（2013～2022年の4/25～30の平均気温を参考に設定）で畑培養を実施
- ②中干し前湛水は湛水後の28日間、30℃（積算温度が中干し開始時期に相当）で湛水培養を実施
- ③中干しとして、落水処理後の7日間を30℃で畑培養
- ④中干し後湛水は、再湛水して30℃で湛水培養

これらの手順において、中干し前湛水後および中干し後湛水14、28日後にアンモニア態窒素を測定し、各期間におけるヘアリーベッチ由来窒素無機化率を算出しました。

その結果、水稲栽培中のヘアリーベッチの窒素は、腐熟期間（7、14日間）にかかわらず、中干し前までに約50%が無機化しました（図3）。一方、中干し後0～28日間では、腐熟期間7日間では約15%、14日間では約30%の窒素が追加で無機化し、それぞれ約65%および約80%が無機化しました。既報によると鋤き込まれたヘアリーベッチは初期に窒素が無機化し、中干し後の無機化は見込めないとされています³⁾が、本試験では中干し後の生育後半にも窒素無機化が継続することが確認されました。

7. 2年3作体系への実装に向けた指針と今後の展望

本研究の成果から、三重県の標準的な2年3作体系において、ヘアリーベッチと「なついろ」を組み合わせた窒素無施肥栽培を成功させるための技術的ポイントを整理しました。

POINT 1 ヘアリーベッチの生育量と窒素供給量の確保

大豆収穫後の11月中旬から12月上旬までにヘアリーベッチを播種し、水稲移植7日程度前まで生育させることで、後作水稲における窒素供給量を確保できる可能性があります。本試験では、15～30g N/m²程度のヘアリーベッチ由来窒素が供給された

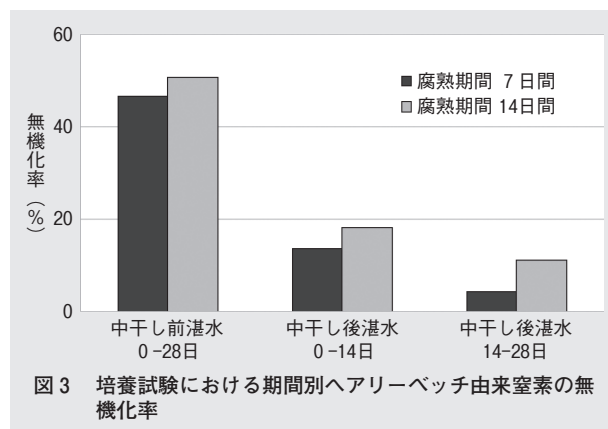


図3 培養試験における期間別ヘアリーベッチ由来窒素の無機化率

条件で、化成肥料栽培と同等の収量が得られました。

POINT 2 適切な水管理の導入

ヘアリーベッチを移植5～7日前に鋤き込んだ圃場では還元障害が発生しやすいため、移植12日後頃からの「早期中干し」の実施が推奨されます。これにより、初期の根傷みを抑制し、その後の生育回復を確実にすることが可能となります。

POINT 3 「なついろ」の品種特性の最大活用

多窒素条件下でも倒伏せず、いもち病にも極めて強い「なついろ」を用いることで、栽培管理上のリスクが大幅に低減されます。ヘアリーベッチは分解が早く窒素供給が短期間ですが、早生品種であれば登熟まで窒素供給できる可能性が高いと考えられます。

今後は、さらなる省力化を目指したヘアリーベッチの播種技術や、年次や圃場ごとの窒素発現をより正確に予測する技術の確立が必要です。この環境調和型の栽培技術が、三重県のみならず、同様の課題を抱える全国の輪作地帯において、持続可能な農業の新たなスタンダードとして普及していくことを期待しています。

8. 参考文献

- 1) 小川拓也 (2024). 都府県 水田緑肥としてヘアリーベッチ導入の効果と栽培のポイント. 牧草と園芸, 72 (3): 16～21.
- 2) 松本健吾 (2019). 高品質良食味で栽培性に優れる早生の水稲新品種「なついろ」. 令和元年度三重農研成果情報
- 3) 高山尊之・猪田有美・河村紀衣・楠田理恵・武久邦彦 (2021). 水田土壌における緑肥に含まれる窒素の無機化特性. 令和2年度滋賀県農林水産主要試験研究成果. 29: 23-24.