

水稻品種「ミネアサヒSBL」良食味栽培のための 幼穂形成期予測技術の開発

後藤寛明¹⁾・吉田朋史¹⁾・谷本 涼²⁾・谷 俊男³⁾・日置雅之⁴⁾・鈴木 潤⁵⁾

摘要: 愛知県中山間地域で栽培される「ミネアサヒSBL」について、幼穂形成期の簡便な予測を試みた。山間農業研究所内ほ場での複数年度の幼穂調査の結果、幼穂長と積算気温との間に高い相関があり、積算気温から幼穂長を予測する式が得られた。この予測式を用いると、幼穂長1 mm、2 mmに相当する移植後積算気温はそれぞれ1018°C、1065°Cであり、穂肥適期の予測に役立つ情報が得られた。予測誤差は日数に換算すると1.7日で実用的な精度が得られた。

キーワード: ミネアサヒSBL、幼穂長、幼穂形成期、積算気温、穂肥適期

緒言

極良食味でいもち病抵抗性が極強の「ミネアサヒSBL」¹⁾は、愛知県の中山間地域で約1600 ha普及し、一般財団法人日本穀物検定協会が公表する米の食味ランキングで2022、23年度に県内で唯一特A評価を取得した。ブランド米としての地位をさらに向上するためには、玄米タンパク質含有率を低減させる等の極良食味栽培技術が必要である。

玄米タンパク質含有率は穂揃期の穎花の非構造化炭水化物量が多いほど低く²⁾、幼穂形成及び登熟期間の炭水化物生産を促すために幼穂形成期の窒素施肥が行われる³⁾。穂肥の施用が早いと籾数過剰による登熟不良や玄米外観品質低下を招く懸念があり、穂肥の施用が遅いほど玄米タンパク質含有率が高くなる⁴⁾ため、穂肥を適期に施用することは重要である。より正確に穂肥適期を知るには、幼穂形成期を正確に判断しなければならない。しかし、微小な幼穂長の実測には技術と労力が必要で、生産現場でより正確で簡便に利用できる幼穂形成期予測技術が求められる。

水稻の幼穂長を積算気温から推定する手法について、中園ら⁵⁾は「あきたこまち」、「コシヒカリ」、「日本晴」において、穂の最終長を100%とした相対幼穂長と、幼穂形成始期からの積算気温との関係式を作成している。著者らは「ミネアサヒ」の感温性が大きく日長の影響を受けにくい特性⁶⁾を踏まえ、「ミネアサヒ」と同質遺伝子系統で同様の出穂特性を有する「ミネアサヒSBL」¹⁾について、幼穂長と積算気温との間の関係式を得ることで温度から幼穂形成期を推定できると考えた。幼穂形成期について、濱田ら⁷⁾は従来の肥培管理で出

穂前25日、幼穂長1 mmから2 mmの時点としている。また、中園ら⁵⁾は幼穂長1 mmを、田中ら⁸⁾は2 mmを幼穂形成期としており、これに基づいて著者らは幼穂形成期を1 mmから2 mmとした。

本研究では「ミネアサヒSBL」の生産現場で穂肥適期を簡便かつ高精度に予測する技術の確立を目的とし、移植翌日からの積算気温(以降、移植後積算気温と表記)により幼穂長を予測する式を作ることで、幼穂形成期の推定を試みた。

材料及び方法

1 積算気温による幼穂長予測式の作成

積算気温による幼穂長予測式を作成するために、2020年から2023年に山間農業研究所内水田(標高505~506 m)にて幼穂長を調査した(表1)。幼穂長の調査では、ほ場全体から生育が中庸な10株を選び、各株の最長茎の幼穂を採取した。実体顕微鏡を用いて幼穂長を測定し、10株の平均を求めた。移植後積算気温は、地域気象観測システム(アメダス)稲武観測所の気温データを用いて、調査ほ場の移植翌日からの日平均気温をそれぞれ積算して求めた。幼穂長、移植後積算気温について、最小二乗法により両者の関係を表す近似式を得た。

2 現地ほ場における予測式の検証

1で作成した予測式を検証するために、2020年から2023年に表2に示す現地ほ場で1と同様に幼穂長調査を行った。農研機構メッシュ農業気象データ⁹⁾を用いて、調査日の移植後

¹⁾山間農業研究所 ²⁾山間農業研究所(現西三河農林水産事務所) ³⁾山間農業研究所(退職) ⁴⁾山間農業研究所(現環境基盤研究部) ⁵⁾山間農業研究所(現東三河農林水産事務所)

積算気温を求め、これを予測式に代入することで幼穂長の予測値を得た。幼穂長の予測値と実測値の平均絶対誤差(MAE)を求めることで、予測式の精度を検証した。

続いて、予測誤差がどの程度の日数に相当するか評価した。予測式に現地ほ場の実測幼穂長を代入し、移植後積算気温の予測値を得た。この予測値と調査時点の実際の積算気温との差を求め、誤差を積算気温で評価した。調査地点のメッシュ農業気象データにおける調査日の日平均気温の平年値で積算気温の誤差を割ることで、誤差を日数に換算し、MAEを求めた。

表1 幼穂長の測定に使用した所内ほ場

年度	ほ場名	標高	移植期	出穂期	測定回数
		m	月.日	月.日	
2020	A6	506	5.18	8.2	2
2020	C2	506	5.20	8.5	2
2021	C2	506	5.20	8.3	1
2022	B4	505	5.24	8.8	4
2022	C2	506	5.26	8.10	9
2023	C2	506	5.23	8.8	5
2023	C3	506	5.26	8.9	5

表2 幼穂長の測定に使用した現地ほ場

年度	所在	ほ場名	標高	移植期	出穂期	測定回数
		市	m	月.日	月.日	
2020	新城	菅沼	559	5.3	7.27	1
2020	新城	鴨ヶ谷1	530	5.23	8.8	3
2020	豊田	小原	427	5.5	7.31	1
2020	豊田	足助	244	5.12	7.29	1
2020	豊田	稲武	572	5.22	8.8	1
2020	岡崎	檜山	75	5.15	7.27	1
2020	岡崎	中金	135	5.15	7.28	1
2021	新城	菅沼	559	5.19	8.5	1
2021	新城	清岳	521	5.18	8.3	1
2022	豊田	小原	427	5.5	7.26	1
2022	豊田	稲武	572	5.16	8.7	1
2022	豊田	足助	244	5.3	7.20	1
2022	新城	善夫1	522	5.7	7.30	2
2022	新城	善夫2	522	5.7	7.30	2
2022	新城	田原1	516	5.9	8.1	2
2022	新城	田原2	520	5.20	8.5	2
2022	新城	鴨ヶ谷1	530	5.25	8.13	1
2022	新城	清岳	532	5.18	8.11	2
2022	新城	鴨ヶ谷2	532	5.25	8.13	1
2022	岡崎	中金	135	5.15	7.27	2
2022	岡崎	檜山	75	5.15	7.27	1
2023	新城	田原1	520	5.28	8.10	1

結果

1 移植後積算気温と幼穂長との関係式の導出

予測式を作成するために調査した幼穂長は0.5 mmから145.4 mm、調査時の移植後積算気温は1004°Cから1354°Cの範囲であった。幼穂長と移植後積算気温との間には、次の関係式が得られた(図1)。

$$y = 3.31 \times 10^{-7} e^{0.0147x}$$

y: 幼穂長(mm)

x: 移植後積算気温(°C)

4か年のデータを用いて作成した予測式の決定係数は0.970と極めて高かった。幼穂長1.0 mm及び2.0 mmに相当する積算気温は、予測式にこれらの数値を代入することで、それぞれ1018°C、1065°Cと推定された。

2 現地ほ場における予測式の検証

(1) 予測式による予測誤差の評価

現地ほ場で調査した幼穂長は0.3 mmから108.2 mm、調査時の移植後積算気温は917°Cから1316°C、標高は75 mから572 mの範囲であった。2020年から2023年に現地ほ場で幼穂調査を行った時点の予測幼穂長を横軸に、実測幼穂長を縦軸にとり、図2及び図3を得た。幼穂長の予測値と実測値との誤差は、幼穂長が長くなると増大した。そこで、実測幼穂長の範囲別に予測値と実測値の平均絶対誤差(MAE)を求め、予測式により精度よく幼穂長を推定できる実測幼穂長の上限を検討したところ、MAEが1 mm未満になるのは、実測幼穂長10 mm未満であった(表3)。

現地ほ場のデータを標高500 m以上と500 m未満に分け、それぞれで幼穂長の予測値と実測値との誤差を求めたところ、MAEは標高500 m未満で大きかった(表3)。実測幼穂長の範囲別にMAEを算出すると、幼穂長のデータが得られなかった2 mm未満を除き、いずれの範囲でも標高500 m以上でMAEが小さかった(表3)。

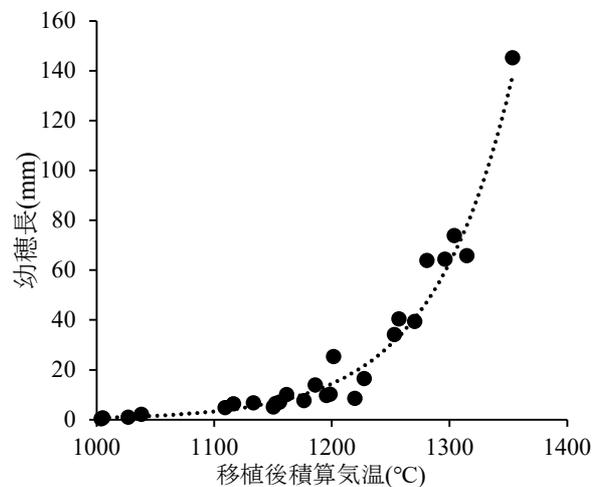


図1 幼穂長と移植後積算気温との関係 (2020~2023年、所内ほ場)

続いて、現地ほ場における調査データを移植期別に分類し、5月10日以前、5月11日から20日、5月21日以降のそれぞれでMAEを求めて表4及び表5を得た。その結果、標高500 m未満と500 m以上のいずれでも、5月21日以降の移植での予測誤差が小さかった(表4)。実測幼穂長と移植期の2軸でデータを分類しMAEを評価すると、5月11日から20日までの移植で予測誤差がやや大きい傾向がみられた(表5)。ただし、標高500 m未満で5月11日から20日移植の3地点(2020年の豊田市足助・岡崎市樫山・同中金)では、原因は特定できないがいずれも幼穂長の誤差が大きく、MAEは41.8 mmであり(表4)、この影響で5月11日から20日移植の全地点のMAEが14.7 mmに増加した。標高500 m以上では、移植期が遅い

ほど予測誤差が小さくなる傾向がみられた。

(2) 幼穂長の予測誤差の日数による評価

予測式の誤差を積算気温及び日数で評価した結果、表6及び表7を得た。日数に換算したMAEは、調査地点全体で1.7日、標高500 m未満で2.5日、500 m以上で1.3日であった。また、MAEは実測幼穂長や移植期によらず標高500 m未満で3日未満、標高500 m以上で2日未満となり、実測幼穂長や移植期のどの条件においても、標高500 m以上の方が500 m未満よりMAEが小さかった。穂肥適期の終盤に相当する幼穂長2 mmの予測については、標高500 m未満ではデータが得られていないが、500 m以上ではMAEは1.4日であった(表6)。

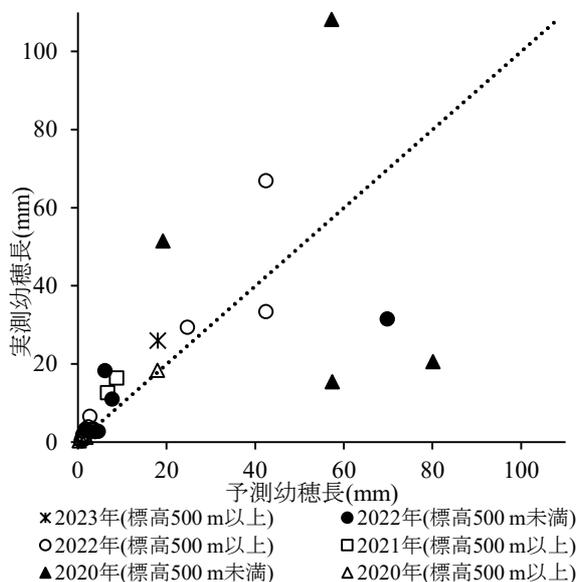


図2 予測式による幼穂長の予測と実測 (2020～2023年、現地ほ場)

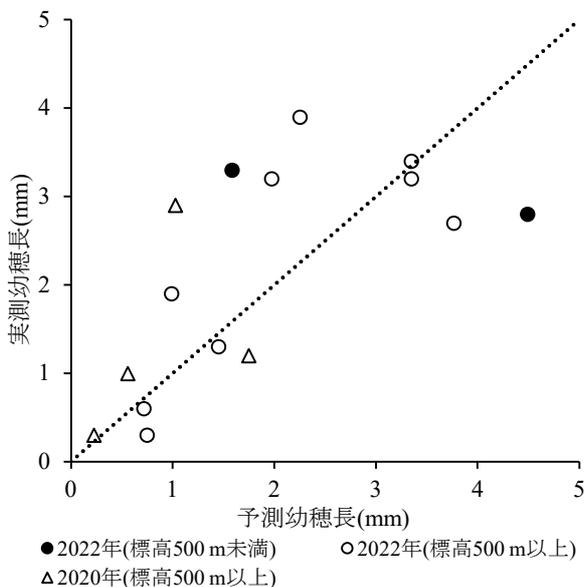


図3 予測式による幼穂長の予測と実測 (2020～2023年、現地ほ場、5 mm 以下のみ拡大)

表3 標高及び実測幼穂長別の MAE(単位 mm)

実測幼穂長	標高		
	500 m 未満	500 m 以上	全体
2 mm 未満	—	0.4(7)	0.4(7)
5 mm 未満	1.7(2)	0.7(13)	0.8(15)
10 mm 未満	1.7(2)	0.9(14)	1.0(16)※
20 mm 未満	12.2(5)	1.6(17)	4.0(22)
全体	26.9(9)	3.5(21)	10.5(30)

注) 表中の()内はサンプル数を表す。
※は 1.0 mm 未満

表4 標高及び移植期別の MAE(単位 mm)

移植期	標高		
	500 m 未満	500 m 以上	全体
～5.10	25.7(4)	5.7(7)	13.0(11)
5.11～20	41.8(3)	3.1(7)	14.7(10)
5.21～	7.0(2)	1.7(7)	2.8(9)
全体	26.9(9)	3.5(21)	10.5(30)

注) 表中の()内はサンプル数を表す。

表5 移植期及び実測幼穂長別の MAE(単位 mm)

実測幼穂長	移植期			
	～5.10	5.11～20	5.21～	全体
2 mm 未満	—	0.5(2)	0.3(5)	0.4(7)
5 mm 未満	0.8(4)	0.9(4)	0.7(7)	0.8(15)
10 mm 未満	0.8(4)	1.6(5)	0.7(7)	1.0(16)
20 mm 未満	1.2(6)	7.9(8)	2.2(8)	4.0(22)
全体	13.0(11)	14.7(10)	2.8(9)	10.5(30)

注) 表中の()内はサンプル数を表す。

表6 移植後積算気温及び日数による MAE(幼穂長別)

標高	積算気温	実測幼穂長			
		<2 mm	<5 mm	<10 mm	<20 mm
500 m 未満	積算気温	—	41.1	41.1	54.0
	日数	—	1.8	1.8	2.3
500 m 以上	積算気温	30.4	29.1	31.4	30.7
	日数	1.4	1.3	1.4	1.4
全体	積算気温	30.4	32.8	32.6	36.0
	日数	1.4	1.4	1.5	1.6

注) 積算気温の単位は℃、日数の単位は日である。

表7 移植後積算気温及び日数によるMAE(移植期別)

標高		移植期			
		～5.10	5.11～20	5.21～	全体
500 m	積算気温	52.5	65.8	60.0	58.6
	未満 日数	2.3	2.7	2.5	2.5
500 m	積算気温	13.6	36.3	35.9	28.6
	以上 日数	0.6	1.6	1.6	1.3
全体	積算気温	27.7	45.2	41.3	37.6
	日数	1.2	2.0	1.8	1.7

注) 積算気温の単位は℃、日数の単位は日である。

考察

本研究の主な成果は、標高505 mから506 mの山間農業研究所内ほ場のデータで幼穂長予測式を作成し、「ミネアサヒSBL」の栽培地域における幼穂形成期を移植後積算気温により誤差1.7日で予測できたことである。特に、標高500 m以上では標高500 m未満と比較して予測誤差が小さかった(表6,7)。この予測式を活用して、窒素施肥により籾数増加が期待できる幼穂長1 mmから2 mmの移植後積算気温について、二次枝梗分化開始にあたる幼穂長1 mmが1018℃、雄ざい・雌ざい原基の分化開始にあたる幼穂長2 mmが1065℃として幼穂形成期を予測できると考えられた。

現状の課題は、標高500 m未満の主要な栽培地域でのデータ数が少なく、特に本研究で幼穂形成期と設定した幼穂長1 mmから2 mmのデータが得られていないことである。今後、低標高地域でも幼穂形成期に幼穂長・移植後積算気温のデータを収集し、所内ほ場で得られた予測式で予測できるか、あるいは高標高地域と異なる予測式を使用した方が予測精度を向上できるか検証する必要がある。

穂肥適期を含む作物の生育ステージ予測に関する県内の現存の技術として、水稲の発育の量的変化の進行速度(発育速度・DVR)の関数を作成し、DVRの積算値(発育指数・DVI)を用いる手法がある⁷⁾。濱田らはDVIと幼穂の伸長経過の関係から幼穂長2 mmの時点のDVIを特定し、これに達する期日を幼穂形成期として予測しており、幼穂伸長とDVIとの間に非常に高い対応関係が認められている。また「コシヒカリ」の分施肥栽培において、平年気温によるシミュレーションで得たDVIの推移と比較し、幼穂長10 mm、DVI=0.73の時点をも穂肥1回目の適期に、「あいちのかおり」も同様に幼穂長2 mm、DVI=0.63を1回目の穂肥適期としている。このように、DVIは気温と日長の両方に依存する品種において精度よく生育を予測でき、水稲の多くの品種に活用できる。一方、「ミネアサヒSBL」は温度依存性が高いため、日長を考慮せず移植後積算気温1622℃を出穂期とする予測法が確立され、栽培管理支援ツールに実装され活用されている。この予測法は積算気温のみで出穂期を精度よく予測できることから、生産現場でDVIを用いた予測よりも簡便に行うことができる。著者らはこの手法を参考に、出穂に至る途中の生育ステージも積算気温で精度よく予測できるか検証したところ、標高500 m未満では誤差2.5日、標高500 m以上では誤差1.3

日と推定された。幼穂形成期の予測に関しては、栽培管理ツールに導入された手法が出穂期から25日遡って幼穂形成期とするのに対し、著者らの手法は移植後積算気温1018℃から1065℃を幼穂形成期として日数を介さず直接予測する点で異なる。また本手法はほ場での幼穂長の実測値を用いた予測式に基づくため、実際の幼穂伸長を加味した生育予測である点でも異なる。今後、著者らの予測式において十分な予測精度が確認できれば、出穂前日数による予測を補完する情報が得られ、幼穂長の生育状況も考慮した穂肥適期の判定に活用できると期待される。

謝辞: 西三河、豊田加茂、新城設楽農林水産事務所の各農業改良普及課の担当職員の皆様には、現地調査の計画、実施にて多大な助力をいただいた。現地試験を快諾し、ご協力くださった生産者の皆様に心より御礼申し上げる。

引用文献

- 鈴木太郎, 中村充, 坂紀邦, 池田彰弘, 寺島竹彦, 水上優子, 野々山利博, 吉田朋史, 城田雅毅, 加藤宏宏. 「ミネアサヒ」にイもち病抵抗性とイネ縞葉枯病抵抗性を付与した準同質遺伝子系統「中部138号」の育成. 愛知農総試研報. 49, 93-102(2017)
- 浅野真澄, 佐々木次郎, 佐々木美和, 千田晶子. 水稲穂揃期における非構造炭水化物量と玄米タンパク質含有率及び収量の関係. 東北農業試験研究協議会. 61, 19-20(2008)
- 松田裕之, 森静香, 藤井弘志, 安藤豊, 横山克至, 小南力. 幼穂形成期の追肥窒素量の違いが登熟期間の光合成や根の活性におよぼす影響:水稲の窒素吸収パターンと精米の食味の関係(第5報). 日本土壌肥料学雑誌. 72(5), 667-672(2001)
- 吉野裕一, 太田和也, 在原克之, 小山豊. 穂肥の施用法が水稲の玄米外観品質と食味に及ぼす影響. 千葉県農業総合センター研究報告. 6, 95-102(2007)
- 中園江, 井上君夫. 積算気温を用いた水稲の幼穂長および冷害危険期の推定. 日本作物学会紀事. 70(2), 247-254(2001)
- 高松美智則, 香村敏郎, 釈一郎, 谷口学, 伊藤和久. 水稲品種の特性解析に関する試験. 愛知農総試研報. 13, 39-47(1981)
- 濱田千裕, 野々山利博, 釈一郎, 小島元, 中嶋泰則, 友松啓二, 加藤裕司. 水稲の生育予測診断技術(第3報)発育速度の概念に基づく生育ステージ予測システムの試作. 愛知農総試研報. 23, 67-81(1991)
- 田中浩平, 宮崎真行, 内川修, 荒木雅登. 水稲の外観品質に及ぼす稲体窒素栄養条件や施肥法の影響. 日本作物学会紀事. 79(4), 450-459(2010)
- 大野宏之, 佐々木華織, 大原源二, 中園江. 実況値と数値予報、平年値を組み合わせたメッシュ気温・降水量データの作成. 生物と気象. 16, 71-79(2016)