

イネいもち病真性抵抗性マルチラインを構成する 同質遺伝子系統の混合割合が収量に与える影響

石崎和彦・金田智・松井崇晃

(新潟県農業総合研究所作物研究センター)

要旨：いもち病真性抵抗性マルチラインを構成する同質遺伝子系統の混合割合が収量性に与える影響を調査するため、抵抗性遺伝子型 *Pia*, *Pii*, *Pita-2*, *Piz* 及び抵抗性を持たない原品種を混合してマルチラインを構成し、いもち菌レース 137 を接種源とした穂いもち多発条件下で栽培した。4 種の真性抵抗性系統を原品種に 25% づつ混合する要因実験を行った結果、精玄米重、精玄米重歩合及び減収率において *Pita-2* 及び *Piz* 系統の混合の有無が大きな寄与率を示し、収量性は優占するレースに対する抵抗性系統の割合に大きく左右されることが明らかであった。また、収量性を維持するためには、*Pia*, *Pii*, *Pita-2* 及び *Piz* 系統をすべて混合する条件が最適であり、精玄米重は 411.7 g m^{-2} 、減収率は抵抗性系統の単植栽培と比較して 10.6% であった。一方、原品種の単独栽培においては、精玄米重は 259.1 g m^{-2} 、減収率は 43.7% となった。以上のことから、抵抗性及び罹病性系統を同じ比率で混合したマルチラインは、穂いもち多発条件下において、精玄米重を 152.6 g m^{-2} 増収し、減収率を 33.1% 改善する効果を持つことが示された。

キーワード：イネ、いもち病真性抵抗性、混合割合、多系品種、同質遺伝子系統。

マルチラインの育成と利用は、Jensen (1952) がエン麦の品種内における遺伝的な多様性が収量の安定的な増加に役立つと報告して以来、実用的な研究が取り組まれるようになった。病害の発生を抑制するための抵抗性マルチラインの利用は、コストが低く環境に与える負荷が小さな耕種的防除法の一つとして注目される。

新潟県の水稲栽培において、イネいもち病は最重要病害の一つである。いもち病は収量の大幅な減少を招くことから、常発地域では農業による防除が行われてきた。一方、安心・安全な農産物に対する消費者ニーズの高まりから、近年、農業の使用を控えた栽培技術の開発が求められている。このような背景の中、新潟県では、コシヒカリのいもち病真性抵抗性同質遺伝子系統を育成し (Ishizaki ら 2005)、これらの系統から構成されるマルチラインを 2005 年から実用に移し (石崎ら 2005)、いもち病の薬剤防除の

削減に成功した。

いもち病抵抗性マルチラインを永続的に利用するためには、いもち病菌レースの変化を常に調査把握し、レースの分布の変化に対応して使用する系統の種類とそれらの混合割合を決定する技術的対応が必要となる。これまで、いもち病真性抵抗性マルチラインを構成する同質遺伝子系統の混合割合と葉及び穂いもちの発病との関係は詳細な研究がなされており、分布するいもち病菌レースに対する抵抗性系統を混植すると、慣行の薬剤防除並の発病抑制効果を示すことが確認されている (進藤・堀野 1989, 小泉・藤 1994, 中島 1994, 小泉ら 1996, 松永 1996)。しかし、いずれも葉及び穂いもちの発病に関する疫学的な考察が中心であり、実用上重要な収量性との関係について直接解析するには至っていない。そこで、本報では、マルチラインを構成する系統の混合割合と玄米収量の関係を定量的に評価す

第 1 表 試験区の構成。

試験区番号	系統の混合割合 (%)					抵抗性系統の割合 (%)
	IL-a	IL-i	IL-ta-2	IL-z	新潟 76 号	
No. 1	25	25	25	25	0	50
No. 2	25	25	25	0	25	25
No. 3	25	25	0	25	25	25
No. 4	25	25	0	0	50	0
No. 5	25	0	25	25	25	50
No. 6	25	0	25	0	50	25
No. 7	25	0	0	25	50	25
No. 8	25	0	0	0	75	0
No. 9	0	25	25	25	25	50
No. 10	0	25	25	0	50	25
No. 11	0	25	0	25	50	25
No. 12	0	25	0	0	75	0
No. 13	0	0	25	25	50	50
No. 14	0	0	25	0	75	25
No. 15	0	0	0	25	75	25
No. 16	0	0	0	0	100	0
比) IL-ta-2 単植	0	0	100	0	0	100

ることを目的に要因実験を実施し、基礎的な知見を得ることができたので報告する。

材料と方法

材料は、新潟県農業総合研究所作物研究センターにおいて育成されたコシヒカリの半矮性同質遺伝子系統である新潟 76 号、新潟 76 号のいもち病抵抗性同質遺伝子系統である短稈 8IL-a、短稈 8IL-i、短稈 8IL-ta-2 及び短稈 8IL-z（以下 IL-a、IL-i、IL-ta-2 及び IL-z と記す）とした。供試系統のいもち病真性抵抗性推定遺伝子型は、新潟 76 号が +、IL-a、IL-i、IL-ta-2 及び IL-z がそれぞれ *Pia*、*Pii*、*Pita-2* 及び *Piz* である（石崎ら 2006）。第 1 表に試験区の構成を示す。試験は、原品種の 25% にあたる量を 4 種の同質遺伝子系統でそれぞれ置き換え、すべての組み合わせについて、乱塊法 3 反復で区を設定した。各試験区に占める抵抗性系統の割合は、*Pia* 及び *Pii* を侵すいもち菌レース 137（研 53-33）を伝染源に使用したことから、0、25 及び 50% であった。要因実験とは別に、減収率を算出するための比較として抵抗性系統 IL-ta-2 の単植区を設けた。試験は 2001 年に実施した。

耕種概要は、晩植の穂いもち検定試験に従った。即ち、播種期及び移植期は 6 月 4 日及び 7 月 6 日、栽植様式は条間 30 cm、株間 15 cm の 1 株 4 本植え、1 区当たり 26 株とした。なお、種子は試験区の設計に基づき播種前に均一に混合した。基肥は、窒素、リン酸、カリウムを各 6 g m^{-2} 、追肥は 8 月 27 日及び 9 月 3 日にそれぞれ窒素のみ 1.5 g m^{-2} を施用した。伝染源としてレース 137 を感染させた罹病葉を 8 月 14 日（出穂期 8 月 24 日の 10 日前）に散布し、その後、1 日に 6 回 1 回当たり 1.5 L m^{-2} の水をスプリンクラーで散水した。生育及び収量調査の詳細は、調査基準（新潟県農林水産部 1997）に従った。成熟期に、稈長、穂長及び穂数を調査し、10 月 14 日に 1 区当たり 20 株を刈り取り、乾燥後に脱穀すりして粗玄米重を求め、 1.85 mm の篩いで選別して精玄米重、精玄米重歩合及び千粒重を算出した。各試験区の減収率は、比較として設けた抵抗性系統 IL-ta-2 単植区と各試験区の精玄米重の差を IL-ta-2 単植区の精玄米重で除して求めた。穂いもち発病程度は 10 月 4 日に試験区ごとに畔際から達観で調査し、0（罹病を認めない）～10（全穂首が罹病）の 11 段階にて評価した（浅賀 1981）。玄米の外観品質は、食糧事務所の等級検査基準品を参照し、1（上の上）から 9（下の下）の 9 段階評価とした。

結果と考察

第 2 表に主要特性の分散分析結果を示す。なお、要因間の交互作用は、いずれも有意性が認められなかったため、誤差に組み入れて、再度、主要因の有意性を求めた。稈長、穂長及び穂数は、すべての要因で有意な差が認められず、生育は均一であったことが推察される。精玄米重及び減収

第 2 表 主要特性の分散分析表。

特性	要因	自由度	分散比	寄与率 (%)
稈長 (cm)	IL-a 混合の有無	1	0.04 ns	0
	IL-i 混合の有無	1	0.63 ns	0
	IL-ta-2 混合の有無	1	3.12 ns	4.6
	IL-z 混合の有無	1	0.89 ns	0
	反復	2	0.02 ns	0
	誤差	41		95.4
穂長 (cm)	IL-a 混合の有無	1	0.50 ns	0
	IL-i 混合の有無	1	0.04 ns	0
	IL-ta-2 混合の有無	1	0.07 ns	0
	IL-z 混合の有無	1	1.81 ns	1.9
	反復	2	0.00 ns	0
	誤差	41		98.1
穂数 (本 m^{-2})	IL-a 混合の有無	1	0.27 ns	0
	IL-i 混合の有無	1	0.23 ns	0
	IL-ta-2 混合の有無	1	0.45 ns	0
	IL-z 混合の有無	1	0.30 ns	0
	反復	2	0.07 ns	0
	誤差	41		100.0
精玄米重 (g m^{-2})	IL-a 混合の有無	1	0.01 ns	0
	IL-i 混合の有無	1	6.15 *	3.8
	IL-ta-2 混合の有無	1	52.04 **	38.0
	IL-z 混合の有無	1	25.93 **	18.5
	反復	2	4.66 ns	5.4
	誤差	41		34.2
精玄米重歩合 (%)	IL-a 混合の有無	1	2.06 ns	0.4
	IL-i 混合の有無	1	0.97 ns	0
	IL-ta-2 混合の有無	1	141.42 **	48.6
	IL-z 混合の有無	1	76.09 **	26.0
	反復	2	13.73 **	8.8
	誤差	41		16.3
減収率 (%)	IL-a 混合の有無	1	0.01 ns	0
	IL-i 混合の有無	1	6.15 *	3.8
	IL-ta-2 混合の有無	1	52.04 **	38.0
	IL-z 混合の有無	1	25.93 **	18.5
	反復	2	4.66 ns	5.4
	誤差	41		34.2
穂いもち発病程度 (0～10)	IL-a 混合の有無	1	12.87 **	9.7
	IL-i 混合の有無	1	26.50 **	20.9
	IL-ta-2 混合の有無	1	17.74 **	13.7
	IL-z 混合の有無	1	10.73 **	8.0
	反復	2	6.59 **	9.2
	誤差	41		38.5
千粒重 (g)	IL-a 混合の有無	1	8.75 **	8.5
	IL-i 混合の有無	1	8.75 **	8.5
	IL-ta-2 混合の有無	1	0.32 ns	0.0
	IL-z 混合の有無	1	0.19 ns	0.0
	反復	2	16.28 **	33.4
	誤差	41		49.7
品質 (1～9)	IL-a 混合の有無	1	0.17 ns	0.0
	IL-i 混合の有無	1	1.56 ns	0.9
	IL-ta-2 混合の有無	1	4.32 **	5.5
	IL-z 混合の有無	1	0.17 ns	0.0
	反復	2	6.75 ns	18.9
	誤差	41		74.7

* 及び ** は、それぞれ 5 及び 1% 水準で有意差あり。
ns は有意差なし。

率は IL-i、IL-ta-2 及び IL-z の混合により、精玄米重歩合は IL-ta-2、IL-z の混合により有意な差が認められ、収量性はマルチラインを構成する各系統の混合の有無に影響されることが明らかである。特に、精玄米重、精玄米重歩合及び減収率においては、IL-ta-2、IL-z の混合が大きな寄与率を示し、抵抗性系統の混合が収量性を大きく左右した。また、収量性の低下に関連する穂いもち発病程度は IL-a、IL-i、IL-ta-2 及び IL-z の混合の有無により有意な差が認められた。一方、千粒重については IL-a または IL-i の混合の有無、

第3表 マルチラインを構成する系統の有無が主要特性に与える要因効果.

要因	水準	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本 m ⁻²)	精玄米重 (g m ⁻²)	精玄米 重歩合 (%)	減収率 (%)	穂いもち 発病程度 (0~10)	千粒重 (g)	品質 (1~9)
IL-a の混合	有り	0.0	0.0	-1.6	0.5	-0.6	-0.1	-0.5	0.1	0.0
	無し	0.0	0.0	1.6	-0.5	0.6	0.1	0.5	-0.1	0.0
IL-i の混合	有り	-0.2	0.0	-1.4	12.7	-0.4	-2.8	-0.7	0.1	0.0
	無し	0.2	0.0	1.4	-12.7	0.4	2.8	0.7	-0.1	0.0
IL-ta-2 の混合	有り	0.3	0.0	-2.0	37.0	4.8	-8.0	-0.6	0.0	0.1
	無し	-0.3	0.0	2.0	-37.0	-4.8	8.0	0.6	0.0	-0.1
IL-z の混合	有り	-0.2	0.1	1.6	26.1	3.5	-5.7	-0.4	0.0	0.0
	無し	0.2	-0.1	-1.6	-26.1	-3.5	5.7	0.4	0.0	0.0
総平均値		76.4	18.5	359.5	335.4	78.3	27.2	4.2	20.9	4.6
比) IL-ta-2 単植区		75.7	18.4	352.3	460.4	91.4	—	0	20.8	4.5

各試験区の特性値は総平均値に各試験区の水準に相当する効果の値を加えて試算した.

例: 試験区 No. 2 の精玄米重 = $335.4 + 0.5 + 12.7 + 37.0 - 26.1 = 359.5 \text{ gm}^{-2}$.

品質については IL-ta-2 の混合の有無に有意性が認められたが、いずれの寄与率も小さな値であった.

第3表に主要特性の要因効果を示す. 稈長, 穂長及び穂数は, 分散分析の結果が示したとおり, 各水準間の差は僅かな値であった. 精玄米重は, IL-a の混合の影響は小さく, IL-i, IL-ta-2 及び IL-z の混合の有無により, それぞれ 12.7, 37.0 及び 26.1 gm^{-2} 増減した. 減収率も同様に, IL-a の混合の影響は小さく, IL-i, IL-ta-2 及び IL-z の混合の有無により, それぞれ 2.8, 8.0 及び 5.7% 増減した. IL-a の混合が精玄米重及び減収率に影響しなかったのは, IL-a が接種源のいもち菌レース 137 に対して新潟 76 号と同様に罹病性であったためと考えられる. 一方, 同じく罹病性系統の IL-i が示した増収効果と減収の改善効果は, 抵抗性系統である IL-ta-2 及び IL-z の効果よりも小さいものの明らかであり, この理由は, 供試した菌株の IL-a と IL-i に対する病原力の差, または, IL-a と IL-i の間の穂いもち圃場抵抗性の差と推察されるが, 今回の試験結果から考察を加えることは困難である. 精玄米重歩合では, IL-a 及び IL-i の混合の影響は小さかったが, IL-ta-2 及び IL-z の混合の有無によっては, それぞれ 4.8 及び 3.5% 増減し, 含まれる遺伝子の罹病性あるいは抵抗性反応の結果が反映されていた. 千粒重は IL-a または IL-i の混合により有意に 0.1 g 増減し, 品質は IL-ta-2 の混合により有意に 0.1 ポイント上下したものの, どちらも実用上問題となる変化ではなかった.

穂いもちの発病程度は, IL-a, IL-i, IL-ta-2 及び IL-z の混合の有無により, それぞれ 0.5, 0.7, 0.6 及び 0.4 ポイント増減し, いずれの系統を混合しても発病程度は低下した. 罹病性系統の IL-a 及び IL-i の混合により発病が抑制されたにもかかわらず収量性への効果が認められなかった理由は明らかでないが, 感受性系統の混合による発病抑制効果は, Nakajima ら (1996) により報告されたササニシキのマルチラインにおける結果と一致した.

分散分析の結果において, 要因間に交互作用が認められず, 要因の組合せが相乗的な効果を与えないことが明らかであったため, 要因効果の加法性 (岩淵 2000, 谷津 2003) が成り立つことを前提に, 第3表から精玄米重を最大にす

るための最適条件を求めた. 最適な条件は, 4つの系統すべてを混合する組み合わせとなり, その条件での精玄米重は, $335.4 + 0.5 + 12.7 + 37.0 + 26.1 = 411.7 \text{ gm}^{-2}$ (実測値, 即ち試験区 No.1 の平均値: 392.4 gm^{-2}), 同様に精玄米重歩合は 85.6% (実測値: 83.4%), 減収率は 10.6% (実測値: 14.8%), 発病程度は 2.0 (実測値: 1.7, 枝梗いもちが一見してわずかに認められる) と算出された. 一方, 精玄米重が最小となるのは原品種 (罹病性) の単植栽培で, 精玄米重は 259.1 gm^{-2} (実測値, 即ち試験区 No.16 の平均値: 263.7 gm^{-2}), 同様に精玄米重歩合は 71.0% (実測値: 69.8%), 減収率は 43.7% (実測値: 40.8%), 発病程度は 6.4 (実測値: 6.0, 穂首いもちが中程度から多く認められる) と算出された. これら2つの条件における特性値の差はマルチラインの収量性にかかわる効果と考えることができ, 4つの系統すべてを等量混合するマルチラインは, 精玄米重を 152.6 gm^{-2} (実測値: 128.7 gm^{-2}) 増収させ, 同様に精玄米重歩合を 14.6% (実測値: 13.6%) 向上させ, 減収率を 33.1% (実測値: 26.0%) 改善することが明らかである.

要因実験の試験区において, 抵抗性系統の最も高い混合割合は 50% であったが, この条件と抵抗性系統 IL-ta-2 単植区との間の精玄米重 48.7 gm^{-2} (実測値: 68.0 gm^{-2}) の差及び精玄米重歩合 5.8% (実測値: 8.0%) の差は, 残り 50% を占める罹病性系統の混植に起因するものと考えられる. 石川 (2004) は, コシヒカリのマルチラインにおいて, 葉及び穂いもちの発病度から, 非親和性 (抵抗性) 系統の混植比率を 70~80% とすることで慣行の薬剤防除並の高い発病抑制効果を認めている. 今回採用した試験設計では, ダーティークロップ法, 即ち抵抗性と罹病性の系統からマルチラインを構成する手法に基づき, 罹病性の2系統も混合するマルチラインとしたため, 抵抗性系統の混植比率は 50% が上限であった. 今後, 抵抗性系統の混合割合をさらに高めた条件において収量性を検討することが必要と考えられる.

本試験では, 伝染源としていもち菌レース 137 を単一のレースとし, 晩植及び多肥栽培することで, 穂いもちの多発条件を得た. そして, マルチラインを構成する真性抵抗

性系統の混合割合と収量性の関係を定量的に評価し、今後実用化されるマルチラインの適正な混合比率を設定する際の基礎的な知見を得ることができた。

引用文献

- 浅賀宏一 1981. イネ品種のいもち病に対する圃場抵抗性の検定方法に関する研究. 農事試験報 35 : 51-138.
- 石川浩司 2004. 新潟県におけるイネいもち病防除対策としてのマルチラインの利用. 農業技術 54 : 24-28.
- Ishizaki, K., T. Hoshi, S. Abe, Y. Sasaki, K. Kobayashi, H. Kasaneyaama, T. Matsui and S. Azuma 2005. Breeding of blast resistant isogenic lines in rice variety "Koshihikari" and evaluation of their characters. Breed. Sci. 55 : 371-377.
- 石崎和彦・松井崇晃・原澤良栄 2005. 新潟県におけるコシヒカリのいもち病真性抵抗性マルチラインの実用化. 日作紀 74 : 438-443.
- 石崎和彦・金田智・松井崇晃 2006. 水稻品種コシヒカリへの半矮性及びいもち病真性抵抗性の導入. 育種学研究 (印刷中)
- 岩淵千明 2000. あなたにもできるデータの処理と解析. 福村出版. 東京. 68-69.
- Jensen, N. F. 1952. Intra-varietal diversification in oat breeding. Agronomy Journal 44 : 30-34.
- 小泉信三・藤晋一 1994. ササニシキ及び日本晴から育成されたイネの多系品種のいもち病多発生条件下における発病抑制効果. 愛知農総試研報 26 : 87-97.
- 小泉信三・谷俊男・藤晋一 1996. イネいもち病防除における多系品種の利用. 農業技術 51 : 89-93.
- 松永和久 1996. ササニシキのマルチライン育成と宮城県におけるいもち病防除への利用. 農業技術 51 : 173-176.
- 中島俊彦 1994. マルチライン (多系品種) によるイネいもち病制御のメカニズム. 農業技術 49 : 390-395.
- Nakajima, T., R. Sonoda and H. Yaegashi 1996. Effect of a multiline of cultivar Sasanishiki and its isogenic lines on suppressing rice blast disease. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 62 : 227-233.
- 新潟県農林水産部 1997. 水稻・麦類・豆類・ソバ生育調査等基準. 1-3.
- 進藤敬助・堀野修 1989. 多系品種の利用によるいもち病の発病抑制. 東北農試研報 79 : 1-13.
- 谷津進 2003. すぐに役立つ実験の計画と解析基礎編. 日本規格協会. 東京. 9-21.

Effect of Mixing Ratio of Blast-Resistant Isogenic Lines on Rice Yield of the Multiline : Kazuhiko ISHIZAKI, Satoshi KANEDA and Takaaki MATSUI (*Crop Research Center, Niigata Agricultural Research Institute, Nagaoka, Niigata 940-0826, Japan*)

Abstract: Yielding ability of multiline composed of the blast resistant isogenic lines (*Pia*, *Pii*, *Pita-2* and *Piz*) and original line (+) was evaluated in a paddy field with severe blast epidemic (a pathogenic race 137). When 25 % of the original line was replaced by each isogenic line, the grain yield and percentage of yield decrease were greatly affected by the presence of *Pita-2* and *Piz*. The yield was greatly influenced by the mixing ratio of the resistant lines. The multiline composed of the four true resistant isogenic lines was the best to maintain a high yielding ability, and had a grain yield of 411.7 g m⁻² with a 10.6 % yield decrease compared with the resistant line alone. On the other hand, the grain yield of the original line was 259.1 g m⁻² with a 43.7 % yield decrease. Thus, the advantage of the multiline was estimated to be a 152.6 g m⁻² yield increase and 33.1 % improvement of yield decrease.

Key words : Blast resistance, Isogenic line, Mixing ratio, Multiline variety, *Oryza sativa* L.