

## 黒ボク土における小麦新品種「タマイズミ R」の特性

関和孝博<sup>1)</sup>・大山亮<sup>1)</sup>・山口昌宏<sup>2)</sup>・中田佳幸<sup>3)</sup>・加藤常夫

**摘要:**硬質小麦「タマイズミ」は、醤油醸造用及び中華麺用として品質が優れるが、コムギ縞萎縮病に弱いため栃木県では栽培面積が減少している。そこで、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 次世代作物開発研究センターで育成された、コムギ縞萎縮病に対して抵抗性を有する「タマイズミ R」について、栃木県で普及する際に必要な栽培マニュアルを作成するために、普及見込み地帯の黒ボク土における特性調査を行った。「タマイズミ R」は「タマイズミ」に比べて6~7cm 短稈であった。品質ランク区分の重要な形質である子実タンパク質含有率と容積重が、「タマイズミ R」は「タマイズミ」よりもやや劣る傾向が認められたが、緩効性の専用肥料を基肥窒素に12g m<sup>-2</sup> 施用し、出穂期10日後に窒素4g m<sup>-2</sup> 追肥することで、子実タンパク質含有率12%及び容積重833g L<sup>-1</sup>の基準以上を安定して確保し、併せて多収を達成することができた。また、本県壬生町における2年間の現地栽培(1,430a)で「タマイズミ R」は収量454g m<sup>-2</sup>と子実タンパク質含有率13.6%を実証できた。実需者による工場規模の試験で「タマイズミ R」の醤油醸造品質は「タマイズミ」と同等と評価された。「タマイズミ R」は本県芳賀町のコムギ縞萎縮病に対してウイルスの感染は認められたが実用上の問題はないと考えられた。

**キーワード:** 黒ボク土, コムギ縞萎縮病, 子実タンパク質含有率, 醤油醸造適性, 容積重

## Characteristics of a New Wheat Cultivar 'Tamaizumi R' Carrying Wheat Yellow Mosaic Virus Resistance in Andosol Upland Field

Takahiro SEKIWA, Makoto OYAMA, Masahiro YAMAGUCHI, Yoshiyuki NAKATA, Tsuneo KATO

**Summary:** A hard wheat cultivar Tamaizumi is suitable for soy-sauce and yellow alkaline noodles. The cultivar has, however, been decreasing in cultivation areas in Tochigi Prefecture arising from serious damage by *wheat yellow mosaic virus*. We investigated the characteristics of a new wheat cultivar Tamaizumi R carrying the resistance against the virus developed by the Institute of Crop Science, NARO in andosol upland fields, where the cultivar can be spread widely in the prefecture because the soil properties favored relative great protein content in grain. Tamaizumi R had a 6-7cm shorter culm length than Tamaizumi. The protein content and volume weight of Tamaizumi R were slightly smaller than those of Tamaizumi, indicating negatively affection on the final product quality and subsequently farms' income. However, basal application of 12g m<sup>-2</sup> of nitrogen by slow-release fertilizer and supplemental application of 4g m<sup>-2</sup> of nitrogen by fast-acting fertilizer after 10 days of heading date allowed Tamaizumi R to achieve the criteria of 12% of protein content, 833g L<sup>-1</sup> of volume weight and a large yield. Field application test, which was conducted for two years in Mibu Town, in the prefecture, confirmed the above results; the protein content and grain yield were 13.6% and 454g m<sup>-2</sup>, respectively. In the factory scale test by actual user, the suitability of Tamaizumi R for soy-sauce was approximately equivalent to Tamaizumi. Although, the virus infection of Tamaizumi R was observed from the test field in Haga Town, in the prefecture, the symptoms were insignificant.

**Key words:** Andosol, Protein content, Suitability for soy-source, Volume weight, *Wheat yellow mosaic virus*

## I 緒言

栃木県の農地面積の半分以上は黒ボク土で占められている(亀和田, 2004). 一般的に黒ボク土で麦類を栽培すると子実タンパク質含有率が高くなりやすい. 子実タンパク質含有率が高いと, 小麦では粉や麺の色相が低下する原因となり(高山ら, 2004; Wang *et al.*, 2004), 食用やビール用の大麦でも硝子率の増加(塔野岡ら, 2010)や, ビールの濁り発生(Nagamine and Kato, 2008)など品質低下を引き起こす. そのため, 黒ボク土地域でこれらの麦種を栽培する際には子実タンパク質含有率が高くないように施肥量を抑えて栽培するなどの制限があり, 麦作振興上の課題であった. そのような中, 醤油醸造用小麦は子実タンパク質含有率が高い(12%以上)ことが求められることから(高田, 1976; 千葉, 1981; 山口, 2011), 高子実タンパク質含有率で, 醤油醸造や中華麺の適性が高い硬質小麦「タマイズミ」(藤田ら, 2004)に着目し, 2002年に奨励品種として採用した(池田, 2003). 当初は県中北部の黒ボク土や畑地域を中心に醤油醸造用として普及を進め, その後, 中華麺用としての利用も進み, 県南部の灰色低地土地域でも栽培面積が拡大し, 最大で 2009 年度(2009 年秋播種, 以下播種年度)には 1,070ha まで普及した. しかし, 「タマイズミ」は難防除土壌伝染性病害であるコムギ縮萎病ウイルスに対して高度抵抗性を持たない. 栃木県では 2007 年頃からコムギ縮萎病ウイルスの被害が顕在化し, 2011 年には小麦作付け圃場の 23%に発生を認め, タマイズミ作付け地域では 80%に達する事例も見られた(栃木県農業環境指導センター, 2011). そのため本県の「タマイズミ」は一定の需要があるものの, 抵抗性品種の「ゆめかおり」(前島ら, 2016)や「さとのそら」(高橋ら, 2010)への切り替えが進み, 2017 年度では 580ha に縮小した.

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構次世代作物開発研究センターでは, タマイズミへの縮萎病抵抗性及び穂発芽耐性導入を育種目標として, 「タマイズミ」に「ゆめちから」由来のコムギ縮萎病抵抗性遺伝子 *YmYm(t)* を戻し交雑により導入したものを母, 「タマイズミ」(アブシジン酸代謝酵素遺伝子 *TaABA8'OH1-D* の自然変異を有する)にタマイズミ変異体「TM1833」の持つ同酵素遺伝子 *TaABA8'OH1-A* の人為突然変異(欠失)を戻し交雑で導入したものを父として 2012 年に人工交配を行い, F1 に対してトウモロコシ法による半数体育種法を適用し, さらに DNA マーカーにより目的とする遺伝子型の系統を選抜した(乙部, 私信). その後, 三重県農業研究所が中核となり 2014 年度から 2017 年度に農林水産省・食品産業科学技術研究推進事業の支援を受け, 共同研究「縮萎病と穂発芽抵抗性を強化したスーパータマイズミの開発」(代表機関: 三重県農業研究所, 共

同研究機関: 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 次世代作物開発研究センター, 栃木県農業試験場)を実施し, 2016 年度に次世代作物開発研究センターから「タマイズミ R」が育成された(藤田ら, 2017). その過程で著者らは栽培マニュアル作成のために本県の黒ボク土水田転換畑における「タマイズミ R」と「タマイズミ」の栽培特性や醤油醸造適性を比較評価したので報告する.

## II 試験方法

### 1. コムギ縮萎病発生圃場における反応

2014, 2015 年度ともに栃木県芳賀町西高橋にあるコムギ縮萎病ウイルスの発生が確認されている圃場(多腐植質泥炭質グライ黒ボク土 D2e6v3)で抵抗性を評価した. 試験圃場は 2 か年ともに前作は水稻, 前々作は小麦(タマイズミ)とした. 検定材料の「タマイズミ R」及び「関東 140 号」(タマイズミ R と同じ交配組合せから派生した系統), 指標品種として罹病性の「タマイズミ」, 「農林 61 号」及び「畠田小麦」, 抵抗性の「ゆめちから」及び「さとのそら」を 10 月第 6 半旬に播種した(播種量 10g m<sup>-2</sup>). 試験区は条間 0.6m × 畦長 0.5m とし, 各品種 3 反復で実施した. コムギ縮萎病ウイルス感染の有無を検定するため 1 年目は 2015 年 3 月 26 日に, 2 年目は 2016 年 3 月 22 日及び 5 月 2 日に 1 区につき 3 個体から葉を採取しウエスタンブロットニングを行った. 使用したウサギ由来コムギ縮萎病ウイルス抗体は国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センターから分譲を受けた. また, コムギ縮萎病ウイルスによる被害を 1 年目の試験においてモザイク病斑程度を指標にして達観で RR(無)~SS(甚)の 7 段階に分級評価した. 分級値は 2 回調査(2015 年 3 月 5 日, 3 月 26 日)したうち大きい方を用いた.

試験圃場の土質は, 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のウェブサイト(日本土壌インベントリ [https://soil-inventory. dc. affrc. go. jp/](https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/))の情報を記載した.

### 2. 奨励品種決定調査における評価

#### 1) 場内試験

「タマイズミ R」及び「タマイズミ」の生育特性・収量性について, 栃木県農業試験場(栃木県宇都宮市)洪積 9 番圃場(多腐植質厚層アロフェン質黒ボク土 D6h1v3)において, 2014 年度から 2017 年度の 4 年間にわたり比較評価した. 各年ともに試験の前作に緑肥作物(ソルゴー, ただし 2017 年はセスバニア及びクロタリア混播)を栽培し, 青刈りすき込み後に灌水した. 基肥は, 緩効性の被覆尿素入り専用肥料(BB タマイズミ専用 866)(18-16-16, 窒素成分の 67%が LPS40, 33%は速効性窒素)を 72.2g m<sup>-2</sup>, BB 土づくり 937 号(OM-37)(0-9-0-Mg7)を 120g m<sup>-2</sup> 散布した(施肥量 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=13.0:22.8:

12.0g m<sup>-2</sup>). 11 月第 2 半旬に試験用播種機(HEGE 95B 型, HEGE 社製)にて条間 20cm×6 条×畦長 5m, 株間 2.6cm で播種した(播種量 192 粒 m<sup>-2</sup>). 各品種 3 反復(ただし 2014 年度は 2 反復)で試験を実施した. 出穂期の 10 日後に尿素を 8.7g m<sup>-2</sup>(窒素として 4g m<sup>-2</sup>)追肥した. 生育調査後, 試験区の中央部分 3.6m<sup>2</sup>(4 条×畦長 4.5m)をプロットコンバイン(HEGE 125C 型, HEGE 社製)で収穫し, 収穫物調査を行った.

## 2) 奨励品種決定調査現地試験

「タマイズミ R」及び「タマイズミ」の現地における特性を評価するため, 2015 年度は栃木県真岡市西高間木(多腐植質泥炭質グライ黒ボク土 D2e6v3), 2016 年度は同県真岡市亀山(典型下層低地多湿黒ボク土 D3d2y1)に試験圃場を設置した. 試験圃場の前作は水稻, 前々作は小麦(タマイズミ)を作付けした. 試験区の面積は 10a とし, 反復はとらなかった. 基肥は, オール 14(14-14-14, 窒素成分の全量が速効性)を使用し, 散布量を 2015 年度は 65g m<sup>-2</sup>(施肥量 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=9.1:9.1:9.1g m<sup>-2</sup>), 2016 年度は 71g m<sup>-2</sup>(施肥量 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=9.9:9.9:9.9g m<sup>-2</sup>)とした. 管理は現地慣行とし, 無追肥とした. 11 月第 3 半旬に条間 30cm ドリル播きで播種し(播種量約 8g m<sup>-2</sup>), 生育調査後, 5.4m<sup>2</sup>を刈り取り, 収穫物調査を行った.

## 3. 現地実証栽培

栃木県壬生町のコムギ縮萎縮ウイルスの発病が確認されていない圃場で「タマイズミ R」の実証栽培を行った. 試験は 2 か年行い, 1 名の生産者が 2016 年度は 773a, 2017 年度は 657a の規模で試作した. 試験圃場の主な土質は, 礫質普通灰色低地土 F3z1p2 及び典型下層低地多湿黒ボク土 D3d2y1 であった. 基肥は BB タマイズミ専用 866(18-16-16, 窒素成分の 67%は LPS40)70g m<sup>-2</sup> 及び鶏ふん 150g m<sup>-2</sup> とし, 播種は 11 月下旬とした. 追肥は 5 月中旬に 2016 年度は無人ヘリコプター, 2017 年度は背負動力散布機により尿素を 8.7g m<sup>-2</sup>(窒素 4g m<sup>-2</sup>)散布した. 全量収穫し, 収量及び検査等級を調査した.

## 4. 実需者による醤油醸造適性評価

「タマイズミ R」の醤油醸造適性は実需者であるヒガシマル醤油株式会社(兵庫県たつの市)が 2 か年評価した. 1 年目は 2015 年度に栃木県真岡市西高間木で実施した奨励品種決定調査現地試験の「タマイズミ R」及び「タマイズミ」の収穫物を 7 月上旬に試験用小麦焙炒装置で各々 100kg ずつ焙炒し, 5 リットル規模で試験醸造を行った. 仕込み期間は 120 日とした. 2 年目は 2016 年度に栃木県壬生町で実施した現地実証栽培の「タマイズミ R」の収穫物を試作農家で収穫乾燥

及び調製後, 工場規模の試験醸造(1 ロットで使用する小麦は 20t)を行った. 仕込み期間は 109 日とした. なお, 2 年目の標準「タマイズミ」は同年の芳賀地区の収穫物を使用し, 「タマイズミ R」と同様に工場規模で醸造を行った.

## 5. 肥料試験による栽培特性の把握

「タマイズミ R」及び「タマイズミ」の肥料反応特性を評価するため, 栃木県農業試験場洪積 9 番圃場(多腐植質厚層アロフェン質黒ボク土 D6h1v3)で 2015, 2016 年度に試験を実施した. 試験圃場の可給態窒素は 112mg kg<sup>-1</sup>(畑状態で 30°C, 4 週間培養), 無機態窒素は 12mg kg<sup>-1</sup>(アンモニア態窒素 5mg kg<sup>-1</sup>, 硝酸態窒素 7mg kg<sup>-1</sup>)であった(2016 年度の播種前に調査). 両年ともに試験の前作に緑肥作物(ソルゴー)を栽培し, 青刈りすき込み後に灌水した.

試験区の構成を第 1 表に示した. 肥料種類として緩効性肥料の BB タマイズミ専用 866(18-16-16, 窒素成分の 67%は LPS40)と, 速効性肥料の硫酸アンモニウムを使用し, 基肥窒素量として緩効性肥料が 8g m<sup>-2</sup>, 12g m<sup>-2</sup>, 16g m<sup>-2</sup> の 3 水準, 速効性肥料が 12g m<sup>-2</sup> の計 4 水準設定した. 全区のリン酸, 加里の量は緩効性肥料 16g m<sup>-2</sup> 区と同じになるように過リン酸石灰, 塩化加里で調整した. 肥料種類・量の各水準において出穂期 10 日後に窒素として 4g m<sup>-2</sup> 追肥の有無を設定した. 試験区は乱塊法で 3 反復配置した. 11 月第 2 半旬に試験用播種機(HEGE 95B 型, HEGE 社製)で条間 20cm×6 条×畦長 5m, 株間 2.6cm で播種し(播種量 192 粒 m<sup>-2</sup>), 生育調査後, 試験区の中央部分 3.6m<sup>2</sup>(4 条×畦長 4.5m)をプロットコンバイン(HEGE 125C 型, HEGE 社製)で収穫し, 収穫物調査を行った. また 2016 年度は, 2 月上旬及び 4 月上旬の草丈, 茎数, 葉色, NDVI 値を測定した. なお, NDVI 値はハンドヘルド作物センサー GreenSeeker(ニコントリンブル社製)で測定した.

第 1 表 肥料試験の構成

試験区	基肥種類	基肥	出穂期	総窒素
		窒素	10 日後	施用量
		g m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>
速12-0	硫酸アンモニウム	12	0	12
速12-4	硫酸アンモニウム	12	4	16
緩 8-0	BBタマイズミ専用866	8	0	8
緩 8-4	BBタマイズミ専用866	8	4	12
緩12-0	BBタマイズミ専用866	12	0	12
緩12-4	BBタマイズミ専用866	12	4	16
緩16-0	BBタマイズミ専用866	16	0	16
緩16-4	BBタマイズミ専用866	16	4	20

注1) BBタマイズミ専用866の窒素成分の67%はLPS40.

2) 出穂期10日後追肥は尿素(窒素4g m<sup>-2</sup>)を施用.

3) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>及びK<sub>2</sub>Oはいずれの試験区も各々14.2g m<sup>-2</sup>.

### Ⅲ 結果

#### 1. コムギ縞萎縮病発生圃場における反応

2014年度の試験で、「タマイズミ R」と同じ交配組合せ由来の「関東140号」は、3反復ある区のうち2つの区からウイルスが検出された。ただし、検出された区を含め3区ともに達観で病斑は確認されなかった。試験圃場の栽培履歴は前作が水稻、前々作が「タマイズミ」であったので、ウイルスが検出された葉は、前々作の「タマイズミ」が漏生して混入した可能性が考えられた。そのため、次世代作物開発研究センターでコム

ギ縞萎縮病抵抗性遺伝子 *YmYm(t)* の有無を調べたところ、ウイルスを検出した葉で抵抗性遺伝子の存在が確認され、「関東140号」は感染するものと判断された。「タマイズミ R」はウイルス、病斑ともに確認されなかった。2015年度の試験では、「タマイズミ R」、「関東140号」ともに3月22日に採取した葉からウイルスは検出されなかったが、4月に入ってから「タマイズミ R」の葉に判然としない病徴のような症状が認められたので、5月2日に葉を採取しウイルスを再検定したところ、3反復のうち2区からウイルスが検出された(第2表)。

第2表 コムギ縞萎縮病発生圃場における反応

品種名	2014年度		2015年度	
	抗原抗体 病斑程度 反応		抗原抗体反応	
	3.26採取		3.22採取	5.2採取
タマイズミR	—	RR	—	+
関東140号	+	RR	—	—
タマイズミ	+	S	+	+
農林61号	+	S	+	+
畠田小麦	+	SS	+	+
ゆめちから	—	RR	—	—
さとのそら	—	RR	—	—

注1) —: 感染なし, +: 感染

2) RR: 無, R: 少, MR: やや少, M: 中, MS: やや多, S: 多, SS: 甚

#### 2. 奨励品種決定調査における評価

4か年の場内試験の結果、「タマイズミ R」は「タマイズミ」に比べ、出穂期及び成熟期は同程度であった。稈長は6cm有意に短く、穂数は17本 m<sup>2</sup>有意に多く、穂長及び千粒重は同程度であった。整粒重はやや重い傾向が見られたが有意ではなかった。容積重は8g L<sup>-1</sup>有意に軽く、子実タンパク質含有率は0.5ポイント有意に低かった。整粒歩合は0.4ポイント有意に低かったが、差はわずかであった(第3表)。

2か年の現地試験では場内試験と同様に「タマイズミ R」は「タマイズミ」に比べ、稈長が短くなったが、その他の形質に有意差は認められなかった(第4表)。

第3表 奨励品種決定調査(場内試験)における生育特性、収量性及び子実タンパク質含有率

品種名	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	倒伏程度	整粒重	整粒歩合	容積重	千粒重	子実タンパク
	月・日	月・日	cm	cm	本 m <sup>-2</sup>		g m <sup>-2</sup>	%	g L <sup>-1</sup>	g	%
タマイズミR	4.23	6.10	85	8.7	605	0.0	754	99.1	850	41.9	14.0
タマイズミ	4.24	6.10	91	8.8	588	0.0	706	99.5	858	41.9	14.5
分散分析											
品種	n.s.	※	**	n.s.	**	n.s.	n.s.	*	**	n.s.	**
年次	**	**	**	**	**	n.s.	**	**	**	**	**
交互作用	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.

注1) 各形質の値は2014~2017年度の4か年平均。

2) 倒伏程度は0(無)~3(中)~5(甚)の6段階評価。

3) 整粒重、容積重、千粒重は水分12.5%換算。整粒は篩目2.2mm以上。容積重はブラウエル穀粒計による測定。

4) 子実タンパク質はFOSS社製近赤外分析装置Infratec1241で測定。水分12.5%換算。

5) \*\*は1%水準で有意, \*は5%水準で有意, n.s.は有意差なし。

6) ※は分散分析の結果有意であったが、Tukeyの多重比較検定の結果、水準間で有意差がないことを示す。

第4表 奨励品種決定調査(現地試験)における生育特性、収量性及び子実タンパク質含有率

品種名	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	倒伏程度	整粒重	整粒歩合	容積重	千粒重	検査等級	子実タンパク
	月・日	月・日	cm	cm	本 m <sup>-2</sup>		g m <sup>-2</sup>	%	g L <sup>-1</sup>	g		%
タマイズミR	4.25	6.08	92	9.3	660	0.0	600	98.2	825	33.6	2等	13.4
タマイズミ	4.25	6.08	97	9.3	694	0.0	586	99.2	853	37.5	1等	11.9
	n.s.	n.s.	†	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

注1) 各形質の値は2015~2016年度の2か年平均。

2) 倒伏程度は0(無)~3(中)~5(甚)の6段階評価。

3) 整粒重、容積重、千粒重は水分12.5%換算。整粒は篩目2.2mm以上。容積重はブラウエル穀粒計による測定。

4) 検査等級は全国農業協同組合連合会栃木県本部米麦部米麦総合課検査協会による外観評価の格付け。

5) 子実タンパク質はFOSS社製近赤外分析装置Infratec1241で測定。水分12.5%換算。

6) †は10%水準で有意, n.s.は有意差なし。

### 3. 現地実証栽培における評価

「タマイズミ R」の検査等級は全量 1 等であり、子実タンパク質含有率も 2 か年ともに目標値である 12% を達成していた。全刈りの収量は 2016 年度が 429g m<sup>-2</sup>(773a), 2017 年度が 479g m<sup>-2</sup> (657a) であり (第5表), 2015 年度まで作付けしてい

た軟質小麦「イワイノダイチ」よりも多収となった (聞き取りでは 2015 年度の収量は 397g m<sup>-2</sup>)。収量性、子実タンパク質含有率ともに生産上特に問題となる点は確認されなかった。

### 4. 実需者による醤油醸造適性評価

「タマイズミ R」のタンパク質含有率は、2 か年ともに「タマイズミ」より高く、タンパク含有率と糖質含有率の合計値は同等以上であった。出麴の水分含量、アルカリプロテアーゼ及びグルタミナーゼに関して「タマイズミ R」と「タマイズミ」はほぼ同等であった (第6表)。醸造期間のもろみ濾液中の全窒素は、「タマイズミ R」と「タマイズミ」とではほぼ同等に推移した (第7表)。生醤油品質、醤油及びうどんつゆ官能評価についても、2 か年ともに「タマイズミ R」と「タマイズミ」は同程度であった (第8

第5表 タマイズミ R の現地実証栽培の結果

年度	作付面積	出荷量	収量	農産物検査結果	子実タンパク
	a	kg	g m <sup>-2</sup>		%
2016	773.2	33,150	429	1等	13.9
2017	656.6	31,470	479	1等	13.3

注) 子実タンパク質はFOSS社製近赤外分析装置Infratec1241で測定。収穫ロットごとに加重平均。水分12.5%換算。

第6表 実需者による醤油醸造適性評価(原料小麦品質及び出麴品質)

年度	品種名	原料品質				出麴品質		
		全窒素	(A)タンパク	(B)糖質	(A)+(B)	水分	アルカリプロテアーゼ	グルタミナーゼ
		%	%	%	%	%	%	%
2015	タマイズミR	2.25	13.1	67.6	80.8	26.8	91	114
	タマイズミ	1.95	11.4	65.5	76.9	26.9	100	100
2016	タマイズミR	2.38	13.9	65.9	79.8	29.0	104	79
	タマイズミ	2.02	11.8	68.7	80.5	27.6	100	100

- 注1) ヒガシマル醤油株式会社による評価。2015年度は5L規模の試験醸造。2016年度は工場規模の試験醸造。  
 2) 2015年度は奨励品種決定調査(真岡市)。2016年度は現地実証(壬生町)の収穫物。ただし、2016年度のタマイズミは芳賀地区の収穫物。  
 3) 全窒素は燃焼法により、糖質はSchales法により測定。タンパクは全窒素×5.83。水分13.5%換算で表示。  
 4) アルカリプロテアーゼ及びグルタミナーゼはタマイズミの活性を100として表示。

第7表 実需者による醤油醸造適性評価(もろみ濾液中の全窒素の推移)

品種名	2015年度				2016年度		
	仕込み日数				仕込み日数		
	15日目	29日目	50日目	120日目	17日目	38日目	109日目
タマイズミR	1.00	1.43	1.60	1.65	1.35	1.62	1.71
タマイズミ	0.95	1.38	1.55	1.59	1.33	1.60	1.66

- 注1) ヒガシマル醤油株式会社による評価。2015年度は5L規模の試験醸造。2016年度は工場規模の試験醸造。  
 2) 2015年度は奨励品種決定調査(真岡市)。2016年度は現地実証(壬生町)の収穫物。ただし、2016年度のタマイズミは芳賀地区の収穫物。  
 3) 表中の全窒素%は水分13.5%換算。全窒素は燃焼法により測定。

第8表 実需者による醤油醸造適性評価(生醤油品質及び官能評価)

年度	品種名	生醤油品質						官能評価		
		ブリックス	食塩	pH	アルコール	還元糖	窒素溶解利用率	醤油香り強さ	醤油香り総合評価	うどんつゆ総合評価
			%		%	%	%			
2015	タマイズミR	35.9	17.2	4.9	2.5	2.6	83.1	3.1	3.1	2.9
	タマイズミ	35.7	17.3	4.9	2.6	2.5	82.9	3.0	3.0	3.0
2016	タマイズミR	35.6	16.4	5.0	3.0	2.3	89.1	3.0	3.0	3.1
	タマイズミ	35.4	16.5	4.9	3.4	2.2	88.3	3.0	3.0	3.0

- 注1) ヒガシマル醤油株式会社による評価。2015年度は5L規模の試験醸造。2016年度は工場規模の試験醸造。  
 2) 2015年度は奨励品種決定調査(真岡市)。2016年度は現地実証(壬生町)の収穫物。ただし、2016年度のタマイズミは芳賀地区の収穫物。  
 3) 生醤油品質は仕込み120日目(2015年度)及び109日目(2016年度)のもろみ濾液の分析値。  
 4) 官能評価はタマイズミを3とし、5(大変良い)~1(大変悪い)の5段階で評価。パネラーは2015年度が10人、2016年度が7人。  
 5) うどんつゆは醤油とだしの混合液について評価。

表). 2016年度の工場規模での醸造における色調の推移も同程度であり、発酵・熟成工程で問題となる点は確認されなかった(データ略).

5. 肥料試験による栽培特性の把握

冬期から出穂期までの生育特性について、品種、肥料条件を要因にした分散分析結果を第9表に示した。2月上旬の

生育を品種間で見ると、草丈と葉色には差がなかったが、茎数は「タマイズミR」が「タマイズミ」に比べて少なく、NDVI値も小さかった。肥料条件間はいずれの形質も有意差はなかった。4月上旬の生育を品種間で見ると、茎数、葉色、NDVI値には差が見られなかったが、草丈は「タマイズミR」の方が「タマイズミ」よりも高くなった。肥料条件間では速効性12が草丈、茎数、葉色、NDVI値ともに最も大きく、緩効性8が最も小さ

第9表 品種、施肥条件の違いが冬期生育に及ぼす影響

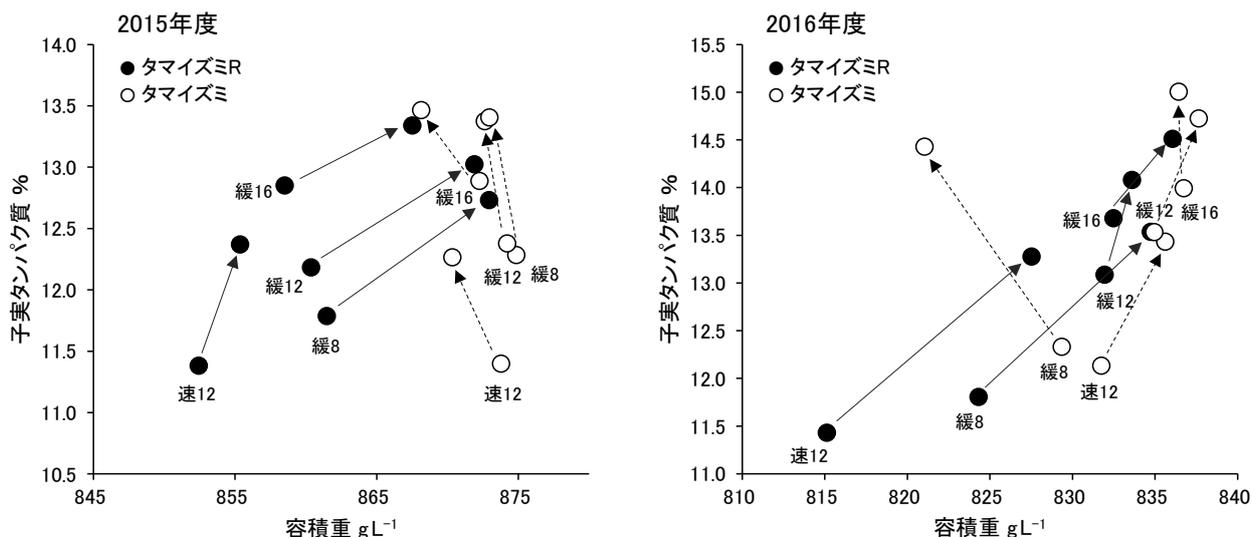
要因	2月上旬(2017.2.1)				4月上旬(2017.4.4)				出穂期 葉色
	草丈 cm	茎数 本 m <sup>-2</sup>	葉色	NDVI	草丈 cm	茎数 本 m <sup>-2</sup>	葉色	NDVI	
(A) タマイズミR	14.0	703	49.9	0.37	35.8	1198	49.9	0.83	45.5
タマイズミ	14.0	786	50.7	0.43	34.4	1136	47.1	0.84	44.6
	n.s.	**	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
(B) 速12	13.7	756	50.0	0.41	36.7 a	1290 a	52.6 a	0.86 a	45.4
緩8	14.4	738	50.6	0.40	33.7 b	1070 b	44.3 b	0.81 c	44.1
緩12	13.9	746	50.5	0.39	35.3 ab	1164 b	48.9 ab	0.84 b	45.3
緩16	14.0	739	50.3	0.40	34.6 b	1144 b	48.2 ab	0.83 b	45.3
	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	**	**	n.s.
A×B	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

- 注1) 葉色はコニカミノルタ社製葉緑素計の値。  
 2) NDVIはニコントリプル社製GreenSeekerハンドヘルド作物センサーの値。  
 3) 速効性12は基肥に硫酸アンモニウムを窒素12g m<sup>-2</sup>施用。  
 4) 緩効性8、緩効性12、緩効性16は基肥にBBタマイズミ専用866を各々窒素8、12、16g m<sup>-2</sup>施用。  
 5) \*\*は1%水準で有意、\*は5%水準で有意、n.s.は有意差なし。  
 6) 同一アルファベット表記はTukeyの多重比較(P<0.05)で有意差がないことを示す。

第10表 品種、施肥条件の違いが生育、収量性、子実タンパク質含有率に及ぼす影響

要因	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	倒伏程度	整粒重	整粒歩合	容積重	千粒重	子実タンパク
	月.日	月.日	cm	cm	本 m <sup>-2</sup>		g m <sup>-2</sup>	%	g L <sup>-1</sup>	g	%
(A) タマイズミR	4.23	6.12	88	9.1	676	0.0	793	99.4	846	39.9	12.8
タマイズミ	4.24	6.12	95	9.2	656	0.0	785	99.7	853	40.1	13.2
	**	**	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	**
(B) 速12-0	4.24 ab	6.12	94 a	9.3	746 a	0.2	802 a	99.3 b	843 b	37.8 c	11.6 d
速12-4	4.24 a	6.12	94 a	9.3	742 a	0.1	818 a	99.4 ab	847 ab	39.2 b	12.8 c
緩8-0	4.23 c	6.12	87 c	8.9	591 c	0.0	702 b	99.6 ab	847 ab	40.2 ab	12.1 d
緩8-4	4.24 abc	6.12	89 bc	8.8	606 bc	0.0	706 b	99.7 a	850 ab	40.4 ab	13.5 ab
緩12-0	4.23 bc	6.12	92 ab	9.1	649 bc	0.0	803 a	99.6 a	850 ab	40.0 ab	12.8 c
緩12-4	4.23 bc	6.12	92 ab	9.1	652 bc	0.0	826 a	99.7 a	854 a	41.0 a	13.8 ab
緩16-0	4.23 abc	6.12	93 ab	9.2	657 bc	0.0	819 a	99.6 ab	850 ab	40.4 ab	13.4 bc
緩16-4	4.24 abc	6.12	92 ab	9.3	685 ab	0.0	833 a	99.6 a	852 a	41.1 a	14.1 a
	**	n.s.	**	n.s.	**	※	**	**	**	**	**
(C) 2015年度	4.20	6.10	94	9.1	703	0.1	814	99.7	867	40.8	12.6
2016年度	4.27	6.13	89	9.1	630	0.0	763	99.4	831	39.2	13.4
	**	**	**	n.s.	**	*	**	**	**	**	**
A×B	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	**	n.s.
A×C	*	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	**	**	**	**	n.s.
B×C	n.s.	**	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	*	**	*
A×B×C	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

- 注1) 倒伏程度は0(無)～3(中)～5(甚)の6段階評価。  
 2) 整粒重、容積重、千粒重は水分12.5%換算。整粒は篩目2.2mm以上。容積重はブラウエル穀粒計による測定。  
 3) 子実タンパク質はFOSS社製近赤外分析装置Infratec1241で測定。水分12.5%換算。  
 4) 速12-0は基肥に硫酸アンモニウムを窒素12g m<sup>-2</sup>施用。  
 5) 速12-4は基肥に硫酸アンモニウムを窒素12g m<sup>-2</sup>施用、出穂期10日後追肥に尿素を窒素4g m<sup>-2</sup>施用。  
 6) 緩8-0、緩12-0、緩16-0は基肥にBBタマイズミ専用866を各々窒素8、12、16g m<sup>-2</sup>施用。  
 7) 緩8-4、緩12-4、緩16-4は基肥にBBタマイズミ専用866を各々窒素8、12、16g m<sup>-2</sup>施用、出穂期10日後追肥に尿素を窒素4g m<sup>-2</sup>施用。  
 8) \*\*は1%水準で有意、\*は5%水準で有意、n.s.は有意差なし。  
 9) 同一アルファベット表記はTukeyの多重比較(P<0.05)で有意差がないことを示す。  
 10) ※は分散分析の結果有意であったが、Tukeyの多重比較検定の結果、水準間で有意差がないことを示す。



第1図 容積重と子実タンパク質含有率に与える肥料条件の影響

- 1) 速12: 基肥に速効性肥料(硫酸アンモニア)を窒素12g m<sup>-2</sup> 施用。
- 2) 緩8 : 基肥に緩効性肥料(タマイズミ専用866)を窒素8g m<sup>-2</sup> 施用。
- 3) 緩12: 基肥に緩効性肥料(タマイズミ専用866)を窒素12g m<sup>-2</sup> 施用。
- 4) 緩16: 基肥に緩効性肥料(タマイズミ専用866)を窒素16g m<sup>-2</sup> 施用。
- 5) 矢印は、追肥無し → 出穂期10日後に尿素を窒素4g m<sup>-2</sup> 追肥。

く、緩効性 12 及び 16 は両者の中間を示した。出穂期の葉色は品種間、肥料条件間ともに差がなかった。

出穂期以降の生育特性、収量性、子実タンパク質含有率について、品種、肥料条件を要因にした分散分析結果を第10表に示した。倒伏は両品種ともに全試験区を通してわずかに見られる程度だった。出穂期は品種間、肥料条件間で、成熟期は品種間で有意差が認められたが差はわずかであった。稈長は全試験区を通して「タマイズミ R」が「タマイズミ」よりも短く、その差は平均 7.3cm であった。穂長は品種間、肥料条件間ともに有意差は認められなかった。穂数は品種間に有意差がなく、肥料条件間では速効性肥料が緩効性肥料よりも多くなる傾向が見られた。千粒重は品種間に有意差がなかった。肥料条件間では緩効性肥料は速効性肥料よりも重くなる傾向があったが、施肥量の違いや追肥の有無では差が判然としなかった。整粒重も品種間に有意差がなかった。肥料条件間では緩効性 8-0 及び緩効性 8-4 が他の区に比べて少収であった。容積重は年度で品種間の傾向がやや異なったが、「タマイズミ R」は「タマイズミ」よりも平均 7g L<sup>-1</sup> 有意に軽かった。肥料条件間では速効性よりも緩効性肥料が重く、施肥量や追肥に応じて重くなる傾向が見られた。子実タンパク質含有率に関しては、「タマイズミ R」は「タマイズミ」よりも平均 0.4 ポイント有意に低かった。肥料条件間では速効性よりも緩効性肥料が高く、施肥量や追肥に応じて高くなった。整粒歩合は品種間、肥料条件間で有意差が認められたが差はわずかであった。

第1図には容積重と子実タンパク質含有率の関係を品種

別、肥料条件別に示した。「タマイズミ R」は速効性肥料、緩効性肥料のいずれにおいても、出穂期 10 日後に追肥することにより、容積重と子実タンパク質含有率の両方が高まる結果となった。容積重が相対的に軽い 2016 年度において、品質ランク区分の基準である 833g L<sup>-1</sup> を上回り、同時に子実タンパク質含有率が 12% 以上となったのは、緩効性 8-4、緩効性 12-4、緩効性 16-4 の 3 試験区であった。一方、「タマイズミ」は出穂期 10 日後追肥で子実タンパク質含有率の向上は見られたが、容積重は年度や肥料条件によっては減少する場合があり一定の傾向が認められなかった。

#### IV 考察

「タマイズミ R」の黒ボク土における高品質多収栽培を目指し、品種特性及び肥料反応特性を解析した。成熟期及び整粒歩合は奨励品種決定調査場内試験と肥料試験の両方で「タマイズミ R」と「タマイズミ」の間に有意差が見られたが、無視できるわずかな差であると判断した。「タマイズミ R」は「タマイズミ」よりも 6~7cm 短稈であった(第3表, 第10表)。今回実施した試験では倒伏の発生が少なかったので「タマイズミ R」の方が倒伏しにくいことを示すデータは得られなかったが、醬油醸造用・中華麺用として高品質かつ多収を目指した多肥栽培が主流になることを考慮すれば、稈長が短い特性は有利に働くと考えられる。

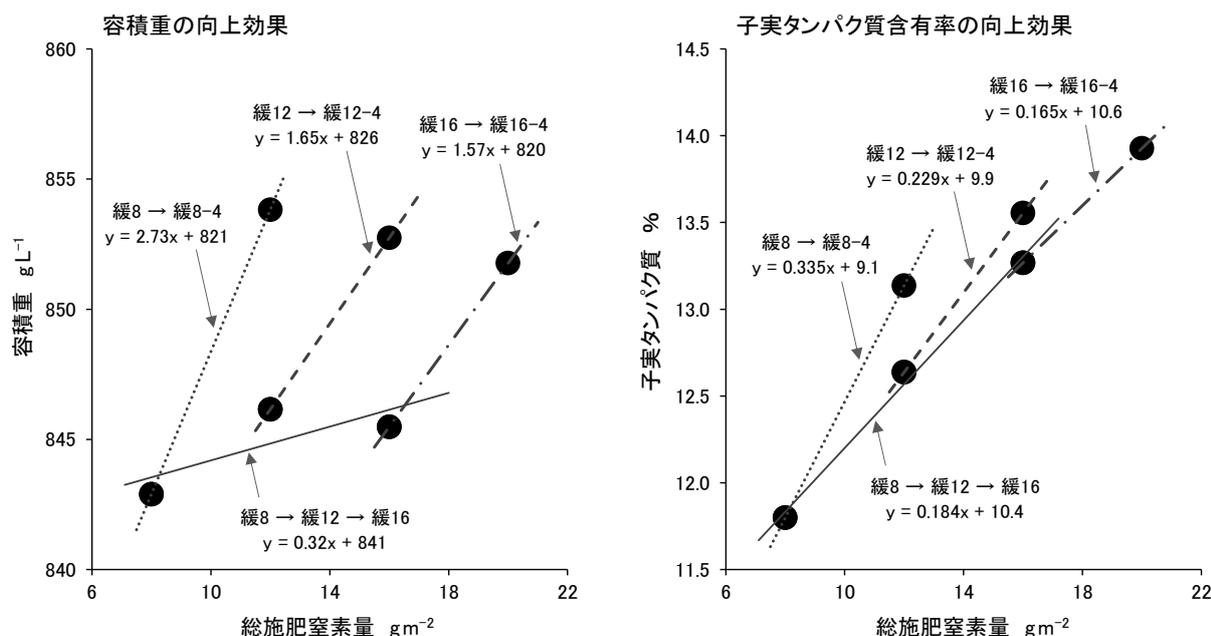
容積重と子実タンパク質含有率は品質ランク区分に関わる重要な形質であり、用途別品質に影響するだけでなく、農家収入にも影響を及ぼす。この制度は需要に応じた良品質麦

生産を推進するために導入されたもので、農産物検査を受検して2等以上の格付けになればランクに応じて経営所得安定対策における畑作物の直接支払交付金単価が決定する。栃木県産「タマイズミ」は醸造用と中華麵用の両方で利用されているが、中華麵用として品質ランク区分を決定している。

本研究において、「タマイズミ R」は「タマイズミ」に比べて、容積重が7~8g L<sup>-1</sup>有意に軽く、子実タンパク質含有率が0.4~0.5ポイント有意に低いことが明らかになったので(第3表, 第10表), 欠点を補う意味においても栽培法, 特に施肥方法の検討は重要である。以下, この観点で「タマイズミ R」の高品質多収栽培法について考察する。青沼ら(2004)は, 高タンパク質含有率を確保するための施肥方法としては, 基肥窒素に緩効性肥料を付加し, 出穂期10日後の追肥を併用するのが有効であることを明らかにした。栃木県における現行の「タマイズミ」栽培は, この結果を基に開発された「BB タマイズミ専用肥料」を基肥として使用することを推奨している。本研究で実施した奨励品種決定調査や肥料試験も「BB タマイズミ専用肥料」を基肥に用いた。この肥料の窒素成分の67%は緩効性の被覆尿素LPS40である(33%は速効性)。LPS40の栃木県農業試験場における溶出パターンは年次で若干異なるものの概ね次の通りであり, 4月上旬までの溶出量は10%未満に抑えられ, 「タマイズミ R」の出穂期に相当する4月中下旬以降, 5月中下旬にかけて一気に70%程度溶出する典型的なシグモイド型を示し, 収穫期となる6月上旬中甸でも総溶出量は80%程度にとどまる(データ略)。今回, このBB タマイズ

ミ専用肥料を基肥にする方が速効性肥料を基肥にするよりも, 容積重と子実タンパク質含有率が大きくなる傾向を示した(第10表)。さらに「タマイズミ R」は, 出穂期10日後に追肥することにより, 両形質を同時に向上させることができた(第1図)。これは, 子実タンパク質含有率は向上するが, 容積重は必ずしも向上しない「タマイズミ」とは異なる挙動で, 両形質がやや劣る「タマイズミ R」としては, 出穂期10日後追肥は高品質化のための有効な手段となり得る。つまり, 「タマイズミ R」は被覆尿素LPS40入りの専用肥料を基肥とし, さらに出穂期10日後頃に追肥を行うことで「タマイズミ」とほぼ同等の容積重とタンパク質含有率が得られることを意味する。

次に追肥の供与量効果について考察する。第2図に「タマイズミ R」の基肥及び追肥による容積重の向上効果と, 子実タンパク質含有率の向上効果を示した。容積重の向上は, 基肥を増量するよりも追肥で増量する方が明らかに大きな効果が得られ, 窒素4g m<sup>-2</sup>の追肥で容積重6~11g L<sup>-1</sup>の向上を認めた。過去には同時期の窒素4g m<sup>-2</sup>追肥で容積重8~21g L<sup>-1</sup>の向上を認めた報告がある(高山ら, 2004)。一方で変わらないという報告も多い(竹内ら, 2006; 岩淵ら, 2007; 佐藤ら, 2009)。高山ら(2004)が示したように容積重の向上効果には品種間差異があるので, 用いた品種によって結果が異なるのであろう。子実タンパク質含有率の向上は, 基肥増量と追肥増量との間に容積重ほど明確な差は見られなかったが, 緩効性8や緩効性12では追肥増量の方が基肥増量よりも大きな効果が得られた。その効果は, 窒素4g m<sup>-2</sup>の追肥で子実タン

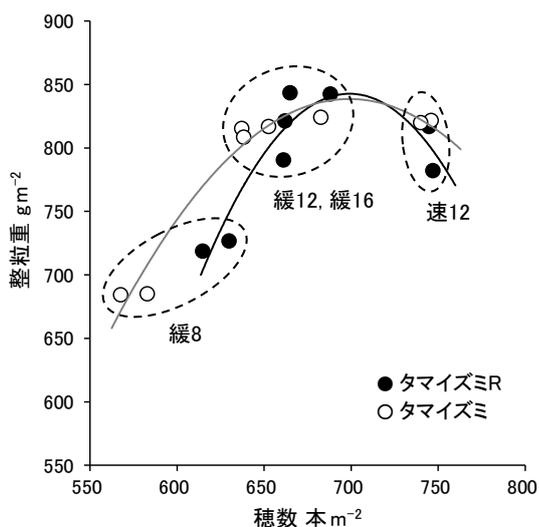


第2図 タマイズミRの基肥増量及び出穂期10日後追肥による容積重, 子実タンパク質含有率の向上効果

- 1) 2015~2016年度の2か年平均。
- 2) 緩8, 緩12, 緩16は基肥にBBタマイズミ専用866を各々窒素8, 12, 16g m<sup>-2</sup>施用。
- 3) 緩8-4, 緩12-4, 緩16-4は基肥にBBタマイズミ専用866を各々窒素8, 12, 16g m<sup>-2</sup>施用, 出穂期10日後に尿素を窒素4g m<sup>-2</sup>追肥。

パク質含有率 0.9~1.3 ポイントの向上であった。ただし、同時期の窒素  $4\text{g m}^{-2}$  の追肥で 1.8~2.4 ポイントの高タンパク化を達成した過去の報告(高山ら, 2004 ; 竹内ら, 2006 ; 岩渕ら, 2007)と比較すると、本研究の効果はかなり小さかったと言わざるを得ない。その理由の一つは、本研究の収量レベルが高いことにあると思われる。第3図に肥料試験の結果から穂数と整粒重の関係を示した。「タマイズミ R」と「タマイズミ」はほぼ同じ傾向を示し、速効性 12 では穂数過剰による減収をきたし、逆に緩効性 8 では穂数不足で低収となった。ここで注目したいのは低収とはいえ約  $700\text{g m}^{-2}$  の収量を緩効性 8 で得たことである。前述の通り BB タマイズミ専用 866 は窒素成分の 67% が LPS40 なので、生育初期から出穂直前までは窒素  $3\text{g m}^{-2}$  程度の施肥効果しか期待できないことになる。それでも穂数が  $600\text{本 m}^{-2}$  前後で整粒重が約  $700\text{g m}^{-2}$  となったのは、地力が高く、無機態窒素の供給が多いためであろう。本試験の作前に測定した可給態窒素は  $112\text{mg kg}^{-1}$ 、無機態窒素は  $12\text{mg kg}^{-1}$  と必ずしも高くはなかったが、継続的に緑肥作物を鋤込み地力増進に努めている。本研究の窒素追肥による子実タンパク質含有率の増加効果が従来報告(高山ら, 2004 ; 竹内ら, 2006 ; 岩渕ら, 2007)の約半分であったが、収量レベルは逆に従来報告の 1.7~1.9 倍であった。子実タンパク質含有率は、子実重に対するタンパク質の含有量の比で示されるので、追肥による子実タンパク質含有量の増加量が仮に同じであったとしても、タンパク質含有率の増加は収量が 2 倍近くあれば約半分になる。

圃場条件、特に地力(可給態窒素+無機態窒素)の違い



第3図 穂数と整粒重との関係

- 1) 2015~2016年度の2か年平均。
- 2) 速12: 基肥に硫酸アンモニウムを窒素  $12\text{g m}^{-2}$  施用。
- 3) 緩8 : 基肥にBBタマイズミ専用866を窒素  $8\text{g m}^{-2}$  施用。
- 4) 緩12: 基肥にBBタマイズミ専用866を窒素  $12\text{g m}^{-2}$  施用。
- 5) 緩16: 基肥にBBタマイズミ専用866を窒素  $16\text{g m}^{-2}$  施用。
- 6) いずれも出穂期10日後の窒素  $4\text{g m}^{-2}$  追肥の有無を含む。

によって適正な施肥量は異なることが予想されるが、一つの結論として本研究で使用した圃場のような地力が比較的高い黒ボク土において、子実タンパク質含有率 12%以上を確保した上で容積重の基準値 ( $833\text{g L}^{-1}$ ) を満たし、さらに最大の収量をあげるための「タマイズミ R」の施肥は、基肥に LPS40 入りの専用肥料(BB タマイズミ専用 866)を用いて窒素成分を  $12\text{g m}^{-2}$  施用し、出穂期 10 日後にも窒素  $4\text{g m}^{-2}$  を追肥する、極端な生育後期重点施肥体系であった。なお、この時期の追肥は、稈長や穂数が決定した後なので生育への影響は限定的であり、成熟期の遅延は観察されなかった(第 10 表)。

現地実証試験は、子実タンパク質含有率の上がりにくい灰色低地土を含む圃場で実施した。基肥に BB タマイズミ専用 866 を  $70\text{g m}^{-2}$  (窒素  $12.6\text{g m}^{-2}$ ) と鶏ふん  $150\text{g m}^{-2}$  を施用した上に、出穂期に尿素で窒素  $4\text{g m}^{-2}$  を追肥したことで、目標の子実タンパク質含有率 12% を確保することができた。さらに農産物検査は全量 1 等に格付けされ、収量も  $450\text{g m}^{-2}$  以上(2 か年平均)を達成できた(第5表)。この様に灰色低地土においても追肥との組合せで BB タマイズミ専用 866 の有効性を実証できた。しかしながら、緩効性肥料の窒素成分あたりの価格は速効性肥料の約 1.5 倍と高いことから、緩効性肥料の代わりに速効性肥料を使用する農家も少なくない。また、前述したように LPS40 の溶出量は収穫期になっても 80% 程度にとどまり、窒素の利用効率が比較的低いことも問題である。今後は窒素の利用効率が高く、安定して高子実タンパク質含有率と多収を実現できる硬質小麦専用肥料の開発が望まれる。

「タマイズミ R」はコムギ縞萎縮病に対して実用上抵抗性であることが確認できた(第2表)。もう一つの育種目標であった穂発芽耐性の向上に関しては、「タマイズミ R」は「タマイズミ」から人為誘発された突然変異体「TM1833」のアブシシン酸代謝酵素遺伝子 (*TaABA8'OH1-A*) の欠失変異 (Chono *et al.*, 2013) を受け継いでいるが、穂発芽耐性は「タマイズミ」と同水準と判断されている(乙部, 私信)。コムギ縞萎縮病に対する高度抵抗性を持たない「タマイズミ」は、過去には発病により 20~30% 減収する事例が見られた(加藤, 未発表)。耕種的対策として播種期を遅らせること(大藤, 2005)や、施肥量を多くすること(鈴木・黒田, 2015)などが提唱されている。しかしながら、いずれも決め手に欠けることから「タマイズミ」の作付け減少に歯止めがかからない状態であった。それに対して「タマイズミ R」はコムギ縞萎縮病に対する被害は認められず、作付面積の回復と安定生産が期待できる。また、実需者による工場スケールの醤油醸造試験が行われ、原料品質から出麴品質、もろみ濾液中の全窒素の推移、生醤油品質、さらには製品の官能評価と多岐にわたる項目について「タマイズミ R」は「タマイズミ」と同等以上の適性があると評価された(第6~8

表)。これらのことから、「タマイズミ R」は十分に「タマイズミ」の代替になり得ると考えられた。ただし、栃木県の「タマイズミ」は醤油醸造のみならず、中華麺としても利用されている。中華麺利用の場合も子実タンパク質含有率に依存して麺の硬さや粘弾性が向上して食感が良くなるので(中津ら, 2007; 古庄ら, 2009; 平ら, 2012), 高タンパクほど良質な原料となる。一方で、麺色は子実タンパク質含有率が高くなるほど劣るので(藤田ら, 2008), 中華麺用に栽培するならば必要以上の高タンパク化を避け、12%程度にとどめるべきである(Vocke, 1998; Zhao and Seib, 2005)。三重県では「タマイズミ」の子実タンパク質含有率が醤油醸造用の適正值(12%以上)ほど高くないことから、中華麺として主に利用されている。そのため共同研究の中で、実需者による小規模及び工場規模の製粉試験、中華麺加工試験に三重県産「タマイズミ R」を供試し、問題ないと評価された。三重県では「タマイズミ」に替えて 2019 年度から一般栽培される予定である(高橋, 私信)。

麺色は子実タンパク質含有率の影響を受けるほか、ポリフェノールオキシダーゼ(PPO)活性の影響も大きく、麺色と PPO 活性との間には負の相関がある(Baik *et al.*, 1995; Asenstorfer *et al.*, 2010)。PPO 関連遺伝子は第 2 染色体に座乗する *Ppo-A1*, *Ppo-A2*, *Ppo-B2*, *Ppo-D1*, *Ppo-D2* が報告されており(Beecher *et al.*, 2012), このうち、*Ppo-A1* の方が *Ppo-D1* よりも PPO 活性に与える影響は大きいながらも、この両者は PPO 活性に影響を及ぼすことが知られている(He *et al.*, 2007; Nilthong *et al.*, 2012; 伊藤ら, 2016)。「タマイズミ R」のコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子の供給元である「ゆめちから」は PPO 活性が比較的高く(Ito *et al.*, 2012), *Ppo-A1* 及び *Ppo-D1* のアリルはともに高活性型の *Ppo-A1a* と *Ppo-D1b* である(伊藤ら, 2016)。同じ 2D 染色体長腕に座乗するコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子(「ゆめちから」はこの遺伝子を有する)と *Ppo-D1* とは密接に連鎖しており(Ikeda *et al.*, 2018), よって、「タマイズミ R」は「ゆめちから」の抵抗性遺伝子導入に伴い、*Ppo-D1b* 取り込みによる PPO 活性の上昇と麺色の劣化が懸念されている。そのため、栃木県では醤油醸造関係の実需者からは「タマイズミ」から「タマイズミ R」への切り替えが望まれているが、中華麺に使用している製粉関係者からは品種切り替えの合意が得られていない状況である。2D 染色体長腕上の生産・利用上不利となる連鎖関係を切り、早急に *Ppo-D1* 低活性型アリルとコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子が連鎖した小麦品種の開発が望まれる。

前述の通り「タマイズミ R」はコムギ縞萎縮病に対して実用上抵抗性であるといえるが、今回の試験において「タマイズミ R」及び同一組合せ由来の「関東 140 号」は、コムギ縞萎縮ウイルスの感染が確認された(第 2 表)。「タマイズミ R」は「ゆめちから」の 2D 染色体長腕に座乗する抵抗性遺伝子 *YmYm(t)*

を受け継いでおり(Kojima *et al.*, 2015; 藤田ら, 2017), その抵抗性遺伝子は「Ibis」から同定された *Ymlb* と同座である可能性が高い(Nishio *et al.*, 2010)。また、国内のコムギ縞萎縮ウイルス系統は多様性を示し、関東以南の本州に分布する I 型、北海道・東北に分布する II 型、九州に分布する III 型に類別され(大藤, 2005; Ohki *et al.*, 2014), 「ゆめちから」は I 型及び II 型系統に対して抵抗性を示すことが明らかにされている(西尾, 2014; Kojima *et al.*, 2015)。しかしながら、*Ymlb* の他に、同じ 2D 染色体長腕座乗の *YmYF* や *YmMD*(Liu *et al.*, 2005; 竹内ら, 2010), 他にも 3B 染色体短腕(Suzuki *et al.*, 2015)や、5A 染色体長腕(Zhu *et al.*, 2012)などが報告されているが、単一では完全な抵抗性を示さないことが多い(西尾, 2014; Suzuki *et al.*, 2015)。将来のウイルス分化や被害拡大に備えて、大麦が複数のオオムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子を持つ育種を進めているように(新井ら, 2018), コムギ縞萎縮病に対しても複数の抵抗性遺伝子を持たせることが望まれる。

## 謝辞

本研究は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「縞萎縮病と穂発芽抵抗性を強化したスーパータマイズミの開発」(2014~2017 年度)の予算を活用して行われた。本研究を遂行するにあたり、現地試験圃場を管理していただいた真岡市 中野英雄氏、芳賀町 石下光男氏、壬生町 早乙女誠氏、及び各農協担当職員、醤油醸造適性評価をしていただいたヒガシマル醤油株式会社の皆様に多大なる御協力をいただいた。また、当試験場技術員及びパート職員には試験圃場管理、調査補助に協力していただいた。関係各位に心から感謝申し上げます。

## 引用文献

- 青沼伸一・池田二郎・伊澤由行・山口正篤・湯澤正明 (2004) 醤油用小麦「タマイズミ」の高タンパク質化安定栽培法。日作関東支報19:32-33
- 新井友輔・山口昌宏・大山亮・大関美香・関和孝博・五月女敏範・加藤常夫 (2018) 抵抗性遺伝子 *rym1* から *rym15* を有するオオムギの BaYMV 系統に対する評価とその利用。栃木農試研報77:1-12
- Asenstorfer R.E., Appelbee M.J., Mares D.J. (2010) Impact of protein on darkening in yellow alkaline noodles. *J. Agric. Food Chem.* 58:4500-4507
- Baik B.K., Czuchajowska Z., Pomeranz Y. (1995) Discoloration of dough for oriental noodles. *Cereal Chem.* 72:198-205
- Beecher B.S., Carter A.H., See D.R. (2012) Genetic mapping of new seed-expressed polyphenol oxidase genes in

- wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 124: 1463-1473
- 千葉秀雄 (1981) しょう油醸造における原料配合と小麦の問題点. *日本醸造協会雑誌*76:18-21
- Chono M., Matsunaka H., Seki M., Fujita M., Kiribuchi-Otobe C., Oda S., Kojima H., Kobayashi D., Kawakami N. (2013) Isolation of a wheat (*Triticum aestivum* L.) mutant in ABA 8'-hydroxylase gene: effect of reduced ABA catabolism on germination inhibition under field condition. *Breed. Sci.* 63:104-115
- 藤田雅也・乙部(桐)千雅子・吉岡藤治・松中仁・柳澤貴司・吉田久・山口勲夫・牛山智彦・長嶺敬・瀬古秀文・天野洋一・小田俊介 (2004) 温暖地向け硬質小麦新品種「タマイズミ」の育成. *作物研究所研報*5:1-17
- 藤田雅也・関昌子・松中仁・乙部千雅子・樋渡亜士・北野順一・神田幸英・宮本啓一・奥本裕 (2008) 温暖地向け硬質コムギ品種における中華麵適性と小麦粉特性との関係. *日作紀*77:449-456
- 藤田雅也・乙部千雅子・高山敏之・小島久代・蝶野真喜子・藤田由美子 (2017) コムギ縞萎縮病に強い小麦新品種「タマイズミR」の育成. *育種学研究*19(別2): 141
- 古庄雅彦・塚崎守啓・松江勇次・内村要介・山口修・馬場孝秀・高田衣子・宮崎真行・浜地勇次 (2009) ラーメン用小麦新品種「ちくしW2号」の育成. *福岡農総試研報*28:39-44
- He X.Y., He Z.H., Zhang L.P., Sun D.J., Morris C.F., Fuerst E.P., Xia X.C. (2007) Allelic variation of polyphenol oxidase (PPO) genes located on chromosomes 2A and 2D and development of functional markers for the PPO genes in common wheat. *Theor. Appl. Genet.* 115:47-58
- 池田二郎 (2003) 小麦新奨励(認定)品種「タマイズミ」の特性. *栃木農試成果集*22:1-2
- Ikeda T., Ito M., Terasawa Y., Nagasawa K., Hatta K. (2018) In "13th International Gluten Workshop, Book of Abstracts", CIMMYT, pp.69
- Ito M., Maruyama-Funatsuki W., Ikeda T.M., Nishio Z., Nagasawa K., Tabiki T., Yamauchi H. (2012) Evaluation of fresh pasta-making properties of extra-strong common wheat (*Triticum aestivum* L.). *Breed. Sci.* 62: 340-347
- 伊藤美環子・池田達哉・西尾善太・上原泰・前島秀和・石川吾郎・中村俊樹・齊藤美香・寺沢洋平・長澤幸一・八田浩一 (2016) コムギの生地色劣化に関与するポリフェノール酸化酵素遺伝子型とコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子との関係. *育種学研究*18(別1):215
- 岩渕哲也・田中浩平・松江勇次・松中仁・山口末次 (2007) 開花期の窒素追肥がパン用コムギ品種「ミナミノカオリ」と「ニシノカオリ」の製粉性, 生地物性および製パン適性に及ぼす影響. *日作紀*76:37-44
- 亀和田國彦 (2004) 栃木県の農業と土壤肥料. 黒ボク土の理解と生産性向上. *土肥誌*75:755-756
- Kojima H., Nishio Z., Kobayashi F., Saito M., Sasaya T., Kiribuchi-Otobe C., Seki M., Oda S., Nakamura T. (2015) Identification and validation of a quantitative trait locus associated with wheat yellow mosaic virus pathotype I resistance in a Japanese wheat variety. *Plant Breed.* 134:373-378
- Liu W., Nie H., Wang S., Li X., He Z., Han C., Wang J., Chen X., Li L., Yu J. (2005) Mapping a resistance gene in wheat cultivar Yangfu 9311 to yellow mosaic virus, using microsatellite markers. *Theor. Appl. Genet.* 111: 651-657
- 前島秀和・上原泰・細野哲・牛山智彦・中村和弘・中澤伸夫・高橋信夫・新井利直・谷口岳志・後藤和美・田淵秀樹・酒井長雄・久保田基成・近藤藤晴 (2016) 小麦新品種「ゆめかおり」について. *長野農試報*1:30-42
- Nagamine T., Kato T. (2008) Recent advances and problems in malting barley breeding in Japan. *JARQ* 42: 237-243
- 中津智史・奥村理・山本一史 (2007) 北海道コムギ品種における中華麵適性の評価. *日作紀*76:416-422
- Nilthong S., Graybosch R.A., Baenziger P.S. (2012) Inheritance of grain polyphenol oxidase (PPO) activity in multiple wheat (*Triticum aestivum* L.) genetic backgrounds. *Theor. Appl. Genet.* 125:1705-1715
- Nishio Z., Kojima H., Hayata A., Iriki N., Tabiki T., Ito M., Yamauchi H., Murray T.D. (2010) Mapping a gene conferring resistance to *Wheat yellow mosaic virus* in European winter wheat cultivar 'Ibis' (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 176:223-229
- 西尾善太 (2014) コムギ縞萎縮病抵抗性品種「ゆめちから」の育成と抵抗性遺伝子の由来. *植物防疫*68:134-137
- Ohki T., Netsu O., Kojima H., Sakai J., Onuki M., Maoka T., Shirako Y., Sasaya T. (2014) Biological and genetic diversity of *Wheat yellow mosaic virus* (Genus *Bymovirus*). *Phytopathology* 104:313-319
- 大藤泰雄 (2005) コムギ縞萎縮病の発生生態に関する研究. *東北農研研報*104:17-74
- 佐藤三佳子・五十嵐俊成・櫻井道彦・鈴木和織・柳原哲司・奥村正敏 (2009) 北海道北部地域における春ま

- きコムギ「春よ恋」に対する開花期以降の尿素葉面散布が子実タンパク質含有率と収量に及ぼす効果およびその変動要因. 日作紀78:9-16
- 鈴木啓史・黒田克利 (2015) 三重県におけるコムギ縞萎縮病の発生と防除対策. 植物防疫69:578-583
- Suzuki T., Murai M.N., Hayashi T., Nasuda S., Yoshimura Y., Komatsuda T. (2015) Resistance to wheat yellow mosaic virus in Madsen wheat is controlled by two major complementary QTLs. *Theor. Appl. Genet.* 128:1569-1578
- 平将人・二瓶直登・遠藤あかり・谷口義則・前島秀和・中村和弘・伊藤裕之 (2012) 出穂期の窒素追肥が硬質コムギ品種ゆきちからの中華麺適性に及ぼす影響. 日作紀81:173-182
- 高田亮 (1976) しょう油用小麦と新開発のこうじむぎ. 日本醸造協会雑誌71:675-681
- 高橋利和・大澤実・折茂佐重樹・成塚彰久・斎藤幸雄 (2010) 小麦新品種「さとのそら」の育成. 群馬農技研報7:1-12
- 高山敏之・長嶺敬・石川直幸・田谷省三 (2004) コムギにおける出穂10日後追肥の効果. 日作紀73:157-162
- 竹内実・近乗偉夫・吉良知彦 (2006) 醤油醸造用硬質コムギの高タンパク質化に向けた施肥法について. 日作九州支報72:25-28
- 竹内徹・宗形信也・鈴木孝子・千田圭一・堀田治邦・荒木和哉・浅山聡・佐藤導謙 (2010) コムギ縞萎縮病抵抗性系統の育成と「Madsen」由来の抵抗性遺伝子 *YmMD* の座乗領域の推定. 育種学研究12:1-8
- 栃木県農業環境指導センター (2011) コムギ縞萎縮病の防除対策. 植物防疫ニュースNo.13
- 塔野岡卓司・河田尚之・藤田雅也・吉岡藤治・乙部千雅子 (2010) 黒ボク土におけるオオムギ精麦品質の改良. 粉状質胚乳を呈するデンブン変異形質の有用性. 日作紀79:308-315
- Vocke G. (1998) Noodle end-use characteristics for wheat in East and Southeast Asia. *Economic Research Service, Wheat Yearbook, USDA*:33-35
- Wang C., Kovacs M.I.P., Fowler D.B., Holley R. (2004) Effects of protein content and composition on white noodle making quality: color. *Cereal Chem.* 81:777-784
- 山口昌宏 (2011) 硬質小麦タマイズミの施肥法と窒素追肥の判断指標. 栃木農試成果集29:1-2
- Zhao L.F., Seib P.A. (2005) Alkaline-carbonate noodles from hard winter wheat flours varying in protein, swelling power, and polyphenol oxidase activity. *Cereal Chem.* 82:504-516.
- Zhu X., Wang H., Guo J., Wu Z., Cao A., Bie T., Nie M., You F.M., Cheng Z., Xiao J., Liu Y., Cheng S., Chen P., Wang X. (2012) Mapping and validation of quantitative trait loci associated with wheat yellow mosaic bymovirus resistance in bread wheat. *Theor. Appl. Genet.* 124:177-188



写真1 乳熟期の立毛(奨励品種決定調査 場内試験)  
左:タマイズミR, 右:タマイズミ



写真2 黄熟期のタマイズミR(現地実証栽培 壬生町)