

肥料・飼料等専門調査会における審議結果について

1. 審議結果

農林水産大臣から食品安全委員会に意見を求められた *Trichoderma reesei* JPTR003 株を用いて生産されたムラミダーゼ濃縮・精製物を原体とする飼料添加物製剤に係る食品健康影響評価（令和元年 12 月 10 日付け元消安第 3782 号）については、令和 3 年 3 月 26 日に開催された第 160 回肥料・飼料等専門調査会において審議結果（案）がとりまとめられた。

2. *Trichoderma reesei* JPTR003 株を用いて生産されたムラミダーゼ濃縮・精製物を原体とする飼料添加物製剤に係る食品健康影響評価についての意見・情報の募集について

上記品目に関する「審議結果(案)」を食品安全委員会ホームページ等に公開し、意見・情報を募集する。

1) 募集期間

令和 3 年 5 月 11 日（火）開催の食品安全委員会（第 815 回会合）の翌日、令和 3 年 5 月 12 日（水）から令和 3 年 6 月 10 日（木）までの期間

2) 受付体制

電子メールフォーム（ホームページ上）、ファックス及び郵送

3) 意見・情報提供等への対応

いただいた意見・情報等を取りまとめ、肥料・飼料等専門調査会の座長の指示のもと、必要に応じて専門調査会を開催し、審議結果を取りまとめ、食品安全委員会に報告する。

(案)

飼料添加物評価書

Trichoderma reesei JPTR003 株
を用いて生産されたムラミダーゼ濃
縮・精製物を原体とする飼料添加物
製剤

2021年5月

食品安全委員会肥料・飼料等専門調査会

目 次

	頁
目 次	1
○ 審議の経緯	3
○ 食品安全委員会委員名簿	3
○ 食品安全委員会肥料・飼料等専門調査会専門委員名簿	3
○ 要約	5
 I. 評価対象飼料添加物の概要	6
1. 原体の名称等	6
2. 原体の製造方法	6
3. 製剤方法	6
(1) 液状製剤	6
(2) 固形製剤（小片、粉末又は粒子）	6
4. 用途	6
5. 対象飼料及び添加量	6
6. 使用目的及び使用状況	6
 II. 安全性に係る知見の概要	9
1. 原体及び賦形物質等に関する情報	9
(1) 原体の有効成分（組換え体）に関する知見	9
(2) 原体の製造工程に関する知見	9
(3) 賦形物質等に関する知見	9
2. 体内動態試験（参考資料）	10
(1) 消化試験（ <i>in vitro</i> 及び <i>in vivo</i> ）	10
(2) 吸収	11
(3) 分布	12
(4) 代謝	12
(5) 排泄	13
3. 遺伝毒性試験	13
4. 急性毒性試験（参考資料）	14
5. 亜急性毒性試験	14
6. 対象動物における飼養試験	15
7. その他	16
 III. 国際機関等における評価	17
1. JECFA における評価	17
2. EFSA における評価	17
3. 米国における評価等	17

IV. 食品健康影響評估	18
▪ 別紙：検査値等略称	19
▪ 参照	20

〈審議の経緯〉

2019 年 12 月 11 日 農林水産大臣から飼料添加物の指定及び飼料添加物の基準及び規格の設定並びに飼料添加物を含む飼料の基準及び規格の改正に係る食品健康影響評価について要請（元消安第 3782 号）、関係資料の接受

2019 年 12 月 17 日 第 767 回食品安全委員会（要請事項説明）

2020 年 1 月 20 日 第 150 回肥料・飼料等専門調査会

2020 年 3 月 9 日 第 151 回肥料・飼料等専門調査会

2021 年 3 月 26 日 第 160 回肥料・飼料等専門調査会

2021 年 5 月 11 日 第 815 回食品安全委員会（報告）

〈食品安全委員会委員名簿〉

（2018 年 7 月 1 日から）

佐藤 洋（委員長*）
山本 茂貴（委員長代理*）
川西 徹
吉田 緑
香西 みどり
堀口 逸子
吉田 充

*：2018 年 7 月 2 日から

〈食品安全委員会肥料・飼料等専門調査会専門委員名簿〉

（2020 年 3 月 31 日まで）

今井 俊夫（座長*）
山中 典子（座長代理*）
新井 鐘蔵 佐々木 一昭
荒川 宜親 下位 香代子
井手 鉄哉 中山 裕之
今田 千秋 宮島 敦子
植田 富貴子 森田 健
川本 恵子 山口 裕子
栗形 麻樹子 山田 雅巳
小林 健一

（2020 年 4 月 1 日から）

今井 俊夫（座長）
山中 典子（座長代理）
新井 鐘蔵 代田 真理子
荒川 宜親 下位 香代子
井手 鉄哉 森田 健
今田 千秋 中山 裕之
植田 富貴子 宮島 敦子
川本 恵子 山口 裕子
小林 健一 山田 雅巳
佐々木 一昭

*：2019 年 11 月 6 日から

〈第 150 回肥料・飼料等専門調査会専門参考人名簿〉

唐木 英明（公益財団法人食の安全・安心財団理事長）
吉田 敏則（東京農工大学農学研究院動物生命科学部門准教授）

〈第 151 回肥料・飼料等専門調査会専門参考人名簿〉

唐木 英明（公益財団法人食の安全・安心財団理事長）

吉田 敏則（東京農工大学農学研究院動物生命科学部門准教授）

〈第 160 回肥料・飼料等専門調査会専門参考人名簿〉

唐木 英明（公益財団法人食の安全・安心財団理事長）

吉田 敏則（東京農工大学農学研究院動物生命科学部門准教授）

要 約

飼料添加物である *Trichoderma reesei* JPTR003 株を用いて生産されたムラミダーゼを原体とする製剤について、飼料添加物指定審査用資料等を用いて、食品健康影響評価を実施した。

食品安全委員会遺伝子組換え食品等専門調査会では、ムラミダーゼ JPTR003 について、遺伝子組換え体に関する評価を実施し、当該飼料添加物を摂取した家畜に由来する畜産物について安全上の問題はないと評価している。

ムラミダーゼ JPTR003 製剤に含まれている賦形物質等は、その使用状況及び既存の評価並びに本製剤の用法・用量を考慮すると、本製剤の含有成分として摂取した場合のヒトへの健康影響は無視できる程度と考えた。

ムラミダーゼ JPTR003 に関する遺伝毒性試験では、*in vitro* の復帰突然変異試験及び染色体異常試験の結果は陰性であったことから、ムラミダーゼ JPTR003 には、飼料添加物として用いる限りにおいて、生体にとって特段問題となる遺伝毒性はないと考えた。

ラットの 13 週間亜急性毒性試験において、ムラミダーゼ JPTR003 の投与による毒性所見はみられなかったことから、本試験における NOAEL は投与最高用量である 1.132 g TOS/kg 体重 (384,616 LSU(F)/kg 体重/日) と判断した。

本飼料添加物製剤を用いた鶏の耐容試験では、最大推奨添加量の 10 倍量 (450,000 LSU(F)/kg 飼料) を 6 週間混餌投与しても、投与による悪影響はみられなかった。

以上のことから、今回評価要請された、ムラミダーゼ JPTR003 製剤は、飼料添加物として適切に使用される限りにおいて、食品を通じてヒトの健康に影響を与える可能性は無視できる程度と考えた。

I. 評価対象飼料添加物の概要

1. 原体の名称等

原体名：*Trichoderma reesei* JPTR003 株を用いて生産されたムラミダーゼ濃縮・精製物（ムラミダーゼ JPTR003 原体）

有効成分名：ムラミダーゼ JPTR003

酵素名：ムラミダーゼ（Muramidase） 別名：リゾチーム（Lysozyme）

酵素番号：EC 3.2.1.17

CAS No.: 9001-63-2（参照1）

2. 原体の製造方法

T. reesei QM6a 株を宿主菌株とし、*A. alcalophilum* の特定菌株由来のムラミダーゼをコードする合成遺伝子を導入した組換え *T. reesei* JPTR003 株を培養し、得られた培養液から菌体成分 P の除去等の処理を行った後、濃縮・精製する。（参照 1）

3. 製剤方法

本飼料添加物の剤形は、液状及び固形（小片、粉末又は粒子）があり、それぞれに以下のとおり賦形物質等を加えて製造する。（参照 1）

（1）液状製剤

原体に、安息香酸ナトリウム、ソルビン酸カリウム及びソルビトールを混和した液状物である。

（2）固形製剤（小片、粉末又は粒子）

原体に、硫酸ナトリウム、ショ糖及び賦形物質を混和した小片、粉末又は粒子である。

4. 用途

飼料が含有している栄養成分の有効な利用の促進である。（参照 1）

5. 対象飼料及び添加量

評価要請者によれば、本飼料添加物製剤の飼料への推奨添加量は、鶏（肉用鶏）用飼料 1 kg 当たり 25,000～45,000 ペプチドグリカン分解力単位（LSU(F)）¹である。（参照 1、2）

6. 使用目的及び使用状況

ムラミダーゼは、酵素活性に基づく分類名としては、リゾチームの別名であり、細菌の細胞壁の主要構成成分であるペプチドグリカンと呼ばれる *N*-アセ

¹ 1 LSU(F)は、ペプチドグリカン分解力単位のことであり、1 LSU(F) はムラミダーゼが 12.5µg/mL フリオレセイン標識ペプチドグリカンに 30℃で作用するとき、反応初期の 1 分間に 0.06 nmol のフルオレセインイソチオシアナート（アイソマーI）に相当する蛍光強度を増加させる酵素量に相当。（参照 2）

チルグルコサミン及び *N*-アセチルムラミン酸が交互に重合する多糖間の β 1-4 結合を切断する加水分解酵素のことであり、細菌の溶解を引き起こす。ほかにムコペプチドグリコヒドロラーゼと呼ばれることがある。本酵素は、1922 年にアレキサンダー・フレミング博士によりヒトの体液中の成分として発見された。その後、細菌、植物、無脊椎動物、脊椎動物まで広く生物に分布していることが判明した。本酵素は、脊椎動物では鼻汁、母乳、卵白等に存在し、細菌の細胞壁のペプチドグリカン層を分解する生理活性により、感染防御機能を担っていると考えられている。

本酵素は、日本においては、食品添加物として指定されており、食品添加物としては、放線菌 (*Actinomyces* 又は *Streptomyces*) 又は細菌 (*Bacillus*) 由来物をムラミダーゼとし、卵白由来物をリゾチームと分類している(参照 1、3)。また、過去にヒト用の医薬品(内服)として卵白由来のリゾチーム塩酸塩が製造販売承認されていたが、有効性について再評価された結果、2016 年に鎮咳去痰作用について認められないとされた(参照 4)。

動物用医薬品としては、日本では卵白由来のリゾチーム塩酸塩が、まだいを対象とする水産用医薬品(水産用ポトチーム)として製造販売承認(1995 年)されている。効能・効果は、まだいの粘液を増加させることにより白点虫 (*Cryptocaryon irritans*) の付着を防ぎ、寄生による死亡や摂餌低下を改善することであり、投与量はリゾチーム塩酸塩として 20 mg/kg 魚体重(力価)を 7 日間経口投与(飼料に添加)するもので、休薬期間は 3 日間と設定されている。本動物用医薬品について、食品安全委員会は、2005 年に再審査に係る食品健康影響評価を実施しており、「提出された資料の範囲において、当該動物用医薬品に関する安全性に係る新たな知見の報告は認められないと考えられる」と評価している。(参照 5)

今回の評価対象であるムラミダーゼ JPTR003 製剤は、消化管内に滞留する難溶性の細菌由来ムコ多糖類を分解することにより、飼料が含有している栄養成分の有効な利用の促進を目的として、鶏の飼料に添加して使用されるものである。(参照 1)

米国では 2011 年に GRAS (Generally Recognized as Safe : 一般に安全と認められる (FDA による安全基準合格)) の認定を受け、肉用鶏への使用が認められている。(参照 1、6)

EU では肉用鶏、七面鳥その他の家きん類の飼料要求率改善及び消化機能補助を目的とした場合における安全性評価が 2018 年及び 2019 年に終了している。(参照 1、7、8、9)

今般、農林水産省から、DSM 社及びノボザイムズ ジャパン社が開発し、両社が共同して国内販売を企図している飼料添加物であるムラミダーゼ JPTR003 製剤について(参照 1)、飼料の安全性の確保及び品質の改善に関する法律(昭和 28 年法律第 35 号)第 3 条第 1 項の規定に基づく飼料添加物の製造の方法等の基準及び成分の規格並びに当該飼料添加物を含む飼料の製造の方法の基準を設定することに関し、食品健康影響評価の要請がなされた。

なお、ムラミダーゼ JPTR003 原体については、遺伝子組換え技術を用いて生産していることから、食品安全基本法第 24 条第 1 項第 14 号、食品安全委員会令（平成 15 年政令第 273 号）第 1 条第 1 項及び食品安全委員会令第 1 条第 1 項の内閣府令で定めるときを定める内閣府令（平成 15 年内閣府令第 66 号）第 3 号の規定に基づき、農林水産省より評価要請がされ、食品安全委員会遺伝子組換え食品等専門調査会は「当該飼料添加物を摂取した家畜に由来する畜産物について安全上の問題はないと判断した。」と評価している。（参照 10）

II. 安全性に係る知見の概要

本評価書は、飼料添加物指定審査用資料、文献等を基に、ムラミダーゼ JPTR003 製剤の毒性に関する主な知見を整理した。

検査値等略称を別紙に示した。

1. 原体及び賦形物質等に関する情報

(1) 原体の有効成分（組換え体）に関する知見

ムラミダーゼ JPTR003 は、遺伝子組換え技術を利用して開発された酵素（タンパク質）である。ムラミダーゼ JPTR003 原体が飼料添加物として利用された場合における食品を介したヒトへの安全性については、2021 年 4 月に食品安全委員会遺伝子組換え食品等専門調査会は安全上の問題はないと評価している（参照 10）。

(2) 原体の製造工程に関する知見

原体の有効成分を含む培養物をろ過し、又は水で抽出後、菌体をろ過除去し、ろ液を濃縮する。（参照 1）

(3) 賦形物質等に関する知見

① 液状製剤

液状製剤の製造には、必要に応じて安息香酸ナトリウム、ソルビン酸カリウム及びソルビトールが添加される。このうち、ソルビトールは、食品安全委員会は、飼料添加物の賦形物質及び希釈物質に使用される物質として、人の健康に影響を及ぼす悪影響の内容及び程度が明らかであると評価している。（参照 11）

安息香酸ナトリウムは、国内では食品添加物に指定されており（参照 12）、JECFA では安息香酸類についてグループ ADI が 0～5 mg/kg 体重/日と設定されている（参照 13）。

ソルビン酸カリウムは、国内で食品添加物に指定されており（参照 12）、食品安全委員会は、ソルビン酸並びにそのカルシウム塩及びカリウム塩のグループ ADI として 25 mg/kg 体重/日（ソルビン酸として）と評価している（参照 14）。JECFA では、ソルビン酸並びにそのカルシウム塩、カリウム塩及びナトリウム塩のグループ ADI として、0～25 mg/kg 体重/日（ソルビン酸として）と評価している（参照 15）。

② 顆粒製剤

顆粒製剤の製造では、硫酸ナトリウム、ショ糖、カオリン、セルロース及び植物油が添加される。このうち、カオリン、セルロース及び植物性油脂については、食品安全委員会は、飼料添加物の賦形物質及び希釈物質に使用される物質として、人の健康に影響を及ぼす悪影響の内容及び程度が明らかであると評価している。（参照 11）

硫酸ナトリウムは国内で食品添加物に指定されており（参照 12）、JECFA

では、ADI を「not specified」（特定しない）と評価している（参照16）。

ショ糖は、食品に通常含まれている。

カオリンはアルミニウムを含んでおり、JECFA は 2011 年にアルミニウムの PTWI（2 mg/kg 体重/週）を設定している（参照17）。しかしながら、本製剤におけるカオリンの含有量及びヒトへのばく露が家畜を経由することを踏まえると、本飼料添加物製剤を使用することによる畜産物を介したヒトへのアルミニウムのばく露は無視できる程度と考えられる。

以上のことから、食品安全委員会肥料・飼料等専門調査会は、ムラミダーゼ JPTR003 製剤に含まれている賦形物質等は、その使用状況及び既存の評価並びに用法・用量を考慮すると、本製剤の含有成分として使用された場合におけるヒトへの健康影響は無視できる程度と考えた。

2. 体内動態試験（参考資料²）

ムラミダーゼ JPTR003 に関する体内動態試験は実施されていないが、リゾチームについては広く試験が実施されている。

（1）消化試験（*in vitro* 及び *in vivo*）

リゾチーム（卵白由来）及びグルコースにより修飾した本リゾチームを用いた *in vitro* 及び *in vivo* での消化試験が実施されている。

① *in vitro* での消化試験

リゾチーム試料（100 mg/13 mL 0.1N HCl）を 5℃、12 時間インキュベーション後、2 mL ペプシン溶液（1.5 mg/13 mL 0.1N HCl）を添加し 37℃、3 時間反応させた後、中性化し、7.5 mL パンクレアチン溶液（5 mg/7.5 mL、pH 8.0）添加し 37℃、20 時間反応させる *in vitro* 消化試験が実施された。ペプチド産生量を測定した。

結果を表 1 に示した。

無処置リゾチームの分解は、ペプシン及びパンクレアチンの反応条件下では、分子量 3,000 以下が大部分（93.9%）であり、3,000～10,000 のものが 0.6% 及び 10,000 以上のものが 5.5% であった。グルコースによる修飾時間（4～50 日）の延長に伴い多量体が増加し、ペプシン－パンクレアチン消化系では低分子量画分が減少し、高分子画分が増加、グルコースによる修飾が約 60%（30 日）に達すると、*in vitro* の消化系では完全に分解することは困難であった。（参照18）

² ムラミダーゼ JPTR003 ではないリゾチームを用いた試験であることから参考資料とした。

表 1 グルコース修飾リゾチームを *in vitro* ペプシンーパンクレアチン系で消化（3 時間+20 時間）後の消化

分子量	消化状況（％）					
	グルコース 未修飾	グルコース修飾時間（日）				
		4	7	21	30	50
<3,000	93.9	92.5	75.8	66.1	37.3	33.2
3,000～10,000	0.6	1.9	5.2	2.2	3.4	8.2
>10,000	5.5	5.6	19.0	31.7	59.8	58.6

② *in vivo* での消化試験

ラット（Wistar 系、体重 200 g、雄）に卵白由来リゾチーム（250 mg/0.5 mL）を経口投与し、投与 90～180 分後の胃及小腸内試料を採取し、HPLC により測定する、*in vitro* 消化試験が実施された。

結果を表 2 に示した。

単量体は投与後 90 分以内にほとんどが胃から小腸へ移送され、99.6%の投与物質が消化・吸収された。7 日間グルコース修飾処理を行ったリゾチームの投与 180 分後では胃及び上部小腸には残留物はみられず、0.2%が下部小腸にみられた。30 日間修飾した場合には、90 分後では胃で 4.2%、上部小腸で 0.5%及び下部小腸で 6.7%³残存していた。無処置及び 30 日間修飾リゾチームを投与した 90 分後の小腸における分子量 3,000 以下の画分中にはリゾチームは検出されず、被験分子は胃及び小腸で消化・吸収されると考えられた。（参照 18）

表 2 単量体及び多量体リゾチームのラット消化管内残留率

	無処置		7 日間修飾	30 日間修飾
消化時間（分）	90	180	180	90
胃（％）	0.38	0.00	0.00	4.23
上部小腸（％）	0.00	0.00	0.00	0.50
下部小腸（％）	0.05	0.00	0.20	0.69 ³

（２）吸収

リゾチーム（鶏又は卵白由来リゾチーム）を、ヒト、ラット、ウサギ又は鶏に経口投与した場合の吸収試験が実施されている。

これらの結果、リゾチーム（鶏及び卵白由来リゾチーム）は、ヒト、ラット、ウサギ及び鶏では、少量であるが腸間膜を通過して吸収された。吸収後、リゾチームは、主に血流へ移行した。リンパ系への移行は血流と比較して微量であった。

腸管における吸収部位は、上部小腸であり、粘膜上皮細胞の貪食作用及び

³ 参照 18 の通りに記載した。

傍細胞輸送経路から吸収された。腸管から吸収されたリゾチームは、投与10数分後から1時間以内に血中に出現し、その消失は速やかに生じるとされている（1時間から2日程度まで）。（参照19、20、21、22、23、24、25、26、27、28、29）

（3）分布

① ラットを用いた試験

ラットにリゾチームを注射投与する複数の分布試験が実施されている。

これらの結果によると、注射投与後、多くの組織への分布がみられ、その主要な組織は、肝臓、腎臓、脾臓、肺、小腸、心筋、骨格筋、関節面、気管及び副鼻腔等であり、このうち腎濃度が最も高く、骨格筋では低かった。結果の一部を表3に示した。（参照30、31、32、33、34、35）

表3 ラットに ^{125}I 標識リゾチームを静脈内投与（65 μg /動物）した3時間後の組織分布量（Hansen ら 1971）

	血漿	尿	白血球	肺	腎臓	骨髄	脾臓	小腸	肝臓
平均値	12.2	1.5	25.4	574	563	425	158	78	14
SD	2.6	1.1	15.3	100	185	169	38	75	5

単位： $\mu\text{g}/\text{mL}$ 又は $\mu\text{g}/\text{g}$

白血球： $\mu\text{g}/10^6$ 細胞

（4）代謝

リゾチームをラット又はマウスに経口投与する複数の代謝試験が実施されている。

これらの結果によると、経口投与されたリゾチームの大部分は、上部消化管（胃及び上部小腸）において、ペプシンーカテプシン系で消化・吸収されるが、極めて少量の消化分解されないリゾチームが腸粘膜細胞の貪食作用及び傍細胞透過経路により吸収される。その多くは腎臓及び肝臓へ移送され、代謝・分解される。腎臓では尿細管上皮細胞内のリソソームに取り込まれ、分解される。（参照36、37、38）

ヒトへのリゾチームの静脈内投与の結果、リゾチームの異化率は、時間当たり76%であり、その多くは腎臓が担っているが、腎臓以外でも約15%が異化されると考えられる。（参照34）

表 4 成人への ^{125}I 標識ヒトリゾチーム (100 $\mu\text{Ci}/\text{mg}$) の静脈内投与におけるリゾチームの血漿中・尿中濃度と腎臓における異化率・糸球体濾過率

N=9	血漿 ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	尿 ($\mu\text{g}/\text{日}$)	異化率 (/時間)	合成量 ($\mu\text{g}/\text{kg}/\text{時間}$)	糸球体ろ過量 (%クレアチニン クリアランス)
平均値	8.5	610	0.760	287	34.8
SD	1.4	650	0.090	72	6.9

(5) 排泄

イヌにリゾチームを静脈投与した試験が実施されている。血流中の外因性リゾチームの尿細管透過性はクレアチニン比 38%であり、その変動は大きく (SD : 11%)。リゾチームの尿細管での最大吸収能は、1.0 mg/100 mL 糸球体ろ過であった (SD: 0.44/100 mL)。リゾチームの腎閾値は 1.0 mg/100 mL であったことから、細胞へ吸収されたリゾチームは異化され、リゾチームの血流への再吸収は生じないと考えられた。(参照39)

3. 遺伝毒性試験

ムラミダーゼ JPTR003 の遺伝毒性試験結果を表 5 に示した。

表 5 ムラミダーゼ JPTR003 の遺伝毒性試験結果

試験系		対象	用量	結果	参照
<i>in vitro</i>	復帰突然変異試験	<i>Salmonella typhimurium</i> TA98、TA100、TA1535、TA1537、 <i>Escherichia coli</i> WP2 <i>uvrA</i>	156、313、625、1,250、2,500、5,000 $\mu\text{gTOS}^{\text{a}}/\text{plate}$ ($\pm\text{S9}$)	陰性	1、40、41
	染色体異常試験	ヒト末梢リンパ球	1,000、3,000、4,000、5,000 $\mu\text{g TOS}/\text{mL}$ 、($\pm\text{S9}$)、3 時間ばく露後 17 時間培養して標本作製	陰性	1、41、42
			500、2,000、4,000 $\mu\text{g TOS}/\text{mL}$ 、(-S9)、20 時間ばく露後に標本作製	陰性	

a: TOS : 総有機固形物 (Total Organic Solids)

食品安全委員会肥料・飼料等専門調査会は、*in vitro* の復帰突然変異試験及び染色体異常試験が陰性であったことから、ムラミダーゼ JPTR003 は、飼料添加物として使用された場合、生体にとって特段問題となる遺伝毒性はない

と判断した。

4. 急性毒性試験（参考資料⁴）

ムラミダーゼ JPTR003 の急性毒性試験に関する資料は提出されていないが、表 6 のとおりリゾチームについて急性毒性試験が実施され、50%致死用量（LD₅₀）が得られている。

表 6 卵白由来リゾチームの急性毒性試験結果（mg/kg 体重）

動物種	投与経路	LD ₅₀	参照
マウス	経口	>4,000	43
ラット	経口	>4,000	43

5. 亜急性毒性試験

① 28 日間亜急性毒性試験（ラット）（参考資料⁵）

ラット（Wistar 系、7 週齢、雌雄各 5 匹/群）に組換えヒトリゾチーム（コメで発現させ、抽出、濃縮したヒトリゾチーム、130,700 U/mg タンパク質）を 28 日間強制経口投与（0（生理食塩水 7.3 mL/kg 体重）、36 又は 360 mg/kg 体重/日）する亜急性毒性試験が実施された。

健康状態、体重、摂餌量、血液学的検査及び血液生化学的検査を実施するとともに、病理学的検査を実施した。

試験期間中に投与に関連する死亡例はみられず、360 mg/kg 体重/日投与群の雌雄各 1 匹に脱毛がみられた以外、異常所見はみられなかった。

体重に影響はみられなかったが、第 3 週において、36 mg/kg 体重/日投与群の雌で対照群に比べ摂餌量が増加した。血液学的検査では毒性影響はみられなかった。血液生化学的検査では、雄で低カルシウム値及び高クレアチン値並びに雌で高ビリルビン値がみられたが、個体間の変動範囲内であった。

臓器重量には投与群と対照群との間に有意な差はみられなかった。病理学的検査においても、投与に関連する所見はみられなかった。（参照 44）

② 13 週間亜急性毒性試験（ラット）

ラット（Wistar Han 系、44～50 日齢、雌雄各 10 匹/群）にムラミダーゼ JPTR003（比重：1.48、TOS：10.8%）を 13 週間経口投与（0.113、0.374 又は 1.132 g TOS/kg 体重/日及び 38,462、126,923 又は 384,616 LSU(F)/kg 体重/日）する亜急性毒性試験が実施された。

試験期間を通して一般状態、摂餌量、体重等の検査を行い、試験終了時に眼科的検査、運動機能観察試験、自発運動量試験、血液学的検査、血液生化学

⁴ 卵白由来リゾチームを用いた試験であることから参考資料とした。

⁵ ヒト由来リゾチームを用いた試験であることから参考資料とした。

学的検査、尿検査、病理検査、病理組織学的検査等を実施した。

試験期間を通じて、死亡例はみられず、体重、摂餌量、眼科的検査、運動機能、自発運動量、血液学的検査、血液生化学的検査及び尿検査に毒性影響はみられず、各種組織の病理組織学的検査においても投与に関連する病理学的変化はみられなかった。

これらの結果から、試験者はラットへの 13 週間のムラミダーゼの強制経口投与において毒性はみられず、最大投与量 1.132 g TOS/kg 体重 (384,616 LSU(F)/kg 体重/日) に耐容したとしている。

以上から申請者は、本試験での NOAEL は 1.132 g TOS/kg 体重 (384,616 LSU(F)/kg 体重/日) とした。(参照 1、41、45)

食品安全委員会肥料・飼料等専門調査会は、本試験ではいずれの用量でも毒性所見はみられなかったことから、本試験の NOAEL は投与最高用量である 1.132 gTOS/kg 体重 (384,616 LSU(F)/kg 体重/日) と判断した。

③ 4 週間亜急性毒性試験（ウサギ、静脈内投与）（参考資料⁶）

ウサギ（ニュージーランド種、雄 10 匹/群）に卵白由来リゾチーム塩酸塩（500 mg/kg 体重/日）を 4 週間（5 回/週）静脈内投与する亜急性毒性試験が実施された。

血液学的、血液生化学的及び病理学的検査を実施した。

投与群では投与 1 週後に 1 匹、対照群では 1 週後に 1 匹及び 2 週後に 2 匹の死亡例がみられた。卵白由来リゾチーム投与群では比較的深い頻呼吸がみられたが、迅速に回復し、最終投与時点まで生存した。そのほか、投与物質に起因する毒性影響はみられなかった。(参照 43、46)

6. 対象動物における飼養試験

① 耐容試験

鶏（肉用種）に高濃度のムラミダーゼ JPTR003 製剤を混餌投与する耐容試験が実施されている。

最大推奨添加量の 10 倍となる 450,000 LSU(F)/kg 飼料を鶏（肉用種）に 6 週間混餌投与した結果、本製剤の投与による毒性影響はみられなかった。(参照 7、41、47)

② 飼養試験（有効性確認試験）

鶏（肉用種）に、ムラミダーゼ JPTR003 製剤を最大推奨用量まで 35 又は 42 日間混餌投与する飼養試験が数種実施された。

いずれの試験においても、投与による毒性影響はみられなかった。(参照 7、41、48、49、50、51、52、53)

⁶ 卵白由来リゾチーム塩酸塩を用いた試験であることから参考資料とした。

7. その他

① 対象動物における抗菌作用に関する試験（参考資料⁷⁾）

ムラミダーゼ JPTR003⁸⁾について、EFSA の指示に基づき、抗菌活性の有無を検討するために、EFSA の指針に記載された参照菌 5 株 (*E. coli* (ATCC25922) 、 *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC27853) 、 *Staphylococcus aureus*(ATCC25923)、*Enterococcus faecalis*(ATCC29212) 及び *Bacillus subtilis* (ATCC6633))、家きんの糞便からも一般的に分離される追加の参照菌 2 株 (*Campylobacter jejuni* (ATCC33560) 及び *Clostridium perfringens* (ATCC13124)) 及び家きん由来野生分離株である 5 菌種 30 株 (*E. coli* (5 株)、*Salmonella Enteritidis* (5 株)、*E. faecium* (5 株)、*Enterococcus faecalis* (5 株)、*C. jejuni* (5 株) 及び *C. perfringens* (5 株))を用いて、ISO(International Organization for Standardization) 及び CLSI (The Clinical & Laboratory Standards Institute : 臨床・検査標準協会) ガイドラインに従い、最小発育阻止濃度 (MIC) が測定された。対照として卵白リゾチームが用いられた。

ムラミダーゼ JPTR003 は、全ての試験菌株に対して 400 mg/L 又はそれよりも高い MIC を示した。

(参照 8、54)

⁷⁾ 本酵素の抗菌活性の有無に関する試験であることから参考資料とした。

⁸⁾ 製造用原体と同一かは不明

Ⅲ. 国際機関等における評価

1. JECFA における評価

JECFA は、食品添加物としてのリゾチームの評価を実施しており、卵白由来リゾチームの動物及びヒトへのアレルギー誘発性の作用は、食料として長い摂取の歴史のある卵アルブミンや他のアルブミンよりも低いとしている。また、得られた資料から、チーズを介した低い量のリゾチームの摂取はヒトの健康に悪影響を及ぼすものでないと結論している。動物の可食部位からのリゾチームは食品として使用されており、クラス I 酵素として使用できるとしている。

これらのことから、食品製造基準に基づき食品製造過程に用いることは許容されると結論している。(参照 43、55)

2. EFSA における評価

ムラミダーゼ JPTR003 製剤について、*T. reesei* DSM 32338 株由来ムラミダーゼとして、2018 年に肥育用の鶏及びその他マイナーな家きん類の、2019 年には肥育用及び繁殖用の七面鳥、繁殖用の鶏並びに産卵用のその他家きん類の飼料添加物としての使用に関する評価を実施している。

評価対象物質は、遺伝子組換えにより作出された *T. reesei* を用いて生産されたものであり、最終産物には培養可能な生物は含まれておらず、導入 DNA は検出限界未満であった。

肉用鶏及びその他家きん類への最小推奨添加量は 25,000 LSU(F)/kg 飼料、最大推奨添加量は 45,000 LSU(F)/kg 飼料とされ、肉用鶏では推奨用量の 10 倍まで耐容したことから、家きん類に対して安全であるとしている。(参照 7、8)

遺伝毒性試験では、*in vitro* の細菌を用いた復帰突然変異試験及びヒト末梢血リンパ球を用いた染色体異常試験では影響がみられなかったこと並びにラットを用いた 13 週間亜急性毒性試験では投与による影響がみられなかったことから、ムラミダーゼ JPTR003 製剤の食用動物への使用による消費者へのリスクはないとしている。

また、ムラミダーゼは酵素であり、眼及び皮膚への刺激性を有する可能性はあるが、検出されなかった。皮膚及び呼吸器系への感作性試験は実施されていないが、固形製剤は感作作用がほとんどないことから使用者へのリスクはないと考えられるとしている。(参照 7)

3. 米国における評価等

評価資料は公表されていないが、提出された資料によると、2017 年に GRAS によって、鶏（肉用鶏）飼料への飼料添加物として認証されたとしている。(参照 6)

IV. 食品健康影響評価

ムラミダーゼ JPTR003 製剤には、固形及び液状の 2 種類があり、推奨添加量は、鶏用飼料 1 kg 当たり 25,000～45,000 LSU(F)とされている。

食品安全委員会遺伝子組換え食品等専門調査会では、ムラミダーゼ JPTR003 について、遺伝子組換え体に関する評価を実施し、当該飼料添加物を摂取した家畜に由来する畜産物について安全上の問題はないと評価している。

ムラミダーゼ JPTR003 製剤に含まれている賦形物質等は、その使用状況及び既存の評価並びに本製剤の用法・用量を考慮すると、本製剤の含有成分として摂取した場合のヒトへの健康影響は無視できる程度と考えた。

ムラミダーゼ JPTR003 に関する遺伝毒性試験では、*in vitro* の復帰突然変異試験及び染色体異常試験の結果は陰性であったことから、ムラミダーゼ JPTR003 には、飼料添加物として用いる限りにおいて、生体にとって特段問題となる遺伝毒性はないと考えた。

ラットの 13 週間亜急性毒性試験において、ムラミダーゼ JPTR003 の投与による毒性所見はみられなかったことから、本試験における NOAEL は投与最高用量である 1.132 g TOS/kg 体重 (384,616 LSU(F)/kg 体重/日) と判断した。

本飼料添加物製剤を用いた鶏の耐容試験では、最大推奨添加量の 10 倍量 (450,000 LSU(F)/kg 飼料) を 6 週間混餌投与しても、投与による悪影響はみられなかった。

以上のことから、今回評価要請された、ムラミダーゼ JPTR003 製剤は、飼料添加物として適切に使用される限りにおいて、食品を通じてヒトの健康に影響を与える可能性は無視できる程度と考えた。

〈別紙：検査値等略称〉

略称等	名称
ADI	Acceptable Daily Intake：許容一日摂取量
CLSI	The Clinical & Laboratory Standards Institute：臨床・検査標準協会
EFSA	European Food Safety Authority：欧州食品安全機関
EU	European Union：欧州連合
FDA	US Food and Drug Administration：米国食品医薬品庁
GLP	Good Laboratory Practice：優良試験所基準
GRAS	Generally Recognized as Safe：一般に安全と認められる（FDA による安全基準合格）
ISO	International Organization for Standardization：国際標準化機構
JECFA	FAO/WHO Joint Expert Committee on Food Additives：FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議
LD ₅₀	Lethal Dose 50：半数致死量
LSU(F)	ペプチドグリカン分解力単位
MIC	Minimum inhibitory concentration：最小発育阻止濃度
NOAEL	No-Observed- Adverse-Effect Level：無毒性量
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development：経済協力開発機構
PTWI	Provisional Tolerable Weekly Intake：暫定耐容週間摂取量
TOS	Total Organic Solids：総有機固形物

〈参照〉

- 1 DSM 株式会社：飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料．抄録（非公表）
- 2 DSM 株式会社：飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料．添付資料 6（非公表）
- 3 DSM 株式会社：飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料．添付資料 3（非公表）
- 4 DSM 株式会社：飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料．添付資料 2（非公表）
- 5 食品安全委員会．動物用医薬品評価書，塩化リゾチームを有効成分とするまだいの飼料添加剤(水産用ポトチーム)の再審査に係る食品健康影響評価について．2005．
- 6 DSM 株式会社：飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料．添付資料 5（非公表）
- 7 DSM 株式会社：飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料．添付資料 4（非公表）
- 8 EFSA Panel on Additives and Products or Substances used in Animal Feed (FEEDAP): Safety and efficacy of muramidase from *Trichoderma reesei* DSM 32338 as a feed additive for turkeys for fattening, turkeys reared for breeding, chickens reared for breeding and other poultry species reared for breeding. EFSA Journal. 2019; 17(5): 568.
- 9 EC: Evaluation report on the analytical methods submitted in connection with the application for authorization of a feed additive according to regulation (EC) No 1831/2003. Muramidase produced by *Trichoderma reesei* DSM 32338. 2018
- 10 食品安全委員会：遺伝子組換え食品等評価書案「JPTR003 株を利用して生産されたムラミダーゼ」（2021 年 4 月）
- 11 食品安全委員会 平成 24 年 4 月 5 日付け府食第 342 号
- 12 食品衛生法施行規則（昭和 23 年 07 月 13 日厚生省令第 23 号）
- 13 JECFA: Benzyl derivatives. Evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Technical Report Series 911, 2002
- 14 食品安全委員会：添加物評価書「ソルビン酸カルシウム」（平成 20 年 11 月）
- 15 JECFA (the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives): Sorbic acid and its calcium, potassium and sodium salts. WHO Food Additives Series 5, 1974
- 16 JECFA (the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives): Sodium Sulfate. Evaluation of certain food additives and contaminants. WHO Technical Report Series 909, 2002
- 17 JECFA(the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives): Evaluation of certain food additives and contaminants: WHO technical report series, 966, 2011
- 18 Umetsu H , Van Chuyen N. : Digestibility and peptide patterns of modified lysozyme after hydrolyzing by protease. J Nutr Sci Vitaminol. 1998; 44(2): 291-300.
- 19 Yuzuriha T, Katayama K, Tsutsumi J.: Studies on biotransformation of Lysozyme. IV Radioimmunoassay of Lysozyme and its evaluation. Chem.

- Pharm. Bull. 1978; 26(3): 908-14.
- 20 Hashida S , Ishikawa E, Nakamichi N, Sekino H.: Concentration of egg white lysozyme in the serum of healthy subjects after oral administration. Clin Exp Pharmacol Physiol. 2002; 29(1-2): 79-83. (abst)
 - 21 Yuzuriha T, Katayama K, Fujiita T. : Absorption route of ¹³¹I-labeled lysozyme in rats. Chem. Pharm. Bull. 1973; 21(12): 2807-9.
 - 22 Yuzuriha T, Katayama K, Tsutsumi J.: Studies on biotransformation of Lysozyme. I. Preparation of labeled Lysozyme and its intestinal absorption. Chem. Pharm. Bull. 1975; 23(6): 1309-14.
 - 23 友田 寛、田中友希夫、谷口 寿生、村上 正裕、岡田 直貴、藤田 卓也、村西 昌三、山本 昌.: リゾチームの消化管吸収性及びリンパ移行性に及ぼす脂肪酸修飾の影響に関する研究。薬剤学 2001; 61:129-143.(Full)
 - 24 Yokooji T , Hamura K, Matsuo H. Intestinal absorption of lysozyme, an egg-white allergen, in rats: kinetics and effect of NSAIDs. Biochemical Biophys Res. Commun. 2013; 438(1) 61-65. (abst)
 - 25 Yokooji T, Nouma H, Matsuo H.: Characterization of Ovalbumin Absorption Pathways in the Rat Intestine, Including the Effects of Aspirin. Biol. Pharm. Bull. 2014; 37(8):1359-65.
 - 26 Takano M , Koyama Y, Nishikawa H, Murakami T, Yumoto R. : Segment-selective absorption of lysozyme in the intestine. Eur J Pharmacol. 2004; 502(1-2):149-55. (abst)
 - 27 村地 孝 生物物理化学, [シンポジウム] 蛋白質分析と消化器, 4.小腸粘膜の 蛋白質吸収. 1975; 19 (4). 35-39.(Full)
 - 28 Basova NA, Mikelsone VIa, Tarvid IL, Kushak RI, Grigor'eva V.: Hydrolysis and absorption of lysozyme in the small intestine. Vopr Pitan. 1992; (1):56-60. (Russian) (abst)
 - 29 Seno S, Inoue S, Akita M, Setsu K, Tsugaru Y, Furuhata Y.: Intestinal absorption of Lysozyme molecules and their destination, an immunohistochemical study on rat. Act Histochem Cytochem. 1998; 31: 329-34.
 - 30 Yuzuriha T, Katayama K, Fujita T.: Studies on biotransformation of lysozyme. II. Tissue distribution of ¹³¹I-labelled lysozyme and degradation in kidney after intravenous injection in rats. Chem Pharm Bull. 1975; 23(6) 1315-22. (Full)
 - 31 Yuzuriha T, Katayama K, Ohtake S: Autoradiographic study on the distribution of ¹²⁵I-labeled Lysozyme after intravenous injection in rats. Chem Pharm. Bull. 1977; 25(4):836-8. (Full)
 - 32 Yuzuriha T, Katayama K, Fujita T.: Studies on biotransformation of lysozyme. III. Comparative studies on biotransformation of exogenous and endogenous lysozyme in rats. Biochim Biophys Acta. 1977;

- 490(1):235-246. (abst)
- 33 Hansen NE, Karle H, Andersen V. : Lysozyme turnover in the rat. J Clin Invest. 1971; 50: 1473-77.
 - 34 Hansen NE, Karle H, Andersen V, Qlgaard K. : Lysozyme turnover in man. J Clin Invest. 1972; 51: 1146-55.
 - 35 Ottosen PD, Bode F, Madsen KM, Maunsbach AB. : Renal handling of lysosome in the rat. Kidney International. 1979; 15:246-54.
 - 36 Christensen EL, Maunsbach A.: Intralysosomal digestion of lysozyme in renal proximal tubule cells. Kidney International. 1974; 6: 396-40.
 - 37 Nagai J, Katsube T, Murakami T, Takano M.: Effect of gentamicin on pharmacokinetics of lysozyme in rats: interaction between megalin substrates in the kidney. J Pharm Pharmacol. 2002; 54(11):1491-6. (abst)
 - 38 Maack T, Mackenzie DD, Kinter WB.: Intracellular pathways of renal reabsorption of lysozyme. Am J Physiol. 1971; 221(6): 1609-16.(Abst)
 - 39 Harrison JF, Barnes AD: The urinary excretion of lysozyme in dogs. Clin Sci. 1970; 38(4): 533-47.
 - 40 DSM 株式会社 : 飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 17 (非公表)
 - 41 Lichtenberg J, Perez Calvo E, Madsen K, Østergaard Lund T, Kramer Birkved F, van Cauwenberghe S, Mourier M, Wulf-Andersen L, Jansman AJM, Lopez-Ulibarri R.: Safety evaluation of a novel muramidase for feed application. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2017; 89: 57-69.
 - 42 DSM 株式会社 : 飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 18 (非公表)
 - 43 JECFA, WHO Food Additives Series 30, 749. Lysozyme. 1993.
 - 44 Cerven D, DeGeorge G, Bethell D: 28-Day repeated dose oral toxicity of recombinant human apo-lactoferrin or recombinant human lysozyme in rats. Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2008; 51: 162-7.
 - 45 DSM 株式会社 : 飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 16
 - 46 平成 30 年調査研究報告書. 既存添加物の安全性評価に関する調査研究. 国立医薬品食品衛生研究所 平成 31 年 3 月
 - 47 DSM 株式会社:飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 19 (非公表)
 - 48 DSM 株式会社:飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 11 (非公表)
 - 49 DSM 株式会社:飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 12 (非公表)
 - 50 DSM 株式会社:飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 13 (非公表)
 - 51 DSM 株式会社:飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 14 (非公表)
 - 52 DSM 株式会社:飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 15 (非公表)

- 53 Goodarzi Boroojeni F, Mˆanner K, Rieger J, P´erez Calvo E, Zentek J: Evaluation of a microbial muramidase supplementation on growth performance, apparent ileal digestibility, and intestinal histology of broiler chickens. Poultry Science 2019; 98: 2080-86.
- 54 DSM 株式会社 : 飼料添加物「ムラミダーゼ」審査用資料. 添付資料 20 (非公表)
- 55 JECFA (the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives): WHO Technical Report Series 828, EVALUATION OF CERTAIN FOOD ADDITIVES AND NATURALLY OCCURRING TOXICANTS. Lysozyme, 1992.