

第4章

豚用飼料に対するトウモロコシ発酵たん白質（CFP）の給与

初めに

CFP は、代謝エネルギー（ME）価と可消化アミノ酸およびリン（P）含量が多いことから、離乳豚用の飼料原料として魅力がある。エネルギーおよび栄養成分の密度が高いことは、配合割合が限られている飼料により低い配合割合で大量のエネルギーと栄養成分を供給することが可能となる。さらに、離乳豚用飼料では、エネルギーとアミノ酸含量を著しく濃く設計する必要がある。これは、ME 価と可消化アミノ酸含量が高い飼料原料を使用することによってのみ達成できる。また、CFP は発酵時に使用された酵母を含み、酵母細胞壁に存在するマンナンオリゴ糖、 β -グルカンおよびヌクレオチドを比較的多く添加した場合に健康上の利点が見られる可能性がある (Shurson, 2018) ことから、飼料摂取量が少なく比較的変動しやすい離乳豚において、ストレスが暴露されやすい時期に発育成績を許容範囲内に保つことが出来る可能性が高くなる。したがって、本章では、可消化エネルギー（DE）価、ME 価、アミノ酸の標準化された回腸消化率（SID）および P の標準化された総消化管消化率（STTD）、CFP 生産時に使用されるプロセスの種類および離乳豚を用いた飼育試験成績における発育成績等について概説する。

豚における CFP の栄養特性

CFP の生産には、3 種類のプロセス（ICM 社の Advanced Processing Package™（APP™）、FluidQuip 社の Maximized Stillage Co-Products Technology™（MSC™）および Marquis ProCap Technology™）が使われている。これらはいずれも、最終的にたん白質と酵母を併産物に濃縮しているが、それぞれの栄養特性は異なっている。このため、これらの併産物を豚用の飼料原料として用いる場合、製品に合致した ME 価、アミノ酸の SID 値および P の STTD 値を用いた飼料設計が必須となるが、幸いなことにこれらの CFP 製品では、それぞれについて豚における DE および ME 価ならびにアミノ酸の SID 値が測定されている。

栄養組成

各 CFP の粗たん白質（CP）、粗脂肪、粗繊維および粗灰分含量を表 1 に示した。各製品の CP 含量は近似しているが、粗脂肪（エーテル抽出物）および酸分解エーテル抽出物、中性デタージェント繊維（NDF）、総食物繊維（TDF）および粗灰分含量は製品間で大きく異なっている。DDGS と同様に、CFP のカルシウム（Ca）含量は低く、P 含量は 0.68~1.04% である。これらのことは、CFP は製品間で栄養特性が異なり、適切な栄養効率や発育成績を得るためには、エンドユーザーは飼料設計時に CFP の供給源を特定しておくことが不

可欠であることを示している。

分析値	ANDVantage 50Y ¹	A+Pro ²	NexPro ³	ProCap Gold ⁴
乾物 (DM)、%	93.76	91.73	93.00	88.00
粗たん白質 (CP)、%	51.79	50.20	50.1	49.09
リジン (Lys) : CP	3.46	3.96	3.95	3.93
粗脂肪、%	9.60*	4.62	-	-
AEE ⁵ 、%	9.90	-	5.6	9.49
中性デタージェント繊維 (NDF)、%	27.50*	24.33	-	-
酸性デタージェント繊維 (ADF)、%	20.00*	4.83	-	-
可溶性食物繊維、%	2.8	-	3.4	1.02
不溶性食物繊維、%	29.2	-	24.4	21.77
総食物繊維 (TDF)、%	32.0	-	27.8	22.79
粗灰分、%	1.44	5.49	7.9	7.38
カルシウム (Ca)、%	0.01*	0.04	-	0.04
リン (P)、%	0.68*	0.82	-	0.77

¹ Lee and Stein (2021) の未公表データ (The Andersons 社の許可を得て掲載)

² Yang ら (2021) の公表データ

³ Acosta ら (2021) の公表データ

⁴ Cristobal ら (2020) の公表データ

⁵ AEE = 酸分解エーテル抽出物

* 供給業者による成分表示表の値 (The Andersons 社の許可を得て掲載)

代謝エネルギー (ME) 価

CFP 各製品間で脂質、繊維および灰分の含量幅が大きく、DE および ME 価は、A+Pro では 3,837 および 3,643 kcal/kg、ProCap Gold では 4,560 および 4,306 kcal/kg である (表 2)。ただし、これらの ME 価は従来の DDGS の ME 価の 117~150% である。ME : 総エネルギー (GE) は、ProCap Gold を除き、各製品間で類似している。ProCap Gold における ME:GE は 0.84 であり、他の CFP 製品に比べて豚における GE 利用率が著しく高い。

分析値	ANDVantage 50Y ¹	A+Pro ²	NexPro ³	ProCap Gold ⁴
乾物 (DM)、%	93.76	91.73	93.00	88.00
総エネルギー (GE)、kcal/kg	5,284	4,908	4,937	5,100
可消化エネルギー (DE)、kcal/kg	4,421	3,837	4,070	4,560
代謝エネルギー (ME)、kcal/kg	4,085	3,643	3,705	4,306
ME : DE	0.92	0.95	0.91	0.94
DE : GE	0.84	0.78	0.82	0.89
ME : GE	0.77	0.74	0.75	0.84

¹ Lee and Stein (2021) の未公表データ (The Andersons, Inc. の許可を得て掲載)

² Yang ら (2021) の公表データ

³ Acosta ら (2021) の公表データ

⁴ Cristobal ら (2020) の公表データ

可消化アミノ酸

CFP 各製品のアミノ酸組成は様々だが、当然、CP 含量が高い製品ほどアミノ酸含量は高

い（表3）。Lys 含量に対する各アミノ酸の割合は、従来の DDGS に比べて改善されている（データは示していない）。これは、含まれている酵母の含量が多いため、酵母由来のアミノ酸の影響が大きいためである（Shurson、2018）。一般に、CFP の各アミノ酸の SID は従来の DDGS より高いが、製品間に差があることに注意する必要がある。例えば、Lys の SID には、61%（A+ Pro および NexPro）から 85%（ProCap Gold）の幅がある。繰り返しになるが、適切な栄養効率や発育成績を得るためには、飼料設計時に CFP の供給源を特定しておくことが不可欠である。

分析値	ANDVantage 50Y ¹	A+Pro ²	NexPro ³	ProCap Gold ⁴
乾物（DM）、%	93.76	91.73	93.00	88.00
粗たん白質（CP）、%	51.79 (80)	50.20 (70)	50.1 (75)	48.09 (84)
リジン（Lys）：CP	3.46	3.96	3.95	3.93
アルギニン（Arg）	2.37 (90)	2.36 (81)	2.31 (81)	2.47 (92)
ヒスチジン（His）	1.41 (84)	1.44 (77)	1.33 (80)	1.40 (88)
イソロイシン（Ile）	2.01 (81)	2.26 (74)	2.19 (75)	2.03 (87)
ロイシン（Leu）	6.44 (89)	6.30 (84)	5.68 (85)	5.57 (90)
リジン（Lys）	1.79 (72)	1.99 (61)	1.98 (61)	1.89 (85)
メチオニン（Met）	1.28 (89)	1.07 (81)	1.01 (84)	1.09 (89)
フェニルアラニン（Phe）	2.75 (86)	2.66 (81)	2.49 (81)	2.51 (89)
トレオニン（Thr）	2.00 (80)	2.01 (67)	2.00 (70)	1.89 (83)
トリプトファン（Trp）	0.58 (83)	0.37 (75)	0.42 (81)	0.49 (90)
バリン（Val）	2.54 (82)	2.94 (74)	2.83 (74)	2.84 (85)
アラニン（Ala）	3.82 (86)	3.75 (78)	3.47 (79)	3.41 (86)
アスパラギン酸（Asp）	3.49 (78)	3.57 (67)	3.55 (69)	3.38 (82)
シスチン（Cys）	1.12 (81)	0.98 (70)	0.87 (73)	1.00 (84)
グルタミン酸（Glu）	8.87 (87)	8.15 (82)	7.39 (83)	7.52 (89)
グリシン（Gly）	1.96 (81)	2.00 (56)	2.01 (65)	2.06 (76)
プロリン（Pro）	4.17 (100)	-	3.50	3.52 (73)
セリン（Ser）	2.39 (86)	2.27 (77)	2.17 (77)	2.20 (86)
チロシン（Tyr）	2.32 (90)	2.04 (83)	1.98 (82)	1.90 (90)

¹（ ）内は各アミノ酸の豚における SID 値

² Lee and Stein (2021) の未公表データ（The Andersons, Inc. の許可を得て掲載）

³ Yang ら (2021) の公表データ

⁴ Acosta ら (2021) の公表データ

⁵ Cristobal ら (2020) の公表データ

可消化 P

CFP は豚用飼料にかなりの量の可消化 P を提供することが可能であり、P の STTD 値に基づいた豚用飼料の設計を行うことが出来る。トウモロコシ併産物の全 P 含量は比較的高く、消化率も高いため、豚の P 要求量を充足させるために必要なリン酸-カルシウムなどの無機 P の使用量を減らすことができ、同時に糞尿中への P 排泄量と飼料費の削減が可能である。ただし、CFP 中の P の STTD 値のデータが報告されているのは 1 文献のみである。Cristobal ら (2020) は、低脂肪 DDGS および CFP（ProCap Gold）中の P の STTD 値と Ca の見かけの全消化管消化率（ATTD）の比較を行っている。CFP 中の P の STTD 値は、

従来の DDGS に比べて低かったが、トウモロコシよりも大幅に高かった（表 4）。この結果は、発酵および加工後にも、多少のフィチン態 P が残っており、フィターゼの添加は豚が利用可能な P の加水分解に有効であることを示している。同様に、CFP 中の Ca の ATTD 値は従来の DDGS よりも低かったが、低脂肪 DDGS および CFP の全 Ca 含量は非常に少ないことからそれほど重要ではない。他の CFP 製品の P 消化率は測定されていないが、P の STTD 値は ProCap Gold で得られたデータとほぼ同程度であると推定される。ただし、いくつかのエタノール工場では発酵工程中でフィターゼが添加されており、難消化性のフィチン態 P を可消化 P に変換が進んでいることに注意する必要がある（Reis ら、2018）。したがって、飼料設計時には使用する CFP の供給源を知り、P 消化率に影響を与える生産工程におけるフィターゼ使用に有無を把握しておくことが重要である。

測定値	低脂肪 DDGS	CFP
カルシウム (Ca)、%	0.04	0.04
リン (P)、%	1.01	0.77
Ca のみかけの全消化管消化率 (ATTD)、%	83	66
P の標準化された全消化管消化率 (STTD)、%	81	56

離乳豚子豚に対する CFP 給与試験の概要

CFP の配合に最も適している飼料は、離乳豚におけるフェーズ 1 およびフェーズ 2 用の飼料である。これは、トウモロコシと比べて ME 価 および可消化アミノ酸含量が高いためであり、これらの飼料では、一般的に噴霧乾燥血漿 (SDAP) などの消化率が高い動物由来たん白源や、酵素処理大豆粕などの植物性たん白源が利用されているが、これらは高価格であるためである。大豆粕は抗原物質を含んでいるためフェーズ 1 用飼料を設計するには配合量を出来るだけ抑えたいと考えられている。したがって、離乳直後の子豚用飼料で、大豆粕、酵素処理大豆粕および SDAP を置き換えるための安価で消化率が高いエネルギーおよびたん白質源に大きな関心が寄せられている。

最初の報告は Martindale ら (2018) によるものである。フェーズ 1 (離乳後 0~14 日) およびフェーズ 2 (離乳後 14~28 日) 用飼料では CFP (NexPro) を 0、8、16 および 24% 配合し、フェーズ 3 (離乳後 28~35 日) では一般的なトウモロコシ・大豆粕飼料を用いて、21 日齢で離乳した子豚の発育成績を調査した。フェーズ 1 では、平均日増体量 (ADG)、平均飼料摂取日量 (ADFI) および飼料効率には差がみられなかったが、フェーズ 2 において CFP を 24% 配合すると、CFP を含まない対照飼料に対して ADG および ADFI が低下した。フェーズ 3 および全試験期間 (35 日間) の発育成績には各飼料に差はなかった。この試験における反復 (ペン) 数は 4 で、ペン毎の収容頭数は 5 頭であって、商業生産レベルではないことから、CFP の配合による有意な影響を判断する統計的な検出力にはやや疑問が

残るが、フェーズ1および2の離乳子豚用飼料にCFPを最大16%まで配合しても、発育成績には悪影響を及ぼさないと結論付けられている。

Acostaら(2021)は、離乳後のフェーズ1および2においてCFPを様々な水準でSDAPおよび酵素処理大豆粕(ES)と部分的に置き換えた場合の発育成績と糞便スコアを評価している(表5)。離乳後7日間、ESを5%とSDAPを2.5%含む対照飼料を給与した場合に、CFPを5%とESを4.5%配合した場合およびCFPを10%配合した場合よりADGおよび飼料効率が優れたが、ADFIには飼料間で有意差はなかった。離乳後8日目から21日までのフェーズ2ではCFPの配合割合によるADG、ADFIおよび飼料効率への影響はなかった。すべてに一般的なトウモロコシ・大豆粕飼料を給与したフェーズ3(離乳後22~35日)では発育成績には差がみられなかった。これらの結果は、離乳子豚のフェーズ1用飼料にCFPを5%配合した場合、SDAPが2.5%配合されていれば許容範囲内の発育成績は得られるが、ESを4.5%配合されていても許容範囲の発育成績は得られないことを示している。SDAPあるいはESを配合せずに最適な発育成績を得るためのCFP配合量は10%ではやや過剰であると思われる。しかし、フェーズ2においてはCFPを10%配合しても、ESを7.5%含む飼料と同等の許容可能な発育成績が得られた。

これらの結果は、CFP(NexPro)が、離乳子豚用飼料で使用される他の飼料原料に応じて、フェーズ1およびフェーズ2用飼料に最大16%までで配合可能なことを示している。CFPではロイシン(Leu)含量が高く、バリン(Val)およびイソロイシン(Ile)の利用と代謝能に悪影響を及ぼすことが、多くの研究者の間で栄養上の課題として認識されている(Harrisら、2004; Geminら、2019; Kwonら、2019; Yangら、2019)。さらに、過剰なLeuは血液を介して脳へのトリプトファン(Trp)輸送と競合してセロトニン合成量を低下させ、その結果としてADFIが減少する(Kwonら、2019; Yangら、2019)。また、CFPに含まれている食物繊維含量が高いと、小腸でのムチン産生とスレオニン(Thr)損失が高まる可能性が高く、豚のThr要求量が高める可能性がある(Mathaiら、2016)ため、CFPを給与した離乳子豚において最適な発育成績を得るためには合成Thr、Trp、ValおよびIleの添加が必要である。

表5. 離乳後のフェーズ1および2において様々な量の動物血漿たん白質(PP)、酵素処理大豆粕(ES)、およびCFP(NexPro)を含む飼料を給与した場合の離乳子豚の発育成績 (Acostaら、2021から引用)

測定値	対照-No CFP	低CFP	中CFP+ES	高CFP
開始時体重、kg	5.86	6.03	6.02	6.02
終了時体重、kg	18.53	18.58	18.51	18.20
フェーズ1(0~7日)	5% ES + 2.5% PP	2.5% PP + 5% CFP	4.5% ES + 5% CFP	10% CFP
ADG、kg	0.134 ^a	0.106 ^{ab}	0.088 ^{bc}	0.074 ^c
ADFI、kg	0.162	0.146	0.147	0.136
飼料効率	0.836 ^a	0.731 ^{ab}	0.604 ^{bc}	0.538 ^c

フェーズ2 (8~21日)	7.5% ES	5 ES + 2.5% CFP	1% ES + 7.5% CFP	10% CFP
ADG, kg	0.285	0.292	0.227	0.267
ADFI, kg	0.433	0.430	0.418	0.404
飼料効率	0.662	0.681	0.663	0.661
フェーズ3 (22~35日)	一般的なトウモロコシ・大豆粕飼料			
ADG, kg	0.554	0.552	0.572	0.566
ADFI, kg	0.837	0.848	0.851	0.859
飼料効率	0.663	0.653	0.672	0.662
全期間 (0~35日)				
ADG, kg	0.362	0.359	0.357	0.348
ADFI, kg	0.541	0.540	0.537	0.533
飼料効率	0.673	0.666	0.666	0.656

^{abc} 異付合間に有意差あり (p<0.05)

育成～肥育豚に対する CFP 給与試験の概要

サウスダコタ州立大学の Clizer らによる未公表データ (POET 社の許可を得て掲載) によると、低濃度 (10~15%) の CFP (NexPro) を配合した飼料について育成豚 (59.5 kg) における Ile : Lys および Val : Lys 比の影響を評価している。このデータでは、CFP 配合で引き起こされる過剰な Leu による悪影響を防ぐために、大豆粕または結晶性アミノ酸を使用した SID Val および Ile 量の補正が必要であることが示されている。CFP を 10~15% 配合した飼料を給与した豚の発育成績は、対照としたトウモロコシ・大豆粕飼料と同等であったが、より多量の Val および Ile を補給するために CFP 配合飼料に大豆粕を配合することで全般的に対照飼料と同様の発育成績が得られた。したがって、育成豚用飼料に CFP を 10% あるいは 15% 配合しても、結晶アミノ酸の代わりに大豆粕を使用して SID Val および Ile 含量を高めるで、Leu 過剰による発育成績と枝肉組成への悪影響を最小限に抑えることが出来る。

結論

CFP は、高エネルギーで消化可能なアミノ酸と P を多く含んでおり、離乳子豚のフェーズ 1 および 2 において最適な飼料原料である。供給源により栄養特性が異なるために、最適な栄養効率および発育成績を得るためには、配合設計時に供給源を知ることが不可欠である。育成飼料に CFP を配合する場合、Lys 含量に対する Thr、Trp、Val および Ile 含量比を計算し、結晶性アミノ酸を補給して発育成績を最適化する必要がある。

引用文献

Acosta, J.P., C.D. Espinosa, N.W. Jaworski, and H.H. Stein. 2021. Corn protein has greater concentrations of digestible amino acids and energy than low-oil corn distillers dried grains with solubles when fed to pigs but does not

affect the growth performance of weanling pigs. *J. Anim. Sci.* 99:1–12.
doi:10.1093/jas/skab175

Chapter 1. Nutritional Characteristics of Corn Fermented Protein Co-Products 7

Cemin, H.S., M.D. Tokach, J.C. Woodworth, S.S. Dritz, J.M. DeRouchey, and R.D. Goodband. 2019. Branched-chain amino acid interactions in growing pig diets. *Transl. Anim. Sci.* 3:1246–1253. doi:10.1093/tas/txz087

Cristobal, M., J.P. Acosta, S.A. Lee, and H.H. Stein. 2020. A new source of high-protein distillers dried grains with solubles (DDGS) has greater digestibility of amino acids and energy, but less digestibility of phosphorus, than de-oiled DDGS when fed to growing pigs. *J. Anim. Sci.* 98:1–9. doi:10.1093/jas/skaa200

Harris, R.A., M. Joshi, and N.H. Jeung. 2004. Mechanisms responsible for regulation of branched-chain amino acid catabolism. *Biochem. Res. Commun.* 313:391–396. doi:10.1016/j.bbrc.2003.11.007

Kwon, W.B., K. Touchette, A. Simongiovanni, K. Syriopoulos, A. Wessels, and H.H. Stein. 2019. Excess dietary leucine in diets for growing pigs reduces growth performance, biological value of protein, protein retention, and serotonin synthesis. *J. Anim. Sci.* 97:4282–4292. doi:10.1093/jas/skz259

Martindale, A., M. Trenhaile-Grannemann, S. Barnett, P. Miller, and T. Burkey. 2018. Growth performance of weaned pigs fed a high-protein corn co-product. *J. Anim. Sci.* 96 (Suppl. S3) :295.

Mathai, J.K., J.K. Htoo, J.E. Thomson, K.J. Touchette, and H.H. Stein. 2016. Effects of dietary fiber on the ideal standardized ileal digestible threonine:lysine ratio for twenty-five to fifty kilogram growing pigs. *J. Anim. Sci.* 94:4217–4230. doi:10.2527/jas.2016-0680

NRC. 2012. *Nutrient Requirements of Swine*, 11th rev. Natl. Acad. Press, Washington, D.C.

Reis, C.E.R., Q. He, P.E. Urriola, G.C. Shurson, and B. Hu. 2018. Effects of modified processes in dry-grind ethanol production on phosphorus distribution in coproducts. *Ind. Eng. Chem. Res.* 57:14861–14869. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.8b02700>

Shurson, G.C. 2018. Yeast and yeast derivatives in feed additives and ingredients: Sources, characteristics, animal responses, and quantification methods. *Anim. Feed Sci. Technol.* 235:60–76.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.11.010>

Yang, Z., A. Palowski, J.-C. Jang, P.E. Urriola, and G.C. Shurson. 2021. Determination, comparison, and prediction of digestible energy, metabolizable energy, and standardized ileal digestibility of amino acids in novel maize co-products and conventional dried distillers grains with solubles for swine. *Anim. Feed Sci. Technol.* 282:115149. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115149>

Yang, Z., P.E. Urriola, A.M. Hilbrands, L.J. Johnston, and G.C. Shurson. 2019. Growth performance of nursery pigs fed diets containing increasing levels of a novel high-protein corn distillers dried grains with solubles. *Transl. Anim. Sci.* 3:350-358. Doi:10.5713/ajas.2010.90513