

مجله ایمنی زیستی

دوره ۱۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴

شاپای چاپی: ۰۶۳۲ - ۲۷۱۷، شاپای الکترونیکی: ۹۸۰۴ - ۲۷۱۶

بررسی سیگنال پپتیدهای پری پلاسمیک جهت بیان پتید

تاناتین در *Escherichia coli*

نوع مقاله: پژوهشی

عباس تنهاییان^۱، لیلی سیمایی سلطانی^۲، سیده زهرا موسوی^{۲*}

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

۲. گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

zaramousavi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۵

صفحه ۷۳-۸۴

چکیده

بیان پری پلاسمیک پپتیدهای ضد میکروبی یکی از گزینه‌های مهم در سیستم‌های بیان پروتئین‌ها است. در مطالعه‌ی حاضر به منظور پیش‌بینی بهترین سیگنال پپتید برای بیان تاناتین در میزبان *Escherichia coli* از روش‌های بیوانفورماتیک استفاده شد. به طوری که توالی ۲۹ سیگنال پپتید از پایگاه‌های اطلاعاتی سیگنال پپتید تهیه شد. از آنجایی که هدف از این مطالعه معرفی سیگنال پپتیدهای بهینه برای بیان پری پلاسمیک بود، بررسی محیطی که پروتئین در آن فعالیت می‌کند، جایگاه برشی، حلالیت، احتمال سیگنال پپتید ترش‌چی و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی به ترتیب از طریق نرم افزارهایی همچون Psort، Signalp6، Protein-sol، PRED-TAT و Portparam مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله‌ی اول از ۲۹ سیگنال پپتید، ۲۶ مورد از فیلتر Signalp6 و از Psort تنها ۲ مورد عبور کردند. بررسی حلالیت و ترش‌چی بودن سیگنال پپتیدها نشان داد که تنها سیگنال پپتیدهای zraP و MalE مناسب بودند. در نهایت بررسی خواص فیزیکی شیمیایی نشان دادند که از بین ۲ پپتید مورد نظر MalE ویژگی‌های مطلوب‌تری را نشان داد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که MalE به عنوان بهترین سیگنال پپتید برای بیان تاناتین می‌باشد. از نتایج به دست آمده می‌توان برای طراحی سازه‌های بیان پری پلاسمیک تاناتین در میزبان *Escherichia coli* استفاده کرد. هر چند بررسی‌های آزمایشگاهی جهت تایید نهایی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پپتید ترش‌چی، پروتئین، بیوانفورماتیک

مقدمه

مقاومت روزافزون باکتری‌ها به آنتی‌بیوتیک‌های رایج، لزوم معرفی داروهای جدید برای مبارزه با عفونت‌ها را ضروری کرده است. با این حال، بررسی دسته‌های جدید آنتی‌بیوتیکی با مکانیسم‌های عمل متفاوت برای مهار رشد و عفونت باکتریایی از اهمیت بالایی برخوردار است (Mancuso *et al.*, 2021). در میان طیف گسترده‌ای از ترکیبات ضد میکروبی، پروتئین‌ها و پپتیدهای ضد میکروبی جایگاه مهمی دارند. بنابراین، بررسی و ارزیابی آن‌ها امری ضروری و بسیار مؤثر است (Mba *et al.*, 2022).

در طول چند دهه گذشته، استفاده از آنتی‌بیوتیک‌ها در بخش دام و طیور برای پیشگیری و درمان بیماری‌ها و همچنین تقویت رشد مورد توجه قرار گرفته است. فدراسیون بهداشت دام اتحادیه اروپا اعلام کرد که بخش قابل توجهی از تمام آنتی‌بیوتیک‌های تجویز شده در اتحادیه اروپا به حیوانات مزرعه داده می‌شود. در حالی که آنتی‌بیوتیک‌ها مزایایی از نظر سلامت و عملکرد حیوانات دارند، استفاده مداوم آن‌ها منجر به بروز مشکلات متعدد در مورد سلامت حیوانات و انسان می‌شود (Pokharel *et al.*, 2020). در میان این چالش‌ها، انتقال میکروارگانیسم‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک جایگاه ویژه‌ای دارد. این موضوع، جدا از زبان اقتصادی، پیچیدگی‌هایی را در حوزه درمان پزشکی ایجاد کرده است. علاوه بر این، می‌تواند به عنوان مخزنی برای ژن‌های مقاومت عمل کند و در درازمدت خطراتی برای سلامت انسان ایجاد کند (Jeihooni Nezhad and Karimi, 2023). در سال‌های اخیر، با افزایش مقاومت در برابر عوامل ضد میکروبی معمولی، محققان متعددی تحقیقاتی را برای ایجاد آنتی‌بیوتیک‌های جدید به منظور مدیریت و کاهش اثرات مضر عوامل بیماری‌زا عفونی آغاز کرده‌اند (Murray *et al.*, 2022).

پپتیدهای ضد میکروبی (AMPs) دسته نسبتاً جدیدی از آنتی‌بیوتیک‌های با منشأ طبیعی هستند. این پپتیدها جزء جدایی ناپذیر سیستم ایمنی موجودات زنده هستند و نقش مهمی در تعاملات میکروبی ایفا می‌کنند و با از بین بردن میکروارگانیسم‌های مهاجم، ایمنی ذاتی موجودات را تقویت می‌کنند. علاوه بر این، AMPs توانایی تحریک سلول‌ها برای تولید کموکین‌ها، تحریک رگ‌زایی، تسریع بهبود زخم و تأثیر بر مرگ برنامه‌ریزی شده سلول در موجودات چند سلولی را دارند (Zhang *et al.*, 2021). در طول ده سال گذشته، پپتیدها به عنوان درمان امیدوارکننده برای مبارزه با طیف وسیعی از بیماری‌ها مانند سرطان، دیابت، بیماری‌های قلبی عروقی و بیماری‌های عفونی استفاده شده‌اند (Wang *et al.*, 2022).

اکثر پپتیدهای ضد میکروبی بار مثبت دارند و معمولاً از ۱۲ تا ۵۰ اسید آمینه تشکیل شده‌اند که بار مثبت آن‌ها عمدتاً به دلیل وجود اسیدهای آمینه بازی مانند لیزین و آرژینین است (Clark *et al.*, 2021). تاناتین یک پپتید کاتیونی از خانواده مارپیچ بتا است که با بار مثبت، خاصیت غیر همولیتیک و خواص آمفی پاتیک مشخص می‌شود. این پپتید در ابتدا از حشره *Podisus maculiventris* پس از فعال شدن سیستم ایمنی جدا شد. این پپتید جزء اصلی مکانیسم‌های دفاعی اولیه حشره است و اثربخشی وسیعی در برابر انواع عوامل بیماری‌زا، از جمله باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی و همچنین قارچ‌ها نشان داده است (Tanhaeian *et al.*, 2020).

امروزه، استفاده از تکنیک‌های مهندسی ژنتیک برای سنتز پپتیدهای ضد میکروبی رواج پیدا کرده است. رویکرد خاصی که شامل استفاده از سیستم بیان در *Escherichia coli* برای تولید تاناتین است، ایجاد شده است. برای تولید پپتیدهای ضد میکروبی از طریق روش‌های مهندسی ژنتیک،

"تنهائیان و همکاران، بررسی سیگنال پپتیدهای پری پلاسمیک جهت بیان پپتید تاناتین در *Escherichia coli*"

مجموع، این سرور مبتنی بر وب وجود سیگنال پپتید را پیش بینی می کند و محل برش آن ها را در باکتری های گرم مثبت، باکتری های گرم منفی، آرکی ها، و یوکاریوت ها مشخص می کند.

Psort

از آنجایی که هدف از این تحقیق شناسایی سیگنال پپتیدهای مناسب برای بیان تاناتین در پری پلاسم بود، مرحله بعدی شامل بررسی محل فعال پروتئین است. الگوریتم های متعددی برای پیش بینی محل های فعال پروتئین ها طراحی شده است، از جمله ابزارهایی مانند سرورهای PSORT, CELLO, Gneg-PLoc و ProtComp (Yu et al., 2012). از PSORT با دقت قابل قبولی استفاده شد. بنابراین، از این سرور در تحقیق فعلی استفاده شد. در مورد پروتئین های موجود در سیستم باکتریایی گرم مثبت، سه مسیر اصلی مشخص شده است که شامل محفظه های سیتوپلاسمی، غشایی و خارج سلولی می باشد. در مقابل، برای پروتئین های موجود در باکتری های گرم منفی، پنج ناحیه مجزا وجود دارد که شامل محفظه های سیتوپلاسمی، غشایی (خارجی و داخلی)، پری پلاسمی و خارج سلولی (ترشح شده) می باشد. بنابراین، از این سرور در تحقیق فعلی استفاده شد. در مورد پروتئین های موجود در سیستم باکتریایی گرم مثبت، سه مسیر اصلی محلی سازی مشخص شده است، از جمله محفظه های سیتوپلاسمی، غشایی و خارج سلولی. در مقابل، برای پروتئین های موجود در باکتری های گرم منفی، پنج ناحیه مجزا وجود دارد، از جمله محفظه های سیتوپلاسمی، غشایی (هم خارجی و هم داخلی)، پری پلاسمی و خارج سلولی (ترشح شده).

تعیین سیگنال پپتید مناسب برای بیان پری پلاسمی پپتیدها بسیار مهم است. بنابراین، هدف اصلی تحقیق، گسترش کاربرد روش های بیوانفورماتیک در شناسایی این سیگنال پپتیدها است.

مواد و روش ها

دریافت توالی تاناتین از پایگاه داده ضد میکروبی

در این پژوهش، توالی اسیدآمینه ای تاناتین از مطالعه ی (Javadmanesh et al., 2020) تهیه شد.

جمع آوری سیگنال پپتیدها

برای بدست آوردن توالی های سیگنال پپتید، از پایگاه داده سیگنال پپتید (<http://www.signalpeptide.de/>) استفاده شد. لازم به ذکر است که شاخص های انتخاب شده از پایگاه داده، که برای اعتبارسنجی سیگنال پپتید برای بیان در *E. coli* استفاده می شد، از بررسی های تجربی به دست آمد. به عبارت ساده تر، انتخاب سیگنال پپتید بر اساس منبع آن ها (تأیید شده برای *E. coli*) و همچنین سایر پپتیدها تحت شرایط درون تراشه ای انجام شد. برای دستیابی به این هدف، یک بررسی کامل از ۱۳۲ توالی پپتید سیگنال، با تمرکز بر ارزیابی ویژگی های مولکولی و فیزیکوشیمیایی آن ها از طریق استفاده از ابزارهای آنلاین بهینه سازی شده انجام شد.

پیش بینی سیگنال پپتید مناسب

SignalP6

در ابتدا، از سرور SignalP6 برای تجزیه و تحلیل ۱۳۲ سیگنال پپتید انتخاب شده که برای بیان در *Escherichia coli* در نظر گرفته شده بودند، استفاده شد. هدف از این تجزیه و تحلیل تعیین نواحی برشی h n و c برای سیگنال پپتید بود. در

میانگین مقدار آب دوستی (GRAVY) سیگنال پپتیدها استفاده شد (Ali et al., 2018).

نتایج و بحث

همانطور که نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است، از ۲۹ سیگنال پپتید مورد استفاده در سرور SignalP6، ۲۶ سیگنال پپتید با احتمال بالای ۹۰ درصد در ناحیه ی مطلوب برش داده شدند و وارد مرحله ی بعدی شدند. مطالعه‌ای در ارتباط با بررسی بهترین سیگنال پپتید جهت بیان پپتید ضد میکروبی بوفورین I در باکتری *E. coli* انجام شد. این محققین در بررسی با سرور SignalP4 نشان دادند که از سیگنال پپتیدهای مورد انتخاب فقط با torA با $\text{D-score} = 0.177$ امتیاز مورد قبول را کسب نکرد و بقیه موارد مورد بررسی در این مرحله به عنوان سیگنال پپتید در نظر گرفته شدند (zraP و ptrA ، MalE). همچنین، این محققین اظهار داشتند که همه سیگنال پپتیدها دارای مناطق h.n و c واضح بودند به جز torA و با توجه به محل برش پیش‌بینی شده توالی ycdO ، ptrA ، rbsB و efeO در ناحیه نامطلوب بودند (Roshanak et al., 2020). موافق با نتایج مطالعه‌ی حاضر MalE ، ptrA و zraP امتیاز مورد نیاز از این سرور را برای مرحله‌ی بعدی کسب کردند.

Protein-sol

در مرحله بعد، حلالیت سیگنال پپتیدها با استفاده از نرم افزار آنلاین Protein-sol مورد ارزیابی قرار گرفت (<http://protein-sol.manchester.ac.uk>).

Protein-sol یک سرور تحت وب با دسترسی آزاد است که حلالیت پیش بینی شده را در مقیاسی از ۰ تا ۱ ارائه می دهد و تفسیر نتایج را ساده می کند (Hebditch et al., 2017). در مرحله بعد، پروتئین‌های ناپایدار و نامحلول حذف شدند.

PRED-TAT

در مرحله بعد، از سرور ([http://www.compgen.org/tools/PRED-TAT/submit](http://www.compgen.org/tools/PRED-TAT/)) برای طبقه بندی پپتیدهای سیگنال بر اساس ویژگی های ترشح آن ها استفاده شد.

Portparam

از (<https://web.expasy.org/cgi-bin/protparam/protparam>) برای پیش‌بینی خواص فیزیکی و شیمیایی مرتبط با ترکیب اسید آمینه، وزن مولکولی، نقطه ایزوالکتریک (PI)، شاخص ناپایداری، شاخص آلیفاتیک، اسیدهای آمینه باردار مثبت و منفی و

جدول ۱. بررسی سیگنال پپتید با استفاده از سرور SignalP6

Number	Protein name	Signal peptide	source	sequence	Cleavage site between pos	probability
1	Protein sufl	sufl	<i>E. coli</i>	MSLSRRQFIQASGIALCAG AVPLKASA	54 and 55	0.809059
2	Zinc resistance-associated protein	zraP	<i>E. coli</i>	MKRNTKIALVMMALSAM AMGSTSFA	26 and 27	0.969466
3	Protease 3	ptrA	<i>E. coli</i>	MPRSTWFKALLLVALW APLSQA	23 and 24	0.977334
4	Maltose-binding periplasmic protein	malE	<i>E. coli</i>	MKIKTGARILALSALTTM MFSASALA	26 and 27	0.968867
5	Heat-labile enterotoxin B chain	EltB	<i>E. coli</i>	MNKVKFYVLFALLSPLC AHG	21 and 22	0.686577
6	Maltoporin	LamB	<i>E. coli</i>	MMITLRKLPLAVAVAAG VMSAQAMA	25 and 26	0.938707

"تنهاییان و همکاران، بررسی سیگنال پپتیدهای پری پلاسمیک جهت بیان پپتید تاناتین در *Escherichia coli*"

7	Protein prsK	prsK	<i>E. coli</i>	MIKSTGALLLFAALSAGQ AMA	21 and 22	0.964913
8	Taurine-binding periplasmic protein	tauA	<i>E. coli</i>	MAISSRNTLLAALAFIAFQ AQA	22 and 23	0.975807
9	Maltoporin	LamB	<i>E. coli</i>	MMITLRKLPLAVAVAAG VMSAQAMA	25 and 26	0.938707
10	Flagellar P-ring protein	flgI	<i>E. coli</i>	MVIKFLSALILLVTTAAQ A	20 and 21	0.971069
11	Iron(III) dicitrate-binding periplasmic protein	fecB	<i>E. coli</i>	MLAFIRFLFAGLLLVISHA FA	21 and 22	0.973554
12	Periplasmic protein torT	torT	<i>E. coli</i>	MRVLLFLLLSLFMLPAFS	18 and 19	0.972544
13	Uncharacterized protein yncJ	yncJ	<i>E. coli</i>	MFTKALSVVLLTCALFSG QLMA	22 and 23	0.971087
14	Periplasmic appA protein	appA	<i>E. coli</i>	MKAILIPFLSLLIPLTPQSA FA	22 and 23	0.968169
15	Cytochrome c-type biogenesis protein	cemH	<i>E. coli</i>	MRFLLGVLMLMISGSALA	18 and 19	0.972203
16	Outer membrane protein assembly factor yaeT	YAE T	<i>E. coli</i>	<u>MAMKLLIASLLFSSATV</u> <u>YG</u>	20 and 21	0.972526
17	Outer membrane protein N	OMP N	<i>E. coli</i>	<u>MKSKVLALLIPALLAAGA</u> <u>AHA</u>	21 and 22	0.969340
18	Outer membrane protein X	OMP X	<i>E. coli</i>	<u>MKKIACLSALAAVLAFTA</u> <u>GTSVA</u>	23 and 24	0.973324
19	Outer membrane protease ompP	OMP P	<i>E. coli</i>	<u>MQTKLLAIMLAAPVV FSS</u> <u>QEASA</u>	23 and 24	0.969444
20	Outer-membrane lipoprotein carrier protein	LOLA	<i>E. coli</i>	MKKIAITCALLSSLVASSV WA	23 and 24	0.969444
21	Glucose-1-phosphatase	Agp	<i>E. coli</i>	MNKTLIAAAVAGIVLLAS NAQA	22 and 23	0.975870
22	Endonuclease-1	EndA	<i>E. coli</i>	MYRYSIAAVVLSAAFSG PALA	22 and 23	0.969725
23	Cyclic di-GMP-binding protein	BcsB	<i>E. coli</i>	MKRKLFWICAVAMGMSA FPSFMTQA	25 and 26	0.896832
24	Sigma-E factor regulatory protein RseB	RseB	<i>E. coli</i>	MKQLWFAMSLVTGSLLF SANASA	23 and 24	0.951564
25	Protein GltF	GltF	<i>E. coli</i>	MFFKKNLTAAICAALSV AAFSAMA	25 and 26	0.970569
26	Threonine-rich inner membrane protein GfcA	GfcA	<i>E. coli</i>	MKHKLSAILMAFMLTTPA AFA		
27	Glucose-1-phosphatase	Agp	<i>E. coli</i>	MNKTLIAAAVAGIVLLAS NAQA	22 and 23	0.975870
28	Uncharacterized protein YpeC	YpeC	<i>E. coli</i>	MFRSLFLAAALMAFTPLA ANA	21 and 22	0.972541
29	Uncharacterized fimbrial-like protein YraK	YraK	<i>E. coli</i>	MKRAPLITGLLLISTSCAY A	16 and 17	0.937013

موراد هایلیت قرمز، امتیاز مورد نیاز در این سرور را کسب نکردند و در ادامه حذف شدند.

پیدا کرد. چرا که تجمع پروتئین‌های نامحلول بیان شده و فولدینگ نادرست می‌توانند منجر به

با گسترش تکنولوژی و ایجاد تکنیک‌های دی‌ان‌ای نوترکیب، حلالیت پروتئین‌های هترولوگ اهمیت

سال ۲۰۱۰ انجام شد، PSORTb v3.0.2 دقیق ترین ابزار پیش بینی محل فعالیت پروتئین در باکتری بوده است. PSORTb نسخه ۳.۰.۲ نسبت به PSORTb نسخه ۲.۰.۴ پیشرفت های زیادی داشته است. PSORTb v3.0.3 که در فوریه ۲۰۲۰ منتشر شد، آخرین نسخه این نرم افزار است و باگ موجود در نسخه ۳.۰.۲ را ندارد و در مطالعه ی حاضر نیز از این سرور استفاده شد. همانطور که در جدول ۲ مشاهده شده است از ۲۶ سیگنال پپتید وارد شده به سرور PSORTb، تنها ۲ مورد آن (malE و zraP) دارای ویژگی مطلوب جهت بیان در ناحیه پری پلاسمی بودند. در مطالعه ای که توسط (Roshanak *et al.*, 2020) انجام گرفت، سیگنال پپتیدهای MdoD, YcdO, torA, MalE, ptrA, ugpB, zraP, sfmC, rbsB, papK, hofQ, efeO, pbpG در ناحیه ی پری پلاسمی واقع شدند که zraP و MalE با مطالعه ی حاضر نتایج مشابهی را نشان داد.

تشکیل اجسام انکلوژن شوند و از طرفی بازده پروتئین های به درستی فولد شده را نیز کاهش می دهند (Khatami *et al.*, 2020). جهت حل این مسئله، بیان پروتئین های هترولوگ در فضای پری پلاسمی *E. coli* پیشنهاد می شود. انتقال پروتئین به فضای پری پلاسمی منجر به سهولت خالص سازی می شود چرا که در این فضا پروتئین کمتری وجود دارد. دیگر مزایا استفاده از سیستم بیانی پری پلاسمی شامل جلوگیری از حمله پروتئاز و گسترش N-Terminal Met و همچنین داشتن پروتئین فولد شده مناسب تر است (Khatami *et al.*, 2020).

نتایج شناسایی جایگاه Subcellular سیگنال پپتیدها در جدول ۲ ارائه شده است. در میان چندین الگوریتمی که برای پیش بینی جایگاه Subcellular پروتئین ها وجود دارند مانند سرورهای PSORTb, CELLO, Gneg-PLoc و ProtComp (Yu *et al.*, 2012)، گزارش شده است که سرور PSORTb بالاترین دقت را داشته است. به طوریکه، براساس مطالعه ای که آخرین بار در

جدول ۲. بررسی سیگنال پپتید با استفاده از سرور Psort

No	Protein name	Signal peptide	Accession number	source	Amino acid sequence	Cytoplasmic Membrane	Outer Membrane	Extracellular	Periplasmic
2	Zinc resistance-associated protein	zraP	WP_042082503	<i>E. coli</i>	MKRNTKIA LVMMALS AMAMGST SAFA	0.06	0.06	0.11	9.76
3	Protease 3	ptrA	EIL66839	<i>E. coli</i>	MPRSTWF KALLLLVA LWAPLSQ A	9.86	0.01	0.01	0.12
4	Maltose-binding periplasmic protein	malE	P0AEX9	<i>E. coli</i>	MKIKTGAR ILALSALTT MMFSASA LA	0.06	0.11	0.11	9.76
6	Maltoporin	LamB	P02943	<i>E. coli</i>	MMITLRKL PLAVAVA AGVMSAQ AMA	0.01	9.93	0.03	0.03
7	Protein prsK	prsK	EQN57820	<i>E. coli</i>	MIKSTGAL LLFAALSA GQAMA	2.50	2.50	2.50	2.50

"تنهاییان و همکاران، بررسی سیگنال پپتیدهای پری پلاسمیک جهت بیان پپتید تانائین در *Escherichia coli*"

8	Taurine-binding periplasmic protein	tauA	WP_032218149	<i>E. coli</i>	MAISSRNT LLAALAFI AFQAQA	2.50	2.50	2.50	2.50
9	Flagellar P-ring protein	flgI	EFJ97486	<i>E. coli</i>	MVIKFLSA LILLVTT AAQA	9.86	0.01	0.01	0.12
10	Iron(III) dicitrate-binding periplasmic protein	fecB	KDW96130	<i>E. coli</i>	MLAFIRFL FAGLLLVI SHAF A	9.86	0.01	0.01	0.12
11	Periplasmic protein torT	torT	WP_029487908	<i>E. coli</i>	MRVLLFLL LSLFMLPA FS	9.86	0.01	0.01	0.12
12	Uncharacterized protein yncJ	yncJ	EYB53638	<i>E. coli</i>	MFTKALSV VLLTCALF SGQLMA	2.50	2.50	2.50	2.50
13	Periplasmic appA protein	appA	P07102	<i>E. coli</i>	MKAILIPFL SLLIPLTPQ SAFA	2.50	2.50	2.50	2.50
14	Cytochrome c-type biogenesis protein	ccmH	P0ABM9	<i>E. coli</i>	MRFLGV L MLMISGSA LA	2.50	2.50	2.50	2.50
15	Outer membrane protein assembly factor yaeT	<u>YAET</u>	<u>P0A941</u>	<i>E. coli</i>	<u>MAMK KLL</u> <u>IASLLFSSA</u> <u>TVYG</u>	2.50	2.50	2.50	2.50
16	Outer membrane protein N	<u>OMP N</u>	<u>P77747</u>	<i>E. coli</i>	<u>MKSKVLA</u> <u>LLIPALLA</u> <u>AGAAHA</u>	2.50	2.50	2.50	2.50
17	Outer membrane protein X	OMPX	<u>P0A919</u>	<i>E. coli</i>	<u>MKKIACLS</u> <u>ALAAVLAF</u> <u>TAGTSVA</u>	2.50	2.50	2.50	2.50
18	Outer membrane protease ompP	<u>OMPP</u>	<u>P34210</u>	<i>E. coli</i>	<u>MOTKLLAI</u> <u>MLAAPVV</u> <u>FSSQEASA</u>	2.50	2.50	2.50	2.50
19	Outer-membrane lipoprotein carrier protein	LOLA	P61316	<i>E. coli</i>	MKKIAITC ALLSSLVA SSVWA	2.50	2.50	2.50	2.50
20	Glucose-1-phosphatase	Agp	P19926	<i>E. coli</i>	MNKTLIAA AVAGIVLL ASNAQA	2.50	2.50	2.50	2.50
21	Endonuclease-1	EndA	P25736	<i>E. coli</i>	MYRYLSIA AVVLSAAF SGPALA	2.50	2.50	2.50	2.50
22	Cyclic di-GMP-binding protein	BesB	P37652	<i>E. coli</i>	MKRKLFW ICAVAMG MSAFPSFM TQA	9.97	0.01	0.01	0.01
24	Protein GltF	GltF	P28721	<i>E. coli</i>	MFFKKNLT TAAICAAL SVAAFSA MA	2.50	2.50	2.50	2.50
25	Threonine-rich inner membrane	GfcA	P75885	<i>E. coli</i>	MKHKLSAI LMAFMLT TPAAFA	2.50	2.50	2.50	2.50

26	protein GfcA Glucose-1-phosphatase	Agp	P19926	<i>E. coli</i>	MNKTLIAA AVAGIVLL ASNAQA	2.50	2.50	2.50	2.50
27	Uncharacterized protein YpeC	YpeC	P64542	<i>E. coli</i>	MFRSLFLA AALMAFTP LAANA	2.50	2.50	2.50	2.50
28	Uncharacterized fimbrial-like protein YraK	YraK	P43319	<i>E. coli</i>	MKRAPLIT GLLLISTSC AYA	2	2	2	2

مقدار حلالیت برای هر دو سیگنال پپتید بیشتر از ۰/۴۵ پیش بینی شد که قابل قبول است. در نتیجه، نتایج نشان می‌دهد که هر دو سیگنال پپتید متصل شده به تاناتین می‌توانند یک پروتئین محلول با امتیاز اطمینان بالاتر از ۰/۹۸ ایجاد کنند. در مطالعه‌ای که توسط (Roshanak *et al.*, 2020) انجام شد، سیگنال پپتیدهای MalE, hofQ, papK, zraP, sfmC, دارای حلالیت قابل قبولی بودند که zraP و MalE با مطالعه‌ی حاضر مشترک بود.

نتیجه پیش‌بینی حلالیت سیگنال پپتیدهای انتخاب شده سرور قبلی در جدول ۳ گزارش شده است. وب سرورهای مختلف برای پیش‌بینی حلالیت پروتئین‌ها در *E. coli* ارائه شده‌اند (Hebditch *et al.*, 2017). سرور Protein sol یکی از دقیق‌ترین سرورها پیش‌بینی حلالیت در بین سرورهای پیش‌بینی حلالیت است (Yarabbi *et al.*, 2019). مقدار عددی گزارش شده در سرور Protein sol بین ۰ و ۱ است (Hebditch *et al.*, 2017). همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود؛

جدول ۳. بررسی سیگنال پپتید با استفاده از سرور Protein sol

No	Protein name	Signal peptide	Accession number	source	Amino acid sequence	Solubility
2	Zinc resistance-associated protein	zraP	WP_042082503	<i>E. coli</i>	MKRNTKIALVMMALSAMAMGS TSAFA	0.770
4	Maltose-binding periplasmic protein	malE	P0AEX9	<i>E. coli</i>	MKIKTGARILALSALTTMMFSAS ALA	0.710

دوگانه آرژینین (TAT) تشکیل شده است و به طور گسترده در بین باکتری‌های گرم منفی منتشر شده است (Choi and Lee, 2004). در مطالعه‌ی حاضر از ۲ سیگنال پپتید وارد شده به PRED-TAT، هر دو مورد به صورت ترش‌حی با صحت بالایی بودند.

نتایج پیش‌بینی ترشح سیگنال پپتیدها نشان داد که هر دو پپتید به نوع سیستم ترشح پروتئین نوع II و مسیر Sec تعلق دارند (جدول ۴). در میان انواع سیستم ترشح پروتئین (نوع I، نوع II و نوع III)، نوع II بیشترین استفاده را دارا است. سیستم نوع II از سه مسیر ترش‌حی وابسته به SecB (Sec)، ذرات تشخیص سیگنال (SRP) و مسیرهای انتقال

"تنه‌ایان و همکاران، بررسی سیگنال پپتیدهای پری پلاسمیک جهت بیان پپتید تاناتین در *Escherichia coli*"

جدول ۴. بررسی سیگنال پپتید با استفاده از سرور PRED-TAT

No	Protein name	Signal peptide	source	Accession number	Amino acid sequence	Reliability score	Most likely cleavage site
2	Zinc resistance-associated protein	zraP	<i>E. coli</i>	WP_042082503	MKRNTKIALV MMALSAMAM GSTSafa	1.000	1 - 26 [AFA-AG]
4	Maltose-binding periplasmic protein	malE	<i>E. coli</i>	P0AEX9	MKIKTGARILA LSALTTMMFS ASALA	0.999	1 - 26 [ALA-AG]

نتایج نشان داد که کمترین GRAVY مربوط zraP (0.050) و بیشترین متعلق به malE (0.194) است. شاخص آلیفاتیک به عنوان حجم نسبی اشغال شده توسط زنجیره جانبی آلیفاتیک در یک توالی اسید آمینه ممکن است به عنوان یک عامل مثبت برای افزایش پایداری حرارتی پروتئین‌های کروی در نظر گرفته شود. تغییرات این شاخص برای سیگنال پپتیدهای مورد مطالعه zraP و malE به ترتیب ۶۵/۲۱ و ۸۳/۵۴ بود. به طور کلی وقتی بی ثباتی بیش از ۴۰ باشد، پروتئین‌ها ناپایدار در نظر گرفته می‌شوند که هر دو پپتید مورد نظر پایدار گزارش شدند (Zamani *et al.*, 2015). از آنجاییکه تمام ویژگی‌ها بین این دو سیگنال پپتید تقریباً مشابه است، اما میزان حلالیت، GRAVY و شاخص آلیفاتیک در malE مقادیر مطلوب‌تری را نشان داد.

جدول ۵ نتایج بررسی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در ترکیب اسیدهای آمینه، وزن مولکولی، PI، شاخص ناپایداری، شاخص آلیفاتیک، باقیمانده‌های باردار مثبت و منفی و میانگین کل هیدروپاتیک (GRAVY) سیگنال پپتیدها توسط سرور Portparam را نشان می‌دهد. ProtParam به عنوان بخشی از ExPASy و موسسه بیوانفورماتیک اروپایی (EIB) است که برای اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پروتئین‌ها با قابلیت اطمینان بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gasteiger *et al.*, 2005).

مطالعه‌ی حاضر نشان داد که بیشترین و کمترین میزان وزن مولکولی (MW) به ترتیب مربوط به zraP (5282.50) و malE (5247.47) بود. همچنین، نتایج نشان داد که PI برای هر دو مورد ۱۱.۱۱ بود. میانگین کل هیدروپاتیسیتی (GRAVY) برای مقایسه هیدروپاتی سیگنال پپتیدها استفاده می‌شود (Zamani *et al.*, 2015).

جدول ۵. بررسی سیگنال پپتید با استفاده از سرور Portparam

No	Protein name	Signal peptide	*M.W	*PI	Gravity	*AI	Stability	*H
2	Zinc resistance-associated protein	zraP	5282.50	11.11	0.050	65.21	stable	>10h
4	Maltose-binding periplasmic protein	malE	5247.47	11.11	0.194	83.54	stable	>10h

E. coli جهت بیان پری پلاسمی تاناتین در باکتری
گزارش شد.

تقدیر و تشکر

از آزمایشگاه چند تخصصی رسپیناژن پارس جهت همکاری در این پژوهش نهایت قدردانی را داریم.

مطالعه‌ی حاضر با هدف معرفی و پیش‌بینی سیگنال پپتیدهای مناسب برای بیان پپتید تاناتین با بیان پری پلاسمیک در *E. coli* بود و از بهترین نرم‌افزارها جهت ارزیابی ویژگی‌های سیگنال پپتیدها استفاده شد. در نهایت نتیجه‌گیری شد که سیگنال پپتید Maltose-binding periplasmic protein (malE) به عنوان بهترین سیگنال پپتید

منابع

- Choi JH, Lee S. (2004) Secretory and extracellular production of recombinant proteins using *Escherichia coli*. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 64: 625-635. <https://doi.org/10.1007/s00253-004-1559-9>.
- Clark S, Jowitt TA, Harris LK, Knight CG, Dobson CB. (2021) The lexicon of antimicrobial peptides: A complete set of arginine and tryptophan sequences. *Communications Biology*. 4: 605. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-021137-7>.
- Gasteiger E, Hoogland C, Gattiker A, Duvaud SE, Wilkins MR, Appel RD, Bairoch A. (2005) Protein identification and analysis tools on the ExPASy server. *Methods in Molecular Biology*. 112: 571-607. <https://doi.org/10.1385/1-59259-890-0:571>.
- Hebditch M, Carballo-Amador MA, Charonis S, Curtis R, Warwicker J. (2017) Protein-Sol: a web tool for predicting protein solubility from sequence. *Bioinformatics*. 33: 3098-3100. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btx345>.
- Javadmanesh A, Mousavi Z, Tanhaeian A, Azghandi M. (2020) Comparison of antimicrobial activity of thanatin peptide with cinnamon and oregano essential oils on some pathogenic bacteria. *Veterinary Research & Biological Products*. 33: 47-53.
- Jeihooni Nezhad Z, Karimi J. (2023) The effects of azithromycin, tetracycline and erythromycin antibiotics on some microalgae. *Journal of Biosafety*. 16(1): 1-14. [In Persian]
- Khatami SH, Taheri-Anganeh M, Arianfar F, Savardashtaki A, Sarkari B, Ghasemi Y, Mostafavi-Pour Z. (2020) Analyzing signal peptides for secretory production of recombinant diagnostic antigen B8/1 from *Echinococcus granulosus*: an *in silico* approach. *Molecular Biology Research Communications*. 9(1). <https://doi.org/10.22099/mbr.2019.35429.1457>.
- Mancuso G, Midiri A, Gerace E, Biondo C. (2021) Bacterial antibiotic resistance: The most critical pathogens. *Pathogens*. 10: 1310. <https://doi.org/10.3390/pathogens10101310>.
- Mba IE, Nweze EI. (2022) Focus: Antimicrobial resistance: Antimicrobial peptides therapy: An emerging alternative for treating drug-resistant bacteria. *The Yale Journal of Biology and Medicine*. 95(4): 445-463.
- Murray CJ, Ikuta KS, Sharara F, Swetschinski L, Aguilar GR, Gray A, Han C, Bisignano C, Rao P, Wool E, Johnson SC. (2022) Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The Lancet*. 399: 629-55. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0).
- Pokharel S, Shrestha P, Adhikari B. (2020) Antimicrobial use in food animals and human health: time to implement 'One Health' approach. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. 9: 1-5. <https://doi.org/10.1186/s13756-020-00847-x>.
- Roshanak S, Tabatabaei Yazdi F, Shahidi F, Javadmanesh A, Movaffagh J. (2020) Comparison of different signal sequences to use for periplasmic over-expression of buforin I in *Escherichia coli*: An *in silico* study. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. 26: 2495-2504. <https://doi.org/10.1007/s10989-020-10042-6>.

"تنهاییان و همکاران، بررسی سیگنال پپتیدهای پری پلاسمیک جهت بیان پپتید تاناتین در *Escherichia coli*"

Tanhaeian A, Azghandi M, Mousavi Z, Javadmanesh A. (2020) Expression of thanatin in HEK293 cells and investigation of its antibacterial effects on some human pathogens. *Protein and Peptide Letters*. 21: 41-47. <https://doi.org/10.2174/0929866526666190822162140>.

Wang L, Wang N, Zhang W, Cheng X, Yan Z, Shao G, Wang X, Wang R, Fu C. (2022) Therapeutic peptides: Current applications and future directions. *Signal Transduction and Targeted Therapy*. 7(1): 48. <https://doi.org/10.1038/s41392-022-00904-4>.

Yarabbi H, Mortazavi SA, Yavarmanesh M, Javadmanesh A. (2020) *In silico* study of different signal peptides to express recombinant glutamate decarboxylase in the outer membrane of *Escherichia coli*. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. 26: 1879-1891. <https://doi.org/10.1007/s10989-019-09986-1>.

Yu K, Lin L, Hu S, Huang J, Mei L. (2012) C-terminal truncation of glutamate decarboxylase from *Lactobacillus brevis* CGMCC 1306 extends its activity toward near-neutral pH. *Enzyme and Microbial Technology*. 50(4-5): 263-269. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2012.01.010>.

Zamani M, Nezafat N, Negahdaripour M, Dabbagh F, Ghasemi Y. (2015) *In silico* evaluation of different signal peptides for the secretory production of human growth hormone in *E. coli*. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*. 21: 261-268. <https://doi.org/10.1007/s10989-015-9454-Z>.

Zhang QY, Yan ZB, Meng YM, Hong XY, Shao G, Ma JJ, Cheng XR, Liu J, Kang J, Fu CY. (2021) Antimicrobial peptides: mechanism of action, activity and clinical potential. *Military Medical Research*. 8: 1-25. <https://doi.org/10.1186/s40779-021-00343-2>.

Investigation of Periplasmic Signal Peptides for the Expression of Thanatin Peptide in *Escherichia coli*

Abbas Tanhaeian¹, Leili Simaei Soltani², Seyedeh Zahra Mousavi^{2*},

1. Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2. Animal Science Department, Agriculture Faculty, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

zaramousavi@yahoo.com

Abstract

Periplasmic expression of antimicrobial peptides is one of the important options in protein expression systems. In the present study, bioinformatics methods were used to predict the best signal peptide for the expression of thanatin in the host *Escherichia coli*. So that, the sequences of 29 signal peptides were prepared from signal peptide databases. Since the aim of this study was to introduce optimal signal peptides for periplasmic expression, the environment in which the protein functions, cleavage site, solubility, probability of secretory signal peptide and physical and chemical properties were investigated through software such as Signalp6, Psort, Protein-sol, PRED-TAT and Portparam, respectively. In the first stage, out of 29 signal peptides, 26 passed the Signalp6 filter and only 2 passed the Psort filter. The solubility and secretory properties of the signal peptides showed that only the zraP and MalE signal peptides were suitable. Finally, the physical and chemical properties of the two peptides showed that MalE showed more favorable properties. Finally, it can be concluded that MalE is the best signal peptide for the expression of thanatin. The results obtained can be used to design periplasmic expression constructs of thanatin in the *Escherichia coli* host. However, laboratory studies are recommended for final confirmation.

Keywords: Secretory peptide, Protein, Bioinformatics