

遗传密码的信息内涵及其与氨基酸的对应联系

许晓风¹,汪四水²,金誓¹,胡艳¹

(1.南京师范大学生命科学学院,南京 210097)

(2.苏州大学数学科学学院,苏州 215021)

[摘要] 为了探讨遗传密码的起源,本文系统考察了四种核苷酸和各类密码子的编码信息、密码子与氨基酸的对应分类关系,发现:①四种核苷酸的编码能力依次为 A>U>G>C;②嘌呤型(PP)、嘧啶型(MM)与嘌呤混合型(PM)密码子的编码能力表现为 PP>MM>PM;③氨基酸与碱基型密码子的对应分类关系较为确定,其中 PP 有酸性、碱性及酰氨基氨基酸,MM 有芳香族、杂环族氨基酸,PM 有脂肪族氨基酸编码的偏爱性,认为遗传密码与氨基酸对应联系的起源不是随机发生的。

[关键词] 遗传密码;编码信息;氨基酸;对应联系

[中图分类号] Q755; [文献标识码] A; [文章编号] 1001-4616(2001)02-0063-04

0 引言

三联体遗传密码的成功破译是 20 世纪科学史上取得的最为辉煌的研究成就之一,它不仅从实验的角度证实了遗传中心法则的正确性,而且从根本上架起了使生物的遗传信息分子与其功能分子实现顺利对接的桥梁,同时还为人们研究遗传密码的起源、密码子与氨基酸对应联系的起源提供了一些不可多得的重要线索和启示。遗传密码的通用性、简并性、与反密码子互作的摆动性^[1]、编码氨基酸的若干规律^[2]的揭示无不加深了人们对遗传密码和生命本质的认识。尽管如此,有关遗传密码丰富的信息内涵仍未得到充分的挖掘。本文通过对遗传密码子及四种核苷酸的编码信息、编码能力及密码子与氨基酸的对应分类关系的系统考察,试图找出深藏于遗传密码字内的一些尚未挖掘出来的重要信息,为遗传密码的起源及核苷酸与氨基酸的相互作用关系研究打下一定基础。有关结果整理报道于下。

1 四种核苷酸的编码信息比较

组成遗传密码的四种核苷酸(AUGC),在 64 个密码子中的分布数量相同,均为 48,且在三联体密码子 3 个位置上的分布亦十分均匀,四者之间没有数量与位置分布方面的任何差异。然而,分别由 A、U、G、C 为主构成的 4 大类密码子,相互间却显示了颇为不同的氨基酸编码能力(见表 1)。表 1 的统计结果表明,

表 1 四种核苷酸分处密码子一、二位时编码的氨基酸数量

核苷酸	第一位	第二位	第一与第二位
A	π(1 起始符)	χ(2 终止符)	1χ(3)
U	α(3 终止符)	ξ(1 起始符)	α(4)
G	5	ξ(1 终止符)	α(1)
C	5	4	8

注:表内数字为氨基酸数,括号内数字为修饰符数。

的 4 大类密码子,相互间却显示了颇为不同的氨基酸编码能力(见表 1)。表 1 的统计结果表明,

四种核苷酸的编码能力依次为 A>U>G>C,即:A 的编码能力最强,编码 12 个氨基酸和 3 个修饰符;U 和 G 的编码能力次之,携带的编码信息分列第二和第三位,二者编码的氨基酸虽同为 9 个,但前者编码了包括 1 个起始符和 3 个终止符在内的所有 4 个修饰符,后者仅编码了 1 个终止符;C 的编码能力最弱,编码的氨基酸仅 8 个,修饰符 0 个,表明它仅具备了为氨基酸编码的能力,而不具备为修饰符编码的能力,即使在含有少数异常密码子的线粒体基因中亦复如此^[3]。4 种核苷酸编码能力的差异可能是某些内在因素作用的结果,因为,量子化学的研究结果表明,“A、G、U、C 等 4 种核苷酸的 π 电子供给能力存在明显差异,表现为 A>G>C>U^[4]”;生物化学研究发现,“多数蛋白质氨基酸与其反密码子有较强的亲和力^[5]”;前生物合成方面的研究亦显示,“A 是最容易进行前生物合成的碱基之一^[6]”;4 种核苷酸在孕育遗传密码起源的原始“肉汤”中的富集程度等也不尽相同^[7]。若核苷酸的编码能力本身便受自身特性的制约,三核苷酸密码子与氨基酸的对应联系便不太可能是纯粹的偶然事件了。

2 密码子与氨基酸的对应分类关系

按照理化性质,氨基酸可划分为酸性、碱性、中性、极性、疏水性、脂肪族、芳香族、杂环族、酰氨型、大分子量、小分子量等多种类型;核苷酸可划分为嘌呤型(包括 A、G)与嘧啶型(包括 U、C)、强氢键型(包括 C、G)与弱氢键型(包括 A、U)及氨基型(包括 A、C)与酮基型(包括 U、G)等几类^[8]。为了建立氨基酸与相应密码子的对应分类关系,我们对 20 种氨基酸的密码子性质进行了分类统计。氨基酸的密码类别,是按编码该氨基酸的所有同义密码子中核苷酸的种类与数量来确定的,同类核苷酸数在 2/3 以上和 1/3 以下的各归一类,在 1/3 至 2/3 之间的归为混合型的一类。以 Lys 为例,其密码子有 AAA 和 AAG 共 2 个,按核苷酸的碱基类型进行归类属于嘌呤型(PP),按氢键类型进行归类属于弱氢键型(WW),按环上基团类型进行归类则属于氨基型(AA)。3 种对应分类的结果分列于表 2、表 3 和表 4,它们分别从不同的侧面揭示了氨基酸与密码子的对应关系。

由表 2 所示的氨基酸与碱基型密码子的对应分类关系不难看出:PP、MM 和 PM 计 3 类碱基型密码子所对应的氨基酸从数量到种类都不甚相同,其中,PP 型密码子对应的氨基酸数量最多,达 9 个,且几乎全是酸性、碱性和酰氨型的,仅有的 3 个例外也颇具特色,其中 2 个为单密码子编码的氨基酸,另 1 个为最小的氨基酸,3 个终止密码子亦无一例外地归属 PP 型;MM 型密码子对应的氨基酸数量次之,有 7 个,多为芳香族和

表 2 20 种氨基酸的碱基型密码类别

密码类别	氨基酸类别	合计数量
嘌呤型(PP,25)	Lys,Asn,Gly,Arg,Glu,Met,Gln,Trp,Asp,3ter	9+3
嘧啶型(MM,24)	Phe,Leu,Pro,Ser,His,Tyr,Cys	7
混合型(PM,15)	Ile,Val,Thr,Ala	4

注:括号内的字母为密码子的类别代号、数字为密码子的数目,下同。

表 3 20 种氨基酸的氢键型密码类别

密码类别	氨基酸类别	合计数量
强键型(SS,19)	Ala,Gly,Pro,Arg,Trp	5
弱键型(WW,17)	Phe,Tyr,Ile,Met,Asn,Lys,3ter	6+3
混合型(SW,28)	Leu,His,Gln,Ser,Thr,Val,Asp,Gys	9

表 4 20 种氨基酸的环上基团型密码类别

密码类别	氨基酸类别	合计数量
氨基型(AA,16)	Thr,Asn,Lys,Pro,Gln,His,1ter	6+1
酮基型(KK,19)	Val,Gly,Phe,Leu,Cys,Trp,2ter	6+2
混合型(AK,29)	Ile,Met,Arg,Ala,Ser,Asp,Glu,Tyr	8

杂环族的氨基酸,PM型密码子对应的氨基酸数量最少,仅4个,为清一色的脂肪族氨基酸。如果将对应的氨基酸的数量与种类分别作为各类密码子的编码能力及其与氨基酸发生特异性作用的指标的话,那么3类密码子的编码能力依次为:PP>MM>PM;它们与氨基酸的特异性编码关系为:PP为酸性、碱性及酰基型氨基酸、MM为芳香族、杂环族氨基酸、PM为脂肪族氨基酸编码的偏爱性。这些不仅反映了氨基酸与碱基型密码子发生相互联系作用的若干规律,而且进一步加强了“氨基酸与密码子的对应联系不是随机发生的产物,而是某种内在联系机制作用的结果”的推论。

表3和表4提供的明确信息有二:一是WW型密码子编码的氨基酸数量比SS型密码子多,表明其具有更强的编码能力;二是AA型密码子与KK型密码子编码的氨基酸数量相等,表明二者的编码能力旗鼓相当。至于此两大类密码子与氨基酸的对应联系,则迥然不同于碱基型密码子的表现,它们很难在类别上与氨基酸建立起稳定的对应联系。原因可能要归咎于核苷酸的三种分类性状的性质差异。在核苷酸的三种分类性状中,碱基类别性状最确定、最严格,因而也最本质和最重要;氢键类型与环上基团类型两种分类性状,前者为一派生性状,只有与其它分子发生相互作用时才能得以体现,且其在一定条件下还会发生改变;后者为一局部基团性状,这种局部基团除A、U的是完全确定的之外,C、G的则有些模棱两可。可见,后两类分类性状本身都包含有不确定因素在内,这种不确定性反映到与氨基酸的互作上便是难以形成稳定的对应联系。尽管如此,这两种对应分类关系还是给出了一些有益的启示,即组成密码子的3个核苷酸,按碱基类型的组合比按氢键强弱类型和氨、酮基团类型的组合更本质和更有意义,它很可能是起源中的遗传密码所采用的基本组合方式。

3 讨论

综上不难看出,由于相互间性质的差异,4种核苷酸的编码能力和编码特点很不相同。正是基于这4种核苷酸编码能力和编码特点的差异才进一步导致了由它们组合而成的各类三联体密码子编码能力和编码特性的差异,换句话说,各类密码子的编码能力与编码特性并非纯或然的东西,而是有其客观必然性的一面。这就使我们有理由相信:密码子与氨基酸的对应联系的建立不是纯粹的偶然事件,而是一些必然因素和一些偶然因素共同作用的结果。遗传密码起源的下一步研究也会从中得到若干有益的线索和启示。

总而言之,遗传密码的信息内涵十分丰富,密码子与氨基酸的对应联系有章可循。研究这种丰富的信息内涵和有序的对对应联系对于揭开遗传密码起源的奥秘、进而揭开生命起源的奥秘意义都十分重大,因为遗传密码的起源极有可能是生命起源——这一宇宙中所发生的最为壮观的事件的关键步骤之一。

致谢:本研究得到南京师范大学引进人才启动基金资助;马飞博士提出许多有益建议,特致谢忱!

[参考文献]

- [1] 朱玉贤,李毅.现代分子生物学[M].北京:高等教育出版社,1997.62—67.
- [2] Miller S L,Orgel L E.The Origins of Life on Earth[M].Prentice-Hall, Inc.1974.72—91.
- [3] Masatoshi Nei. Molecular Evolutionary Genetics[M]. Columbia University Press,1987.25.

- [4] 王文清. 生命科学[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1998. 175.
- [5] Senaratne N, Hobish M K, Ponnamparuma C. In: Proceedings of the 8th College Park Colloquium on Chemical Evolution[C]. Hampton, Virginia USA: A Deepak Publishing, 1990. 148.
- [6] Ferris J P. Molecular Biology of Origins of Life. In: Molecular Biology and Biotechnology_A Comprehensive Desk Reference (ed by R. A. Meyers) [M]. VCH Publishers, Inc. 1995. 628.
- [7] Crick F H C. The Origin of the Genetic Code[J]. J Mol Biol. 1968, 38: 367—79.
- [8] Zhang Chunting. A Symmetrical Theory for DNA Sequences and Its Application[J]. J Theor Biol. 1998, 172: 236—246.

Information Connotation of Genetic Codes and Their Corresponding Relationship with Amino Acids

Xu Xiaofeng¹, Wang Sishui², Jin Zhe¹, Hu Yan¹

(1. Life Science College, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, PRC)

(2. Mathematics College, Suzhou University, Suzhou 215021, PRC)

Abstract A systematic survey on coding capacity of genetic codons and their corresponding relationship with protein amino acids was carried out in this paper so as to explore the origination of genetic codes. The obtained results were as follows: ① the coding capacity of nucleotides A, G, C, T being different with the order as $A > U > G > C$; ② that of three kinds of codons e. g. purine type (PP), pyrimidine type (MM) and purine-pyrimidine mixed type (PM) also being various with the order as $PP > MM > PM$; ③ amino acids (AA) having a comparatively definite corresponding relationship with PP, MM, PM codons, among which acid, basic and amide AAs are related with PP codons, aromatic and imino AAs with MM codons while aliphatic AAs with PM codons. It is believed that the origination of genetic codes is not a random event.

Key words genetic codes; coding information; amino acids; corresponding relationship

[责任编辑 孙德泉]

(上接 57 页)

Study of Pt-TiO₂/C Anodic Complex Catalysts for Direct Methanol Fuel Cell

Liu Changpeng¹, Yang Hui², Xing Wei¹, Lu Tianhong²

(1. Changchun Institute of Applied Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Changchun, 130022, PRC)

(2. College of Chemistry and Environment Science, Nanjing 210097, PRC)

Abstract It is reported for the first time that the Pt-TiO₂/C catalyst prepared with chemical reduction-sol-gel method and used for the direct methanol fuel cell showed the excellent electrocatalytic activity and stability for the electrooxidation of methanol. The effects of component and preparation conditions of the catalyst on its performance were investigated. It is hopeful to use the catalyst in the practical DMFC.

Key words methanol; Pt; TiO₂; fuel cell; electrocatalysts

[责任编辑 孙德泉]