

肖慎华, 张国敏. 代谢组学评估胚胎体外发育潜能的应用研究综述[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(12): 42–45.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.010

代谢组学评估胚胎体外发育潜能的应用研究综述

肖慎华¹, 张国敏^{1,2}

(1. 南京农业大学动物科技学院, 江苏南京 210095; 2. 南京农业大学动物医学院, 江苏南京 210095)

摘要: 胚胎体外发育能力的评估在人类辅助生殖技术中起关键作用。多胎妊娠带来的围产期死亡和医疗负担日益凸显。因此, 如何获得高发育潜能的胚胎以减少多胎率和提高临床妊娠率是目前辅助生殖技术研究的重点。代谢组学作为一种非侵入性检测方法, 主要通过对卵泡液或胚胎的培养液进行检测分析, 能客观地评价胚胎质量和预测胚胎的发育潜能。因此, 通过代谢组学判断和选择具有良好发育潜能的胚胎, 对孕育健康后代和减少经济负担具有重要意义。本文首先对代谢组学的概况及研究方法进行了简单介绍, 然后对代谢组学在生殖领域的最新应用进行了综述。

关键词: 代谢组学; 胚胎体外发育; 卵泡液; 胚胎培养液

中图分类号: S857.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0042-03

随着辅助生殖技术的广泛应用, 如何选择高质量胚胎进行移植已成为研究者面临的主要问题。目前, 移植胚胎的发育潜能评估主要是依据胚胎的形态学评分。但这种方法重复性低、不能准确反映胚胎的质量, 并且可能在无异常表现的胚胎中存在遗传缺陷^[1]。因此, 寻找一种新的评价配子和胚胎发育潜能的方法迫在眉睫。近年的研究表明, 利用代谢组学的方法, 通过测定卵泡液或胚胎培养液中代谢物质的变化, 探索这种变化与卵母细胞或胚胎质量及其发育潜能的关系, 以此来评价配子和胚胎的质量, 能达到提高妊娠率并降低多胎妊娠风险的目的^[2]。由于卵泡液和培养液是卵母细胞和胚胎发育与成熟的重要微环境, 代谢产物的变化可以直接反映卵母细胞和胚胎对基因、营养物质和环境等所产生的生理变化^[3-4], 因此, 卵泡液和胚胎培养基的代谢成分就成为人们对胚胎活力评价的潜在指标。

1 代谢组学概述

代谢组学 (metabonomics) 是继基因组学、转录组学和蛋白质组学之后新发展起来的一门学科, 主要对细胞、组织或器官中所有低相对分子质量代谢产物进行定性和定量分析, 从而判断或预测细胞、组织或器官的健康状态^[5-6]。代谢组学是以组群指标分析为基础、以高通量检测 and 数据处理为手段, 以信息建模与系统整合为目标的系统生物学的一个分支。在特定的环境中, 经基因组表达和新陈代谢产生的中间物和终产物, 是代谢组学研究的重点, 物质的变化能反映生物体系受外部刺激所做出的应答。

与基因组学和蛋白质组学以及其他组学相比, 代谢组学具有很大的优势: (1) 代谢物的种类较少, 远少于基因组和蛋

白组所检测到的数目; (2) 基因和蛋白质的微小变化会在代谢产物上得到放大, 从而更易检测; (3) 无需建立全基因组测序以及大量表达序列标签数据库; (4) 目前对大多数小分子内源性代谢物的作用及其所在代谢途径及相关代谢通路的认识更加全面^[7]。基于以上优点, 代谢组学已成为所有组学研究中的热点之一, 有很大的发展和应用前景。

2 代谢组学的分析技术

利用代谢组学分析数据的过程一般分为: 代谢组数据的采集、数据预处理、多变量数据分析、标记物识别和途径分析等步骤^[8]。通常代谢组学的分析技术包括质谱分析技术 (mass spectrometry, MS)、核磁共振波谱分析技术 (nuclear magnetic resonance, NMR)、光谱分析技术 (spectroscopy) 和色谱分析技术 (chromatograph)。NMR 具有对样品实现无创性、无偏向的检测, 有良好的客观性和重现性, 且无需对样品预处理, 被认为是唯一能用于活体和原位研究的代谢组学检测技术^[9]。质谱适用于生物小分子的分析, 尤其是气相色谱-质谱联用 (GC/MS)、液相色谱-质谱联用 (LC/MS) 和电泳-质谱联用 (CE/MS) 等联用技术在各个研究领域应用较为广泛。由于代谢物种类繁多, 各物质之间差异比较大, 且浓度分布范围广, 仅靠一种分析技术无法完成。因此, 必须联合使用几种分析技术才能对代谢产物进行全面分析^[3]。目前 NMR 和色谱-质谱联用是代谢组学检测中最为常用的检测方法。此外, 随着代谢组学分析技术的快速发展, 对检测仪器的改造也越来越高级。Liu 等利用快速高分辨液相色谱系统 (rapid resolution liquid chromatography, RRLC) 与 MS 联用技术, 也获取了样品的全部内源性小分子代谢物信息^[10], 并且此方法有可能成为后续代谢物检测的主要方法。

3 代谢物对胚胎体外发育潜能预测的研究

3.1 卵泡液

卵母细胞存在于卵泡发育整个过程的 99% 以上, 因此, 卵泡液中的各种代谢物均可反映卵泡液所处的内环境^[11]。卵泡液由多种物质组成, 主要包括血浆、颗粒细胞、卵泡膜细

收稿日期: 2016-08-16

基金项目: 第 58 批博士后科学基金 (编号: 80252115)。

作者简介: 肖慎华 (1963—), 男, 江苏徐州人, 硕士, 研究方向为羊生产学。

通信作者: 张国敏, 博士, 主要从事羊生产学与动物胚胎生物学研究。

E-mail: zhangguomin@njau.edu.cn。

胞和卵母细胞的代谢物等。这些代谢物质可能与卵母细胞的质量及其发育潜能密切相关^[12]。Thomas 等首次将代谢组学分析技术应用于卵泡液的测定,发现卵泡液中代谢物组成(脂肪酸和磷酸盐等)成分的不同会影响卵母细胞的发育潜能^[13]。同时,Bender 等通过测定牛卵泡液中饱和脂肪酸的水平,得出高饱和脂肪酸不利于卵母细胞的成熟和早期胚胎发育的结论^[14]。Zeron 等也得出卵泡液中脂肪酸含量的高低会影响卵母细胞的成熟和早期胚胎发育的结果^[15]。McRae 等利用代谢组学技术对 10 名妇女不同生理周期中卵泡的卵泡液进行分析,结果表明月经周期中卵泡液中乳酸盐和丙酮酸盐的含量较高,但是卵泡液中的葡萄糖含量却很低^[16]。另外也有研究证实,卵泡液中胆固醇水平的高低也可作为预测卵母细胞发育潜能的一个代谢标记指标^[17]。但是,利用代谢组学来预测卵母细胞发育潜能也存在一定的劣势,比如卵泡液中所检测出的标志物质非常有限,且不能确定是何种标志物起作用,因此在利用代谢组学技术通过卵泡液中的标志物来预测卵母细胞及胚胎的发育还需要深入研究^[12]。

3.2 胚胎培养液

3.2.1 碳水化合物 胚胎体外培养液中使用的碳水化合物主要有丙酮酸和葡萄糖。胚胎早期培养主要以丙酮酸和乳酸为功能底物,而在晚期主要以葡萄糖为功能物质。因此,培养基中丙酮酸和葡萄糖的吸收量被作为胚胎发育潜能的评价指标^[18]。研究表明,丙酮酸摄取量高的胚胎易发育至囊胚^[19]。Turner 等研究也指出丙酮酸吸收量与胚胎植入能力有关^[20]。然而,这一结论却与之前的研究的结果^[21-22]相反。究其原因,可能是由于由于试验中使用的培养液不同以及物种不同所致。综上所述,丙酮酸的摄取量与胚胎发育能力的关系还没有统一的定论,因此,丙酮酸摄取量能否作为胚胎发育和生殖潜能的标志有待进一步研究。

在胚胎的发育过程中,葡萄糖的摄入量逐渐升高。Gardner 等研究表明,在胚胎发育过程中,优质囊胚对葡萄糖的摄取量显著高于劣质囊胚^[23]。Sakkas 等^[1]也得出了类似的结论。然而,Lane 等发现糖酵解活性低的囊胚有较高的发育能力,且移植后妊娠率高于糖酵解活性高的囊胚^[24]。此外,Jones 等发现,葡萄糖的摄取量与胚胎的发育潜能没有直接的相关性^[25]。因此,在胚胎的发育过程中,通过葡萄糖含量的变化来预测胚胎的发育潜能也存在一定的分歧。依靠培养基中葡萄糖和丙酮酸的含量来预测胚胎发育潜能的理论还不完善,还需要深入研究。

3.2.2 氨基酸 氨基酸是蛋白质合成的基础,在胚胎的代谢过程中也起着重要的作用。主要作用如下:(1)提供能量;(2)维持细胞渗透压;(3)调节 pH 值;(4)合成蛋白质合成的前体物质;(5)抗氧化作用;(6)信号传递。Houghton 等首次利用 HPLC-MS 技术测定胚胎在发育的不同阶段氨基酸的含量,结果表明,氨基酸代谢低的胚胎具有较好的发育潜能^[26]。Brison 等采用同样的技术,发现氨基酸的含量与妊娠率有一定的相关性^[27]。Stokes 等研究表明,牛、猪和人胚胎发育不同阶段的氨基酸代谢活性与 DNA 损伤呈正相关^[28]。此外,研究证实不同性别的胚胎对氨基酸的利用率也有所差异^[29]。虽然培养基中氨基酸的代谢在一定程度上能预测胚胎的发育潜能,但目前尚不能确定标志性的氨基酸,因此还需

要进一步的试验去发现和验证。

3.2.3 可溶性人白细胞抗原因子(soluble human leukocyte antigen-G, sHLA-G) sHLA-G 由胚胎分泌,对维持正常的妊娠起着关键性的作用^[30]。近年来研究表明,sHLA-G 在胚胎附植前的各发育阶段中均有表达,且其含量与胚胎着床密切相关,可作为胚胎着床的标志分子。Fisch 等研究表明,sHLA-G 同胚胎等级评分结合起来,可用于 D3 胚胎移植后妊娠的预测^[31]。Rebmann 等也证实了这一结论^[32]。同时,Rebmann 等通过 ICSI 方法构建的胚胎培养液中 sHLA-G 的表达与临床妊娠率显著相关,而通过 IVF 方法构建的胚胎培养液中 sHLA-G 的表达与妊娠率不相关^[32]。然而 Noriko 等在各发育阶段胚胎的培养液中均未检测出 sHLA-G 的存在^[33]。研究结果之所以存在差异,可能与构建胚胎的方法和培养液的成分等有一定的关系。

3.2.4 胰岛素样生长因子(insulin-like growth factors, IGFs)

IGFs 是一种具有多种生物学活性的蛋白多肽物质,主要包括 IGF-I 和 IGF-II 这 2 种,在卵泡的自分泌和旁分泌中起着重要的作用。IGF 在植入前的胚胎中均有表达,提示 IGF 可能对胚胎的发育有一定的作用^[34]。Lighten 等研究证实,IGF 对植入前胚胎的发育有促进作用^[35]。胚胎体外培养过程中,培养液中胚胎分泌 IGF-II 的含量可反映胚胎生长发育及着床能力,可能主要是通过促进囊胚对葡萄糖的摄取而促进胚胎的发育^[36]。

3.2.5 血小板活性因子(platelet activating factor, PAF)

PAF 是一种内源性具有广泛生物活性的磷脂类介质,在动物生殖生理调控尤其是排卵、受精和分娩等方面起着重要的作用^[37]。O'Neill 等最先发现妊娠胚胎分泌 PAF 的含量显著高于未妊娠胚胎^[38]。后来 Roudebush 等也得出了相同的结论。这提示我们:胚胎分泌 PAF 的能力与胚胎发育的状况有一定的相关性,且胚胎发育越好,分泌量就越大,因此,胚胎代谢液中 PAF 可作为胚胎发育潜能的指示物^[39]。Emerson 等也研究发现,PAF 主要通过刺激胚胎对葡萄糖和乳糖的代谢,进而提高胚胎的发育率^[40]。

4 展望

代谢组学作为一种新兴的技术与方法,可更便捷、更快速、更客观地选择优质胚胎进行移植,在一定程度上弥补了基因组学、蛋白质组学以及其他组学研究中的缺点。随着研究的不断深入,代谢组学的应用范围也得到不断拓宽。在辅助生殖领域,研究者运用代谢组学的方法进行了有意义的探究,且取得了一定的成果。但是,应用代谢组学对胚胎的发育潜能进行评估处于刚起步阶段,还存在一定的问题,比如目前研究的对象数量比较少,不适用于单一-胚胎植入的妊娠检测等,因此,利用代谢组学技术降低多胎妊娠率并达到精准预测妊娠这一目的,还需要进一步深入研究。

参考文献:

- [1] Sakkas D, Gardner D K. Noninvasive methods to assess embryo quality[J]. Curr Opin Obstet Gynecol, 2005, 17(3): 283-288.
- [2] Kovacs G L, Montsko G, Zrinyi Z, et al. Non-invasive assessment of viability in human embryos fertilized *in vitro*[J]. EJIFCC, 2016, 27

- (2):112–121.
- [3] Rodgaard T, Heegaard P M, Callesen H. Non – invasive assessment of *in vitro* embryo quality to improve transfer success [J]. Reprod Biomed Online, 2015, 31 (5): 585 – 592.
 - [4] Botros L, Sakkas D, Seli E. Metabolomics and its application for non – invasive embryo assessment in IVF [J]. Mol Hum Reprod, 2008, 14 (12): 679 – 690.
 - [5] Fiehn O, Kopka J, Dormann P, et al. Metabolite profiling for plant functional genomics [J]. Nat Biotechnol, 2000, 18 (11): 1157 – 1161.
 - [6] Kohler I, Giera M. Recent advances in liquid – phase separations for clinical metabolomics [J]. J Sep Sci, 2016. Doi: 10. 1002/ jssc. 201600981.
 - [7] Katz – Jaffe M G, McReynolds S, Gardner D K, et al. The role of proteomics in defining the human embryonic secretome [J]. Mol Hum Reprod, 2009, 15 (5): 271 – 277.
 - [8] Causon T J, Hann S. Review of sample preparation strategies for MS – based metabolomic studies in industrial biotechnology [J]. Anal Chim Acta, 2016, 938: 18 – 32.
 - [9] Nicholson J K, Connelly J, Lindon J C, et al. Metabonomics: a platform for studying drug toxicity and gene function [J]. Nat Rev Drug Discov, 2002, 1 (2): 153 – 161.
 - [10] Liu X, Zhang X, Huang J, et al. Enantiospecific determination of naftopidil by RRLC – MS/MS reveals stereoselective pharmacokinetics and tissue distributions in rats [J]. J Pharm Biomed Anal, 2015, 112: 147 – 154.
 - [11] Gu L, Liu H, Gu X, et al. Metabolic control of oocyte development: linking maternal nutrition and reproductive outcomes [J]. Cell Mol Life Sci, 2015, 72 (2): 251 – 271.
 - [12] Revelli A, Delle – Piane L, Casano S, et al. Follicular fluid content and oocyte quality: from single biochemical markers to metabolomics [J]. Reprod Biol Endocrinol, 2009, 7: 40.
 - [13] Thomas N, Goodacre R, Timmins E M, et al. Fourier transform infrared spectroscopy of follicular fluids from large and small antral follicles [J]. Hum Reprod, 2000, 15 (8): 1667 – 1671.
 - [14] Bender K, Walsh S, Evans A C, et al. Metabolite concentrations in follicular fluid may explain differences in fertility between heifers and lactating cows [J]. Reproduction, 2010, 139 (6): 1047 – 1055.
 - [15] Zeron Y, Ocheretny A, Kedar O, et al. Seasonal changes in bovine fertility: relation to developmental competence of oocytes, membrane properties and fatty acid composition of follicles [J]. Reproduction, 2001, 121 (3): 447 – 454.
 - [16] McRae C, Baskind N E, Orsi N M, et al. Metabolic profiling of follicular fluid and plasma from natural cycle *in vitro* fertilization patients—a pilot study [J]. Fertil Steril, 2012, 98 (6): 1449 – 1457.
 - [17] Shaikly V R, Morrison I E, Taranissi M, et al. Analysis of HLA – G in maternal plasma, follicular fluid, and preimplantation embryos reveal an asymmetric pattern of expression [J]. J Immunol, 2008, 180 (6): 4330 – 4337.
 - [18] Gardner D K, Wale P L, Collins R, et al. Glucose consumption of single post – compaction human embryos is predictive of embryo sex and live birth outcome [J]. Hum Reprod, 2011, 26 (8): 1981 – 1986.
 - [19] Hardy K, Hooper M A, Handyside A H, et al. Non – invasive measurement of glucose and pyruvate uptake by individual human oocytes and preimplantation embryos [J]. Hum Reprod, 1989, 4 (2): 188 – 191.
 - [20] Turner K, Martin K L, Woodward B J, et al. Comparison of pyruvate uptake by embryos derived from conception and non – conception natural cycles [J]. Hum Reprod, 1994, 9 (12): 2362 – 2366.
 - [21] Conaghan J, Hardy K, Handyside A H, et al. Selection criteria for human embryo transfer: a comparison of pyruvate uptake and morphology [J]. J Assist Reprod Genet, 1993, 10 (1): 21 – 30.
 - [22] Conaghan J, Handyside A H, Winston R M, et al. Effects of pyruvate and glucose on the development of human preimplantation embryos *in vitro* [J]. J Reprod Fertil, 1993, 99 (1): 87 – 95.
 - [23] Gardner D K, Leese H J. Assessment of embryo viability prior to transfer by the noninvasive measurement of glucose uptake [J]. J Exp Zool, 1987, 242 (1): 103 – 105.
 - [24] Lane M, Gardner D K. Selection of viable mouse blastocysts prior to transfer using a metabolic criterion [J]. Hum Reprod, 1996, 11 (9): 1975 – 1978.
 - [25] Jones G M, Trounson A O, Vella P J, et al. Glucose metabolism of human morula and blastocyst – stage embryos and its relationship to viability after transfer [J]. Reprod Biomed Online, 2001, 3 (2): 124 – 132.
 - [26] Houghton F D, Hawkhead J A, Humpherson P G, et al. Non – invasive amino acid turnover predicts human embryo developmental capacity [J]. Hum Reprod, 2002, 17 (4): 999 – 1005.
 - [27] Brison D R, Houghton F D, Falconer D, et al. Identification of viable embryos in IVF by non – invasive measurement of amino acid turnover [J]. Hum Reprod, 2004, 19 (10): 2319 – 2324.
 - [28] Dor J, Rudak E, Davidson A, et al. Endocrine and biological factors influencing implantation of human embryos following cryopreservation [J]. Gynecol Endocrinol, 1991, 5 (3): 203 – 211.
 - [29] Seli E, Botros L, Sakkas D, et al. Noninvasive metabolomic profiling of embryo culture media using proton nuclear magnetic resonance correlates with reproductive potential of embryos in women undergoing *in vitro* fertilization [J]. Fertil Steril, 2008, 90 (6): 2183 – 2189.
 - [30] Roussev R G, Ng S C, Coulam C B. Natural killer cell functional activity suppression by intravenous immunoglobulin, intralipid and soluble human leukocyte antigen – G [J]. Am J Reprod Immunol, 2007, 57 (4): 262 – 269.
 - [31] Fisch J D, Keskindepe L, Ginsburg M, et al. Graduated embryo score and soluble human leukocyte antigen – G expression improve assisted reproductive technology outcomes and suggest a basis for elective single – embryo transfer [J]. Fertil Steril, 2007, 87 (4): 757 – 763.
 - [32] Rebmann V, Switala M, Eue I, et al. Rapid evaluation of soluble HLA – G levels in supernatants of *in vitro* fertilized embryos [J]. Hum Immunol, 2007, 68 (4): 251 – 258.
 - [33] Alinejad Z, Jafari – Shakib R, Forghan – Parast K, et al. *In vitro* fertilized embryos do not secrete detectable HLA – G on day two [J]. Iran J Immunol, 2009, 6 (4): 195 – 201.
 - [34] Zheng L L, Tan X W, Cui X Z, et al. Preimplantation maternal stress impairs embryo development by inducing oviductal apoptosis with activation of the Fas system [J]. Mol Hum Reprod, 2016, 22 (11): 778 – 790.
 - [35] Lighten A D, Hardy K, Winston R M, et al. Expression of mRNA for the insulin – like growth factors and their receptors in human preimplantation embryos [J]. Mol Reprod Dev, 1997, 47 (2): 134 – 139.
 - [36] Pantaleon M, Kaye P L. IGF – I and insulin regulate glucose

张治平,耿园,戴海博,等. 茭白黑粉菌(*Ustilago esculenta*)研究进展[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):45-48.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.011

茭白黑粉菌(*Ustilago esculenta*)研究进展

张治平,耿园,戴海博,缪旻珉

(扬州大学园艺与植物保护学院,江苏扬州 225009)

摘要:茭白黑粉菌是专一寄生在茭白体内的一种活体营养型真菌,该菌与茭白植株共生后能刺激植株茎部组织膨大形成可以食用的美味蔬菜——茭白。本文综述了茭白黑粉菌病原菌的类型、形态特征、生活史、分离、鉴定,以及茭白黑粉菌与茭白孕茭关系等方面的研究进展,并对今后的研究方向进行了展望。

关键词:茭白;茭白黑粉菌;孕茭;研究进展

中图分类号: S436.45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0045-04

茭白(*Zizania latifolia* Turcz.) 别称茭瓜、茭笋、高瓜、菰等,是禾本科菰属(*Zizania* Gronov. ex L.) 的一种多年生水生宿根性草本植物,是我国重要的水生蔬菜之一。茭白肥美可口的肉质茎是由茭白黑粉菌(*Ustilago esculenta* P. Henn) 侵染茭白植株刺激茭白茎基部膨大形成的^[1]。茭白黑粉菌的侵染及其与茭白植株的互作关系是茭白能否孕茭的关键,同时茭白黑粉菌的菌丝形态是决定茭白商品性和食用价值的关键因素^[2-3]。本文就茭白黑粉菌的研究现状进行了综述,并探讨了今后茭白黑粉菌的研究方向和重点,以期揭示茭白孕茭机理,为茭白的生产和育种提供依据。

1 茭白黑粉菌病原菌的特性

茭白黑粉菌,为黑粉菌目(*Ustilaginales*) 黑粉菌科(*Ustilaginaceae*) 黑粉菌属[*Ustilago* (Pers.) Roussel] 真菌,是专一寄生在茭白植株体内的活体营养型真菌^[4]。该病原菌原发源于我国,现广泛分布于东亚的日本、越南、印度以及俄罗斯、美国等地。

1.1.1 茭白黑粉菌的命名 目前文献中普遍承认的茭白黑粉菌拉丁名是 *Ustilago esculenta* P. Henn, 该拉丁名最早是被 Hennings^[5] 命名的。Hori 认为,茭白黑粉菌冬孢子萌发方式

与长黑粉菌(*Ustilago ingissima* Sow. Tul)、芦苇黑粉菌(*Ustilago grandis* Fr.) 很相似,三者应同属于原黑粉菌属(*Proustilago* Bref.)^[6]。

不同学者根据黑粉菌形态发生学的研究对其进行命名和归类,并明确新名字是否有效。茭白黑粉菌在文献中还出现过其他 2 个拉丁名,但都没有被学者认可。其中 1 个拉丁名的由来是, Mundkur 等研究茭白黑粉菌孢子堆形成过程,发现其与疣黑粉菌(*Melanopsichium* Beck) 的孢子堆形成过程相同,因此将其改名为 *Melanopsichium esculenta* (P. Henn.) Mundk. et Thir.^[7],但是两者的孢子堆除了形成过程一致,在形成部位、结构、萌发方式等其他方面都极其不同,从而被否定;另外 1 个拉丁名的由来是, Liou^[8] 根据 Yan^[9] 对茭白黑粉菌冬孢子萌发的研究结果,将其命名为 *Yenia esculenta* (P. Henn.) Liou, 并建立了菰黑粉属(*Yenia* Liou), 但是该菌的孢子萌发形态极易受到外界条件的影响^[1], 并且孢子萌发产生的先菌丝有分隔,与 Liou 建立的 *Yenia* Liou 属的其他种类黑粉菌不同^[10], 因而 *Yenia esculenta* (P. Henn.) Liou 也没有被学术界认可。郑传临等对黑粉菌属进行了类平均法的系统聚类分析,认为茭白黑粉菌应放在黑粉菌属内,学名为 *Ustilago esculenta* P. Henn 最适宜^[11]。

1.1.2 茭白黑粉菌的类型 根据茭白黑粉菌在茭白肉质茎膨大期间形成孢子堆的早晚,将茭白黑粉菌分为 2 种株系, T 型(teliospore)、M-T 型(mycelia-teliospore) 黑粉菌^[12]。T 型菌株来自于灰茭,它在灰茭的潜育期比正常茭白短,在肉质茎膨大初期就产生厚垣孢子堆;而 M-T 型菌株来自于正常膨大的茭白,在肉质茎膨大后期才形成孢子堆^[3]。从余茭 4 号、浙茭 2 号 2 个品种正常茭白和灰茭中分离得到的 T 型、M-T 型菌株, 2 个菌株的 ITS-5.8S rRNA 序列在 152~158

transport in mouse blastocysts via IGF-I receptor[J]. Mol Reprod Dev, 1996, 44(1):71-76.

[37] Caboni P, Liori B, Kumar A, et al. Metabolomics analysis and modeling suggest a lysophosphocholines-PAF receptor interaction in fibromyalgia[J]. PLoS One, 2014, 9(9):e107626.

[38] O'Neill C, Gidley-Baird A A, Pike I L, et al. Use of a bioassay for embryo-derived platelet-activating factor as a means of assessing quality and pregnancy potential of human embryos[J]. Fertil Steril,

1987, 47(6):969-975.

[39] Roudebush W E, Wininger J D, Jones A E, et al. Embryonic platelet-activating factor: an indicator of embryo viability[J]. Hum Reprod, 2002, 17(5):1306-1310.

[40] Emerson M, Travis A R, Bathgate R, et al. Characterization and functional significance of calcium transients in the 2-cell mouse embryo induced by an autocrine growth factor[J]. J Biol Chem, 2000, 275(29):21905-21913.