

# 野生厚朴花粉萌发及花粉管生长过程观察

王洁<sup>1</sup>, 杨志玲<sup>1①</sup>, 杨旭<sup>1</sup>, 檀国印<sup>1</sup>, 何正松<sup>2</sup> (1. 中国林业科学院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 磐安县园塘林场, 浙江 磐安 322300)

**摘要:** 利用荧光显微镜对野生厚朴(*Magnolia officinalis*)自然条件下柱头黏附花粉的数量、自花授粉和同株异花授粉时柱头黏附花粉、花粉萌发及花粉管生长过程进行观察。结果显示,自然传粉条件下只有12%的柱头上可以观察到花粉,且每个柱头上黏附的花粉量少;自花授粉后柱头上可以黏附大量花粉,但花粉不能萌发;同株异花授粉后柱头上可黏附大量花粉,花粉可以萌发,但萌发时间推迟,且授粉4 h后,多数花粉管停止伸长,花粉管伸长过程中出现末端膨大、生长扭曲等现象,花粉管生长过程中还伴随着一系列胼胝质反应,在柱头上与花粉管的接触处和乳突细胞表面都可以观察到胼胝质,胼胝质的产生阻碍了花粉管的正常伸长。因此,缺乏传粉昆虫和存在受精前障碍是野生厚朴濒危的2个重要原因。

**关键词:** 厚朴; 花粉; 柱头; 荧光显微镜

**中图分类号:** X176; Q944.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673 - 4831(2013)01 - 0053 - 05

**Pollen Germination and Pollen Tube Growth of Wild *Magnolia officinalis* as Observed.** WANG Jie<sup>1</sup>, YANG Zhi-ling<sup>1</sup>, YANG Xu<sup>1</sup>, TAN Guo-yin<sup>1</sup>, HE Zheng-song<sup>2</sup> (1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, China; 2. Yuantang Forest Farm of Pan'an County, Pan'an 322300, China)

**Abstract:** A fluorescence microscope was used to observe number of pollens adhered on stigmas of wild *Magnolia officinalis* under natural conditions, pollen adhesion to stigmas through self-pollination and geitonogamous pollination, pollen germination and the growth of pollen tubes. It was found that under natural pollination conditions, only 12% of stigmas had some pollen grains adhered, and the number of pollens adhered on each stigma was rather limited; Self-pollination increased the number of pollens adhered on stigmas but the pollens were futile and could not germinate; however, geitonogamous pollination also increased the number of pollens adhered on stigmas and, moreover, the pollens could germinate, but later in time. After pollens got in contact with stigmas, pollen tubes began to grow and 4 hours later, most pollen tubes stopped extending with tips bulging and even twisted. Along with the growth of tubes, a series of callose reactions were observed. Calloses were found at the contacts between the stigmas and pollen tubes and on the surface of stigma papillose cells. They hindered normal extension of pollen tubes. Therefore, the lack of pollination insects and the existence of the pre-fertilization obstacle are the two principal causes leading to endangeredness of the wild *M. officinalis*.

**Key words:** *Magnolia officinalis*; pollen; stigma; fluorescence microscope

植物的濒危机制有物种内外两方面的因素,其内在因素主要是遗传、生理、发育和生殖等方面<sup>[1]</sup>。被子植物的有性生殖一直是植物发育生物学研究的热点问题,其中,受精作为植物生活史的重要组成部分,受到越来越多的关注<sup>[2]</sup>,而利用荧光显微镜观察花粉在柱头上的发育状况,为植物生活史的研究提供了便捷、准确的方法。近年来,一些学者利用荧光显微镜对花粉管的萌发进行了研究,但多数学者主要通过观察授粉后柱头上黏合的花粉数及花粉管伸长情况研究植物的受粉习性或不同物种杂交后花粉-柱头的亲和情况<sup>[3-7]</sup>,极少学者把柱头上花粉萌发的荧光显微镜观察作为研究植物濒危机制的一种手段<sup>[8]</sup>。

野生厚朴(*Magnolia officinalis*)是木兰科木兰属的落叶乔木,为国家二级保护濒危种<sup>[9]</sup>,有关野生厚朴濒危机制的研究很多,但主要集中在花部综合特征、种子的萌发特性、果实和种子的变异等方面<sup>[10-12]</sup>,尚鲜有人通过花粉管在柱头上的发育过程来研究其濒危机制。木兰科主要的传粉昆虫为花金龟科与丽金龟科的甲虫<sup>[13]</sup>,虽然两者的传粉效率较高,但野生厚朴通常相距较远,且能够正常开花

收稿日期: 2012 - 04 - 26

基金项目: 国家科技部公益性林业专项(200704022); 浙江省自然科学基金重点项目(Z3100041)

① 通信作者 E-mail: zlyang0002@126.com

结果的厚朴一般比较高,因此,甲虫在传粉时自花传粉或同株异花传粉较多。鉴于此,笔者主要利用荧光显微镜对野生厚朴自花传粉和同株异花授粉后花粉在柱头上的黏合、萌发及生长过程进行观察,以探讨野生厚朴濒危的原因。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以富阳亚热带林业研究所自然种群中的野生厚朴为材料,供调查植株年龄均在20 a以上,生长状况良好,每年能正常开花结果。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 昆虫传粉条件下的花粉萌发及花粉管生长过程观察

于2011年5月厚朴开花时,采集花被片和雄蕊脱落且无香味的盛花末期的厚朴花朵10朵带回实验室,用福尔马林-乙酸-乙醇混合液(FAA)固定24 h以上,之后将材料取出放入 $\varphi = 50\%$ 和 $\varphi = 30\%$ 的酒精中分别过渡0.5 h,然后用蒸馏水反复冲洗。因厚朴柱头粗大,因此在染色之前需要进行软化处理,使组织能被压成薄层,以利在显微镜下检查花粉管。软化的方法有若干种,常用的是用NaOH软化,NaOH浓度和时间因软化材料不同而异<sup>[14]</sup>。前期试验发现,用 $4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  NaOH溶液处理24 h对厚朴柱头的软化效果最好。软化后的材料用蒸馏水冲洗,浸泡在含 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{K}_3\text{PO}_4$ 的 $1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 水溶性苯胺蓝溶液中染色24 h。材料染色完全后置于载玻片上,加1滴原来的染色液,加上盖片,用镊子稍加压力,使花柱展开,最后用Leica DM4000B荧光显微镜在紫外光源下观察柱头黏附花粉的数量、花粉的萌发、柱头乳突细胞的胼胝质产生及花粉管的生长过程,并拍照记录。花粉粒观察的计数方法:每朵花取10个柱头,每个柱头在显微镜下取3个不同的视野分别计数,取3次的平均数作为该柱头的花粉粒数。

#### 1.2.2 人工授粉后花粉萌发及花粉管生长过程观察

野生厚朴初花期时外轮3枚花被片展开,内轮花被片镊合,雄蕊未成熟且花粉尚未散出,因此采集自然种群中带有处于初花期的野生厚朴花苞的枝条60枝,并带回实验室水培。待厚朴花开放到盛花期时对其中30朵花进行自花授粉,另外30朵进行同株异花授粉,分别取自花授粉和同株异花授粉后2、4、8、12、24 h的柱头各30个,对其进行处理和观察,方法如1.2.1节所述。

## 2 结果与分析

### 2.1 自然传粉条件下的花粉黏附、萌发及花粉管生长

共观察自然传粉条件下的100个柱头,结果发现12%的柱头上可黏附花粉。在300个视野内,只有24个视野内可观察到花粉。在可观察到花粉的视野内,花粉数量极少,平均每个柱头上可黏附的花粉数约为0.16。前期研究发现,野生厚朴的结实需要传粉昆虫,由此推测,自然条件下野生厚朴可能因缺少授粉昆虫,以至于自然传粉时柱头黏附的花粉粒少,这可能是导致厚朴濒危的原因之一。另外,可能因样本量少,只有极少数的花粉萌发[图1(a)],其原因可能是昆虫对大多数的花朵进行了自花传粉,引起自交不亲和,花粉不能萌发。

### 2.2 人工授粉条件下的花粉黏附、萌发及花粉管生长

#### 2.2.1 花粉粒在柱头表面的黏附及萌发

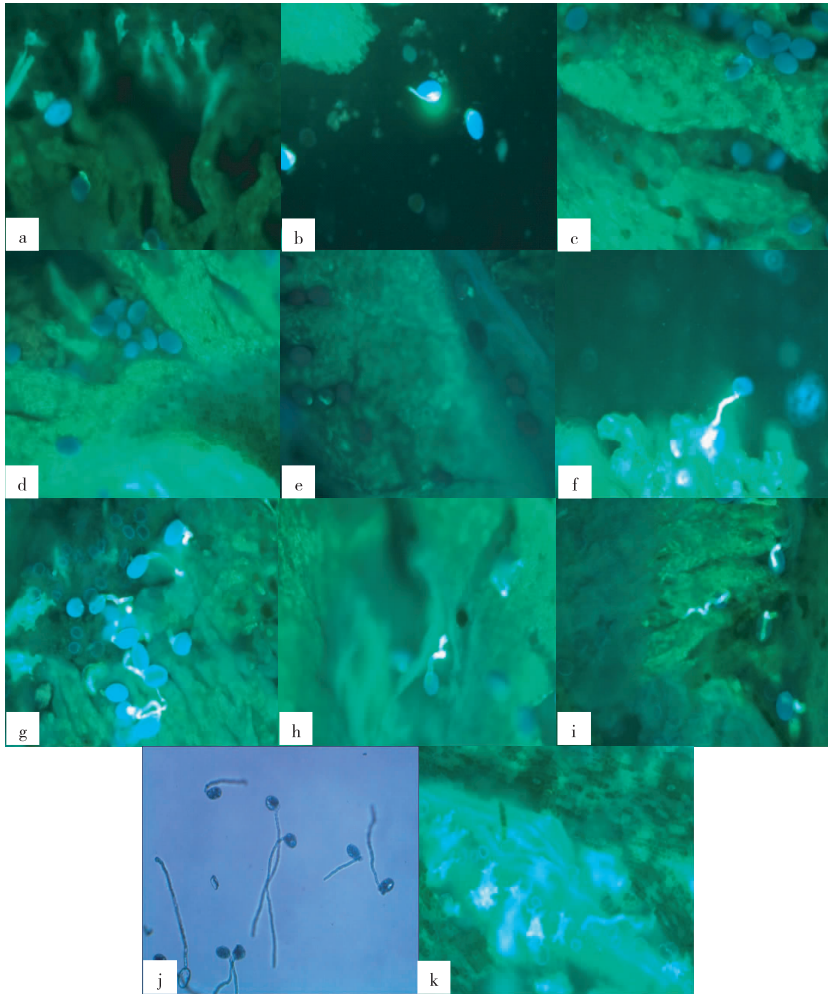
黏附到柱头上的花粉能否萌发是柱头-花粉相互作用的重要环节,荧光显微镜下观察到的萌发的花粉形态见图1(b)。对野生厚朴进行自花授粉后观察,结果发现其柱头可黏附的花粉数较多,但授粉后2~24 h内均没有萌发[图1(c)]。对同株异花授粉后的柱头观察发现,其柱头上的花粉数较多,部分花粉可以萌发[图1(d)~(i)],说明同株异花授粉的花粉-柱头亲和性比自花授粉的亲和性好。

#### 2.2.2 花粉管的萌发伸长

花粉管在柱头中的伸长情况可以反映花粉与柱头的亲和能力。正常情况下,花粉管通过乳突细胞的壁向下生长进入柱头,但在厚朴花粉管伸长的观察过程中发现,厚朴花粉在柱头上萌发率较高,但与离体萌发法培养的花粉相比,其萌发时间明显推迟。前期试验发现25℃条件下离体萌发法培养的盛花期的花粉多在培养后1.5~2 h时萌发,离体萌发法培养的花粉2 h时的萌发情况见图1(j)。而人工授粉后2 h荧光显微镜下柱头上多数花粉尚未萌发,仅有少数花粉开始萌发,其花粉管发出荧光,此时萌发的花粉粒伸出的花粉管很短,其长度不超过花粉粒的直径[图1(e)],4 h后,花粉管几乎停止伸长。由图1(f)~(i)可知,同株异花授粉后4、8、12和24 h时的花粉管长度在同一水平,花粉管在伸长过程中出现各种形态,多在乳突细胞表面就开始萌发,花粉管伸长过程中有的停止伸长,有的尖端膨大,有的在柱头表面扭曲缠绕,难以进入柱头

乳突细胞。同时,在花粉管开始萌发后,在其与柱头乳突细胞接触的部位观察到花粉管有胼胝质沉积,部分乳突细胞表面也会产生胼胝质[图 1(f) ~ (g)],胼胝质在荧光显微镜下发出黄绿色荧光。这

与许多学者研究结果<sup>[3,5,7]</sup>相同,这种胼胝质的形成阻碍了花粉管伸长及进入柱头。在极少量的压片中观察到花粉管进入花柱,花柱周围组织也产生了大量胼胝质[图 1(k)]



a—自然传粉条件下柱头上的花粉量少; b—野生厚朴花粉萌发时的形态; c—自花授粉后柱头上黏附的花粉;  
 d—同株异花授粉后柱头上黏附的花粉; e—授粉后 2 h 柱头上黏附的部分花粉开始萌发; f—授粉后 4 h 花粉管伸长, 部分花粉管末端膨大, 部分乳突细胞表面产生胼胝质; g—授粉后 8 h 的花粉管与 4 h 时相比停止伸长, 且部分花粉管尖端膨大, 部分花粉管在柱头表面扭曲生长; h—授粉后 12 h 的花粉管停止伸长, 部分进入花柱的花粉管生长扭曲; i—授粉后 24 h 的花粉管未继续伸长, 且多数末端膨大或生长扭曲; j—离体萌发法培养的盛花期的厚朴花粉培养后 2 h 时的萌发状态; k—花粉管进入花柱, 花柱周围产生大量胼胝质。

图 1 野生厚朴花粉萌发及花粉管生长过程的荧光显微观察

Fig. 1 Observation of pollen germination and pollen tube growth of wild *Magnolia officinalis* through fluorescence microscope

### 3 讨论

授粉后,花粉与柱头表面的乳突细胞发生水合作用,之后花粉黏附到柱头上,这是花粉与柱头相互识别反应的关键一步。黏附在柱头表面的花粉粒数量是评价两者亲和性的重要指标,可以反映其相互作用的强弱<sup>[7,15-19]</sup>。通过脱色苯胺蓝染色法

对厚朴花粉-柱头互作的研究表明,野生厚朴结实率低的原因之一是其授粉后存在严重的受精前障碍。自然条件下野生厚朴柱头黏附的花粉数量少,说明其缺乏传粉昆虫,人工对野生厚朴进行自花授粉后,黏附的花粉粒较多,但均不能萌发。DUMAS 等<sup>[20]</sup>认为 S 基因(当雌雄性器官具有相同的 S 基因时,交配不亲和,雌雄双方的 S 基因不同时交配则能

亲和)参与的雌蕊读出系统与雄性单位所携带的信息相互作用的第一阶段是黏附和水合,该阶段出现障碍表现在柱头黏附的花粉数量少或黏附的花粉不能正常萌发。对野生厚朴进行人工自花授粉后,虽然其柱头黏附了较多花粉,但均不能萌发,说明其花粉-柱头亲和性差。同株异花授粉的花粉可以萌发,但大多数花粉管在授粉后4 h 停止伸长,且花粉管生长过程中末端膨大或出现扭曲,说明花粉-柱头的亲和性较差,但从同株异花授粉柱头上花粉的萌发情况看,花粉萌发率较高,这与朱彤等<sup>[21]</sup>对大叶黄杨(*Euonymus japonicus*)花粉与柱头相互作用的研究结果相似。有学者认为无论柱头与花粉是否亲和,大量授粉后,花粉受“群体效应”的影响均容易黏附、水合并萌发<sup>[21-23]</sup>,该结论与Dumas的观点不一致,因此,花粉萌发是否能够证明花粉-柱头的亲和性仍需借助其他物种和其他手段,如分子手段进一步研究。

虽然野生厚朴柱头上黏附的花粉萌发率较高,但花粉萌发时间较花粉离体萌发法中的花粉萌发时间推迟,且部分萌发的花粉在其接触的乳突细胞表面产生胼胝质,阻碍了花粉管的穿行,花粉管无法顺利进入花柱完成受精。而SMITH<sup>[24]</sup>的研究表明,如果花粉与柱头间的亲和性强,花粉粒可以正常萌发且其尖端分泌的角质酶可分解柱头表面的角质层,进而进入花柱继续生长;若花粉不能正常地伸长,则说明野生厚朴花粉与柱头间的亲和性较弱,阻碍花粉管进入花柱。另外,花粉和柱头出现的其他不同程度的不亲和反应表现在柱头表面上伸长的花粉管出现扭曲、肿胀、结合和分枝等现象,这可能与胼胝质的产生有关。笔者试验中,有极少量的花粉管能够伸入到花柱中,推测可能是某些柱头尚未对花粉建立起有效的不亲和防御机制,少量花粉提早萌发并进入柱头,这与王爱云等<sup>[25]</sup>对诸葛菜(*Orychophragmus violaceus*)与芸薹属(*Brassica*)间花粉与柱头相互作用的研究结果一致,王爱云等认为油菜(*Brassica campestris*)柱头和诸葛菜花粉间严重不亲和,却能产生少量种子,可能是花粉管伸长过程中柱头未建立起防御机制。但笔者试验中即使这极少数未产生不亲和现象的花粉管可以进入柱头,花柱中也会出现不亲和反应现象,这与文献<sup>[26-27]</sup>报道的现象一致,这些形态和生物学上的原因可能共同导致授粉后厚朴结实率低。异柱异花授粉后花粉-柱头的亲和性、花柱中花粉管的伸长情况及其能否顺利到达子房进行受精目前尚不清楚,需要进一步研究,以便为提高人工授粉后植株

的受精率提供理论依据。

针对厚朴受精前障碍导致的物种濒危,必须采取一定措施克服花粉与柱头间的不亲和,可以通过试管受精、在柱头表面喷施生理活性物质、蕾期预授粉、重复授粉、花粉蒙导等方法<sup>[28-30]</sup>尝试克服厚朴受精前障碍。

#### 参考文献:

- [1] 洪德元,葛颂,张大明. 植物濒危机制研究的原理和方法 [C]//钱迎倩,甄荣德. 生物多样性研究进展. 北京:中国科技出版社,1995:125-133.
- [2] 胡颖,赵洁. 拟南芥有性生殖过程中花粉管生长及胚胎发育的形态特征[J]. 武汉大学学报:理学版,2006,52(2):241-246.
- [3] 顾翠花,王守先,王敏. 5个紫薇品种花粉萌发的荧光显微观察[J]. 福建林业科技,2011,38(3):92-95.
- [4] 刘红艳,赵应忠. 芝麻花粉附着、萌发与花粉管伸长过程研究[J]. 中国油料作物学报,2011,33(2):130-134.
- [5] 王文和,王树栋,赵祥云,等. 百合远缘杂交花粉萌发及花粉管生长过程观察[J]. 西北植物学报,2007,27(9):1790-1794.
- [6] 周坚,樊汝汉. 鹅掌楸属两种植物花粉品质和花粉管生长的研究[J]. 林业科学,1994,30(5):405-411.
- [7] 律春燕,王雁,朱向涛,等. 黄牡丹与芍药组间杂交花粉与柱头识别的解剖学研究[J]. 西北植物学报,2009,29(10):1988-1994.
- [8] 黄双全,郭友好,陈家宽. 濒危植物鹅掌楸的授粉率及花粉管生长[J]. 植物分类学报,1998,36(4):310-316.
- [9] 于华会,杨志玲,杨旭,等. 濒危药用植物厚朴 ISSR 引物筛选及反应条件的优化 [J]. 生态学杂志,2009,28(12):2445-2451.
- [10] 杨旭,杨志玲,王洁,等. 濒危植物凹叶厚朴的花部综合特征和繁育系统的研究[J]. 生态学杂志,2012,31(3):551-556.
- [11] 舒泉,杨志玲,段红平,等. 濒危植物厚朴种子萌发特性研究[J]. 中国中药杂志,2010,35(4):419-422.
- [12] 王洁,杨志玲,杨旭,等. 方位及冠层对厚朴果实和种子形态变异的影响[J]. 生态与农村环境学报,2012,28(4):385-388.
- [13] 罗峰,雷朝亮. 传粉甲虫的研究进展[J]. 昆虫知识,2003,40(4):313-317.
- [14] 胡适宜. 植物胚胎学实验方法:(五)检查花粉在柱头上萌发和花粉管在花柱中生长的制片法[J]. 植物学通报,1994,11(2):58-60.
- [15] ELLEMAN C J, DICKINSON H G. Pollen-Stigma Interactions in Brassica: IV. Structural Reorganization in the Pollen Grains During Hydration[J]. Journal of Cell Science,1986,80(1):141-157.
- [16] ZUBERI M I, DICHINSON H G. Pollen-Stigma Interaction in Brassica: III. Hydration of the Pollen Grains [J]. Journal of Cell Science,1985,76(1):321-336.
- [17] ZINKL G M, ZWIEBEL B I, GRIER D G, et al. Pollen-Stigma Adhesion in Arabidopsis: A Species-Specific Interaction Mediated by Lipophilic Molecules in the Pollen Exine [J]. Development,1999,126(23):5431-5440.
- [18] EDLUND A F, SWANSON R, PREUSS D. Pollen and Stigma Structure and Function: The Role of Diversity in Pollination [J].

The Plant Cell, 2004, 16(1): 584 - 597.

[19] LERSTEN N R. Pollination and Pollen-Stigma Interaction, in Flowering Plant Embryology: With Emphasis on Economic Species [M]. Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2008: 105 - 118.

[20] DUMAS C, KNOX R B, GAUDE T. Pollen-Pistil Recognition: New Concepts From Election Microscopy and Cytochemistry [J]. International Review of Cytology, 1984, 90(1): 239 - 272.

[21] 朱彤, 李文钊. 大叶杨基因组间杂交花粉-柱头相互作用的超微结构研究 [J]. 植物学报, 1988, 30(1): 14 - 20.

[22] PASCHKE M, ABS C, SCHMID B. Effects of Population Size and Pollen Diversity on Reproductive Success and Offspring Size in the Narrow Endemic *Cochlearia bavarica* (Brassicaceae) [J]. American Journal of Botany, 2002, 89(8): 1250 - 1259.

[23] JOHNSON S D, TORNINGER E, AGREN J. Relationships Between Population Size and Pollen Fates in a Moth-Pollinated Orchid [J]. Biology Letters, 2009, 5(2): 282 - 285.

[24] SMITH D. A Quantitative Comparison of Intersectional Hybrid Pod Parents [J]. Paeonia, 1995, 25(2): 3.

[25] 王爱云, 李柯, 胡大有. 诸葛菜与芸薹属间花粉与柱头相互作用的研究 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 32(3): 232 - 236.

[26] 张秦英, 罗凤霞, 刘莉, 等. 紫薇异型雄蕊花粉生活力研究 [J]. 园艺学报, 2008, 35(12): 1741.

[27] 蔡明, 孟锐, 潘会堂, 等. 紫薇属与散沫花属远缘杂交亲和性的研究 [J]. 园艺学报, 2010, 37(4): 637 - 642.

[28] THOMPSON K. Application of Recessive Self-Incompatibility to Production of Hybrid Rapeseed [C] // Proceedings of the 5th International Rapeseed Conference. Malmoe, Sweden: [ s. n. ], 1978: 56 - 59.

[29] EMSWELLER S L. The Role of Naphthalene Acetamide and Potassium Gibberellate in Overcoming Self-Incompatibility in *Lilium longiflorum* [J]. American Society of Horticultural Science, 1960, 75(1): 720 - 725.

[30] MATSUBARA S. Overcoming Self-Incompatibility by Cytokinin Treatment on *Lilium longiflorum* [J]. Botanical Magazine, 1973, 86(1): 43 - 46.

**作者简介:** 王洁 (1986—), 女, 山东淄博人, 硕士生, 主要从事药用植物濒危机制方面的研究。E-mail: wo153215@126.com

### 敬告读者 · 作者

中国学术期刊 (光盘版) 电子杂志社、中国科学文献计量评价研究中心和清华大学图书馆于 2012 年 12 月公布了 2012 年版《中国学术期刊影响因子年报》(以下简称《年报 2012》)。《年报 2012》的研制出版旨在科学合理地统计期刊的影响因子 (JIF)、即年指标、被引频次、被引半衰期、可被引文献量和网络下载率等计量指标, 以期客观、全面、规范、准确地反映期刊对知识创新的影响, 为总体评估科技期刊的学术质量提供参考。《中国学术期刊影响因子年报》是原《中国学术期刊综合引证报告》刊物的更名版。

复合影响因子学科排序前 10 位的环境科学技术类期刊见表 1。由表 1 可见, 本刊复合影响因子、期刊综合影响因子和基础研究影响因子学科排序分别为第 3、3 和 2 位, 复合他引影响因子、期刊综合他引影响因子和基础研究他引影响因子学科排序分别为第 3、2 和 1 位, 复合即年指标、期刊综合即年指标和基础研究即年指标学科排序分别为第 4、4 和 3 位, 说明本刊发表的论文在全国科技期刊界有一定影响力, 系国内比较重要的环境科学技术类期刊。

**表 1 复合影响因子学科排序前 10 位的环境科学技术类期刊**

序号	刊名	复合影响因子			期刊综合影响因子			基础研究影响因子		
		JIF	他引 JIF	即年指标	JIF	他引 JIF	即年指标	JIF	他引 JIF	即年指标
1	中国人口·资源与环境	2.768	2.592	0.183	1.643	1.467	0.144			
2	中国环境科学	2.349	1.676	0.226	1.725	1.052	0.176	1.632	0.959	0.157
3	生态与农村环境学报	<b>1.893</b>	<b>1.668</b>	<b>0.163</b>	<b>1.356</b>	<b>1.132</b>	<b>0.130</b>	<b>1.268</b>	<b>1.044</b>	<b>0.130</b>
4	环境科学研究	1.862	1.617	0.153	1.273	1.028	0.113	1.176	0.932	0.113
5	农业环境科学学报	1.814	1.574	0.170	1.258	1.019	0.134	1.211	0.971	0.131
6	长江流域资源与环境	1.738	1.515	0.116	1.125	0.902	0.104	0.938	0.715	0.087
7	环境科学学报	1.722	1.579	0.161	1.165	1.022	0.110	1.126	0.983	0.099
8	环境科学	1.717	1.427	0.136	1.159	0.869	0.100	1.121	0.831	0.098
9	生态环境学报	1.715	1.573	0.066	1.094	0.952	0.063	1.012	0.871	0.063
10	化工环保	1.340	0.710	0.086	1.073	0.443	0.086	0.954	0.324	0.070

文献来源: 中国学术期刊影响因子年报 (自然科学与工程技术); JIF 为影响因子。