

水稻生殖发育进程与小穗外部形态的对应关系

赵佳 姚家玲

华中农业大学生命科学技术学院, 武汉 430070

摘要 以粳稻品种中花 11 为材料, 对其雌蕊、雄蕊发育的细胞学进程与其相应的小穗外部形态进行分析, 获得了该品种雌雄蕊发育的大、小孢子母细胞、减数分裂、孢子形成和配子体发育等各个时期与颖花稃片长度的对应关系。随着稃片长度的不断增加, 其颜色逐渐由白色转为嫩绿色, 稃片最终长度达 6.4 mm 时, 雌蕊(胚囊)和雄蕊(花粉)发育成熟。同时还对中花 11 种子发育和颖果及稃片的形态学对应关系进行了分析, 总结了胚胎和胚乳发育进程与颖果及稃片长度和形态的关联性。颖果和稃片的发育呈阶段性的变化, 当胚囊授粉后 9 d 时, 颖果和稃片均发育伸长至 6.71、7.34 mm, 达到最大值后颖果和稃片不再伸长, 主要进行横向加宽发育, 直至成熟。

关键词 水稻; 生殖发育; 小穗外部形态; 对应关系

中图分类号 S 511.01 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2014)03-0001-06

水稻作为重要的谷类作物, 是人类主要的粮食来源之一, 其生殖发育过程与产量和品质直接相关。水稻的生殖包括雌、雄蕊的发育和果实(种子)的形成。近年来, 有关水稻花药、花粉发育以及遗传调控机制的研究取得了突出进展, 已经克隆和鉴定了多个控制水稻花药和花粉关键发育时期的基因, 如控制水稻花药绒毡层细胞程序性死亡的 *TDR* (tape-tum degeneration retardation) 基因^[1]、控制稻穗建成的 *PMM1* 基因^[2]、控制水稻花药表面结构角质和花粉外壁形成的关键基因 *CYP704B2* 等^[3-4]。有关水稻胚珠和胚囊发育的细胞学研究^[5]也有报道。唐建军等^[6]报道了雌性不育水稻“FS-1”胚囊败育主要发生在功能大孢子时期。代西梅等^[7]描述了水稻“IR36”胚囊的形成过程。龙文波等^[8]发现同源四倍体水稻的胚囊发生多种变异, 是导致其结实率低的主要原因之一。不过人们对水稻颖果(种子)发育的细胞学研究报道较少, 于晓刚等^[9]观察比较了粳稻品种“辽梗 294”和“盐丰 47”颖果的解剖结构差异。近年来人们鉴定了几个控制水稻种子发育的基因, 如控制胚胎发育的 *EML1*、*GLE*、*RAL* 和 *SH1* 基因和控制胚乳发育的 *ENL* 基因等^[10-13]。

虽然对水稻生殖发育有了基本认识, 但关于其

内部发育进程与生殖器官外部形态之间的对应关系尚缺乏研究。在水稻功能基因组研究中人们常常以粳稻品种 (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*) 中花 11 为转基因受体材料, 本研究对其雌、雄蕊和种子发育过程进行系统的细胞学观察, 重点探讨该水稻品种的生殖发育进程与器官外部形态的对应关系, 旨在为水稻生殖发育及其遗传分子机制的相关研究提供细胞学和形态学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试水稻品种为粳稻中花 11, 于 2012 年 6 月种植于华中农业大学水稻试验田内, 栽培管理同一般大田生产。

1.2 采样

从水稻孕穗后即幼穗分化的第 3 个时期开始取样, 取穗中部小花置于 FAA 固定液 ($V_{70\% \text{乙醇}} : V_{\text{乙酸}} : V_{\text{福尔马林}} = 18 : 1 : 1$) 中固定, 每个时期至少取 2 个单株的稻穗, 每 2 d 取样 1 次, 直到抽穗开花。取样的早期小花整体固定, 后期小花剥取花药和子房进行固定。在开花盛期, 用记号笔对正在开花的颖花进行点颖并挂牌标记日期, 分别取点颖当

收稿日期: 2013-04-19

基金项目: 国家自然科学基金项目(30971551)

赵佳, 硕士研究生, 研究方向: 植物生殖生物学, E-mail: jia.jia200910@163.com

通信作者: 姚家玲, 博士, 教授, 研究方向: 植物生殖发育生物学和资源植物, E-mail: yaojlm@mail.hzau.edu.cn

天及花后 1~10、14、21 d 的果实,材料取回后立刻对其进行体视镜下观察拍照并测量材料的长度,再将果实置于固定液中固定^[14-15]。

1.3 石蜡制片与观察

样品在 FAA 固定液中固定后,抽气机抽气 1 h。材料固定 24 h,用爱氏苏木精整染 1~3 d,蒸馏水漂洗、自来水返蓝,再经 30%、50%、70%、85%、95%、100%、100% 乙醇进行梯度脱水,每级 1.0~1.5 h。采用氯仿逐级透明(1/4、2/4、3/4、4/4)每级 1.0 h;于 37℃ 烘箱中浸蜡 2~3 d 后,采用制片石蜡进行包埋。用 LEICA 2150 切片机切片,切片厚度 8~10 μm ,中性树胶封片后用 Olympus BX61 正置显微镜(Olympus, Japan)明场下进行观察和拍照,图片经 Photoshop CS3 软件处理和排版。

2 结果与分析

2.1 雌雄蕊与颖花发育进程的对应关系

1) 胚珠和胚囊的发育。水稻雌蕊由柱头、花柱和子房三部分构成,子房中着生 1 个胚珠,其内的成熟胚囊由 1 个卵细胞、1 个中央细胞、2 个助细胞、3 个反足细胞构成。胚囊的发育经历 2 个阶段:大孢子的发生(图 1A-E)和雌配子体的发育(图 1E-H)。大孢子的发生需要经历大孢子母细胞的形成(图 1A-B)和减数分裂(图 1C-D)形成大孢子四分体(图 1D),而后合点端的 1 个大孢子发育为功能大孢子,近珠孔端的 3 个大孢子渐渐退化。这个功能大孢子是雌配子体的第 1 个细胞,随后经 3 次有丝分裂依次形成二核胚囊、四核胚囊(图 1F)和八核胚囊(图 1G),细胞化后形成七细胞八核的成熟胚囊(图 1H)。

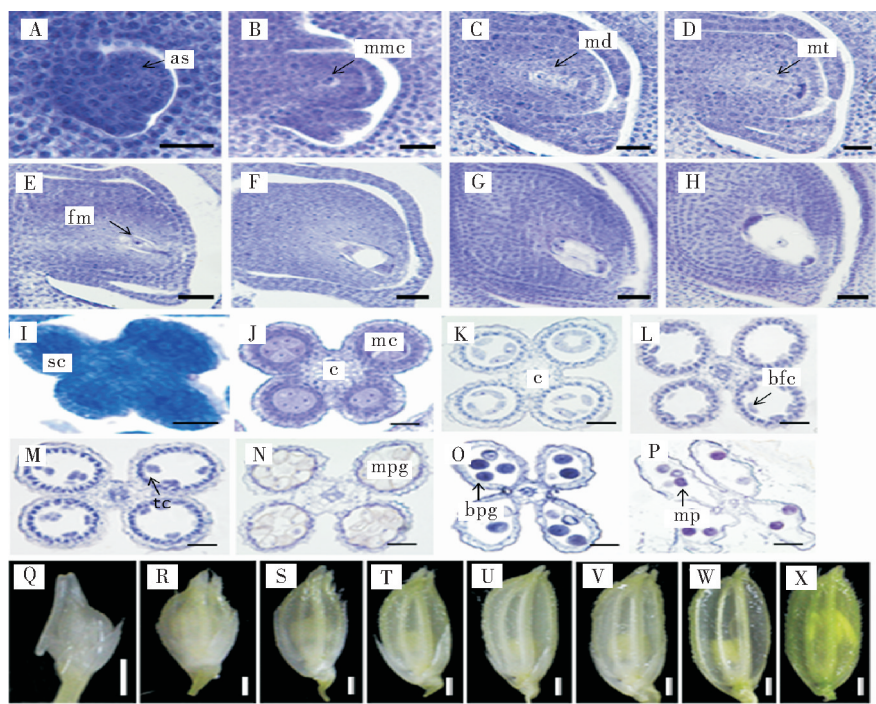
2) 花药和花粉的发育。雄蕊由花药和花丝两部分构成。早期花药壁由 4 层细胞组成,由外向内依次为表皮、药室内壁、中层、绒毡层(图 1I)。花药和花粉发育也经历两个过程,分别为小孢子的发生(图 1I-M)和雄配子体的发育(图 1N,P)。小孢子的发生分为小孢子母细胞的形成(图 1I-J)、减数分裂(图 1K-L)和小孢子四分体(图 1M)三个阶段,而雄配子的发生要经过 2 次有丝分裂(图 1N,P),分别形成二细胞花粉和三细胞(成熟)花粉。中花 11 花药壁层次随着花粉的发育出现一些变化,其中花药壁的中层细胞在花粉母细胞减数分裂时期逐渐降解退化(图 1L);花药壁的绒毡层细胞在单核花粉时期开始解体(图 1N),发育至二细胞花粉粒时期

(图 1O)已经完全退化;花药壁的药室内壁细胞在成熟花粉时期在细胞壁上出现纵向增厚带,转变成纤维层。

3) 雌、雄蕊发育进程与颖花的形态学对应关系。水稻的颖花(小花)从外到内依次由外稃、内稃、2 个浆片、6 个雄蕊和 1 个雌蕊(2 个心皮构成的复雌蕊)组成。由于稃片位于最外层,便于观察测量,因此,我们重点观测稃片形态和大小随雄蕊(花粉)和雌蕊(胚囊)发育进程而发生的变化。结果表明,随着雌雄蕊生长发育的进行,稃片的长度不断增加,其颜色也由最初的白色转为白色里透着淡黄色,至花药和胚囊发育成熟时变为嫩绿色(图 1Q-X)。我们对发育不同阶段的小花外稃的长度(纵向)进行了测量,把稃片长度和雌雄蕊发育进程的对应关系总结成表 1。当稃片的纵向长度小于 1.0 mm 时,雌雄蕊处于发育早期,分别为孢原细胞期和造孢细胞期;稃片长度在 1.0~1.5 mm 时,雌雄蕊中分别形成大孢子母细胞和小孢子母细胞;当稃片长度在 1.5~2.5 mm 时,大孢子母细胞发生第 1 次减数分裂,小孢子母细胞完成减数分裂形成小孢子二分体;当稃片长度在 2.5~3.0 mm 时,雌蕊中 4 个大孢子形成,雄蕊中小孢子四分体形成;当稃片长度伸长到 3.4 mm 左右时,雌蕊胚囊中的功能大孢子形成,雄蕊中四分体分开,形成单核花粉粒;稃片长度从 3.4 mm 伸长到 5.6 mm,雌蕊中的功能大孢子经连续有丝分裂,依次形成二核、四核、八核胚囊,雄蕊中的单核花粉粒经二核花粉粒发育为成熟花粉粒;稃片最终平均长度为 6.2 mm 时,胚囊发育成熟。

2.2 颖果发育过程的细胞学和形态学对应关系

1) 颖果中胚和胚乳的发育。水稻颖果由胚、胚乳、果皮和种皮 3 部分组成,本研究重点观察胚和胚乳的发育。受精后 1 d 的胚囊中珠孔端有近似球形的原胚正在发育,少量初生胚乳核分裂形成胚乳游离核(图 2A)。受精后 2 d 的胚囊(图 2B)中原胚呈球形,在其附近胚乳游离核较集中。受精后 3 d 的胚囊(图 2C)中,原胚由“球形”发育成“梨形”,胚囊腔壁处的胚乳游离核最先开始细胞化,胚乳细胞化进程由胚囊腔壁处沿向心方向逐渐向内推进。受精后 4 d(图 2D),胚的腹部分化出胚芽鞘,此时还有少量胚乳游离核未细胞化。受精后 5 d(图 2E),刚分化出的胚芽鞘尖端向下生长延长,苗尖下部胚芽鞘向上生长,两者有包围苗尖之趋势,此时盾片分化完成,胚根及胚根鞘已现雏形,胚乳细胞基本完成细胞



A:孢原细胞期; B:大孢子母细胞时期; C:大孢子二分体时期; D:大孢子四分体时期;E:功能大孢子时期; F:四核胚囊时期; G:八核胚囊时期; H:成熟胚囊; I:造孢细胞时期; J:小孢子母细胞时期; K: 减数分裂时期; L:小孢子二分体时期; M:小孢子四分体时期; N:单核花粉时期; O:二核花粉时期; P:成熟花粉时期; Q-X:小花发育进程外形; as:孢原细胞; mmc:大孢子母细胞; md:大孢子二分体; mt:大孢子四分体; fm:功能大孢子; sc:造孢细胞; c:药隔; mc:小孢子母细胞; bfc:小孢子二分体细胞; tc:小孢子四分体细胞; mpg:单核花粉; bpg:双核花粉粒; mp:成熟花粉粒。A-H 标尺为 30 μm ; I-P 标尺为 20 μm ; Q-S 标尺为 400 μm ; T-X 标尺为 1 000 μm 。A:Archesporial cell stage; B:Megaspore mother cell stage; C:Megaspore dyad stage; D:Megaspore tetrad stage; E:Functional megaspore stage; F:Four-nucleate embryo sac stage; G:Eight-nucleate embryo sac stage; H:Mature embryo sac stage. I:Sporogenous cell stage; J:Microspore mother cell stage; K:Meiosis stage; L:Microspore dyad stage; M:Microspore tetrad stage; N:Mononuclear pollen stage; O:2-Cell pollen grain stage; P:Mature pollen grain stage. Q-X:The development of Zhonghua11 spikelet. as:Archesporial cell; mmc:Megaspore mother cell; md:Megaspore binary fission; mt:Megaspore tetrad; fm:Function megaspore; sc:Sporogenous cell; c:Connective of anther; mc:Microsporocyte microspore mother cell; bfc:Microspore binary fission; tc:Microspore tetrad; mpg: Mononuclear pollen grains; bpg:Binucleate pollen grains; mp:Mature pollen grains. A-H:Bar=30 μm ; I-P:Bar=20 μm ; Q-S:Bar=400 μm ; T-X:Bar=1 000 μm .

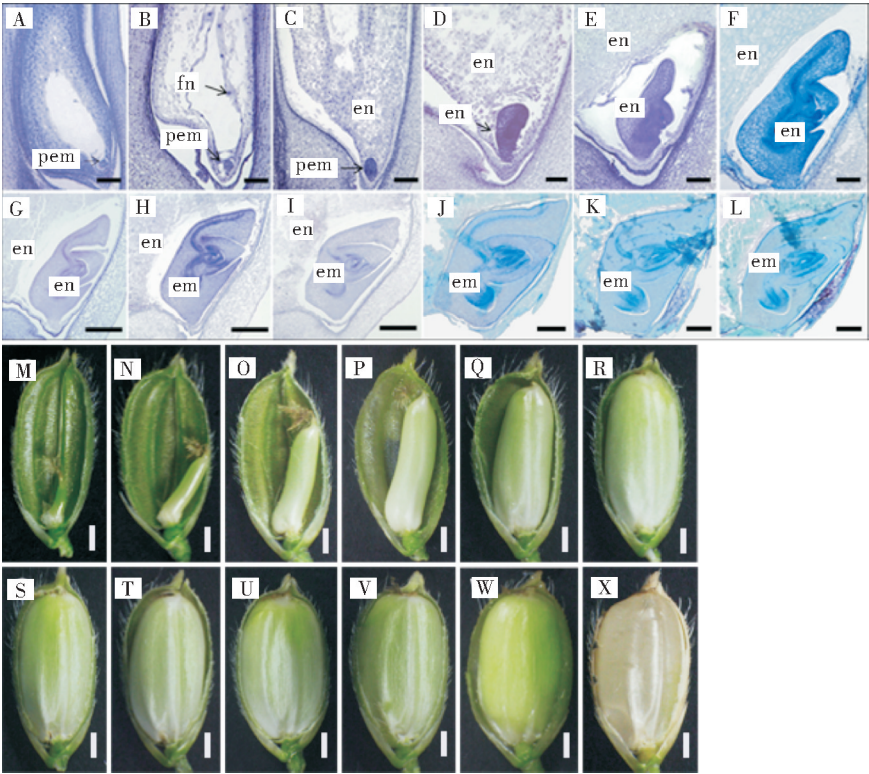
图 1 中花 11 胚囊、花药的发育进程与对应时期颖花的形态

Fig. 1 The development process of embryo sac,anther and their corresponding florets morphology of Zhonghua 11

表 1 中花 11 雌蕊、雄蕊发育和稃片长度对应关系

Table 1 The relevance between development of pistil,stamens and glumes length of Zhonghua 11

稃片长度/mm Glumes length	雌蕊(胚囊)发育时期 The developmental stage of pistil(embryo sac)	雄蕊(花粉)发育时期 The developmental stage of stamens(anther)
0.6~1.0	孢原细胞时期 Archesporial cell stage	造孢细胞时期 Sporogenous cell stage
1.0~1.5	大孢子母细胞时期 Megaspore mother cell stage	小孢子母细胞 Microspore mother cell stage
1.5~2.5	大孢子母细胞第一次减数分裂 meiosis for the first time	小孢子二分体形成 Microspore dyad formation
2.5~3.0	大孢子母细胞第二次减数分裂,4 个大孢子形成 Megaspore mother cell the second meiotic division, four big sporulation	小孢子四分体形成 Microspore tetrad formation
3.0~3.4	近珠孔端 3 个大孢子退化,功能大孢子形成 The degeneration trace of three megaspores close to micropyle, form function megaspore	单核花粉粒形成 Mononuclear pollen grain formation
3.4~4.5	经二核胚囊形成四核胚囊 After two nuclear embryo sac, four nuclear embryo sac formation	二核花粉粒形成 Two nuclear pollen grain formation
4.5~5.6	八核胚囊形成 Eight-nucleate embryo sac formation	成熟花粉粒 Mature pollen grains
5.6~6.2	成熟胚囊 Mature embryo sac	成熟花粉粒 Mature pollen grains



A-L: 颖果的纵切面, A-J 分别为受精后 1~10 d 的果实, K, L 分别为受精后 14、21 d 的果实; M-V: 受精后 1~10 d 的果实, W, X: 受精后 14、21 d 的果实。pem: 原胚; en: 胚乳; em: 胚胎。A-C, G-I 的标尺: 100 μ m, D-F 标尺: 50 μ m, J-K 标尺: 150 μ m, M-X 标尺: 1.5 mm。A-L: Longitudinal of caryopsis; A-J: The caryopsis of 1-10 DAP; K, L: The caryopsis of 14, 21 DAP; M-V: The caryopsis of 1-10 DAP; W, X: The caryopsis of 14, 21 DAP. pem: Proembryo; en: Endosperm; em: Embryo. A-C, G-I: Bar=100 μ m, D-F: Bar=50 μ m, J-K: Bar=150 μ m, M-X: Bar=1.5 mm.

图 2 中花 11 胚胎和胚乳的发育进程与对应时期颖果的形态

Fig. 2 The development process of embryo, endosperm and their corresponding caryopsis morphology of Zhonghua 11

表 2 中花 11 种子发育与颖果和稃片长度的对应关系

Table 2 The relevance between seed development and glumes development, the length of glumes of Zhonghua 11

受精后天数/d Fertilization days	胚胎发育 Embryonic development	胚乳发育 Endosperm development	颖果长度/mm Caryopsis length	稃片长度/mm Glumes length
1	近球形原胚 Nearly spherical proembryo	初生胚乳细胞 Primary endosperm cell	1.69±0.02	6.13±0.07
2	球形原胚 Spherical proembryo	出现胚乳游离核 Free nuclear endosperm	3.11±0.04	6.24±0.02
3	梨形原胚 Pear-shaped proembryo	形成胚乳细胞 Form endosperm cells	4.05±0.05	6.35±0.06
4	胚芽鞘凹内 Coleoptile concave inside	基本细胞化 Basic cellular	4.93±0.06	6.39±0.02
5	盾片分化完成, 出现胚根 Scutellum differentiation, radicle appear	完成细胞化 Complete the cellular	5.65±0.03	6.61±0.03
6	胚芽鞘包围苗尖 Coleoptile surrounded by blade tip	充满胚囊腔 Full of embryo sac chamber	5.95±0.04	6.67±0.04
7	形成第一幼叶 Form the first younger leaves	充满胚囊腔 Full of embryo sac chamber	6.01±0.02	6.73±0.03
8	形成第二幼叶 Full of embryo sac chamber	开始积累淀粉 Begin to accumulate starch	6.33±0.05	6.82±0.02
9	幼叶伸长 Younger leaves elongation	积累贮藏物质 Accumulation of storage material	6.68±0.03	7.30±0.04
10	各结构分化完成 The completed structure differentiation	充实积累 Enrich the accumulation	6.18±0.01	6.86±0.05
14	生理成熟 Physiological maturity	生理成熟 Physiological maturity	5.92±0.03	6.50±0.02
21	生理成熟 Physiological maturity	生理成熟 Physiological maturity	5.32±0.05	5.63±0.03

化过程。受精后 6 d(图 2F), 上下方胚芽鞘合拢, 叶原基出现, 胚根及胚根鞘结构清晰可见, 胚乳细胞继续分裂, 充满胚囊内部空间。受精后 7 d(图 2G), 第 1 幼叶形成。受精 8 d(图 2H)、9 d(图 2I)后, 第 2 幼叶生成, 此时胚乳细胞开始积累淀粉。受精后 10 d(图 2J), 胚各部分基本分化完成, 胚乳细胞中的贮藏物质继续充实积累。授粉后 11~21 d, 胚胎(图 2K, L)的各部分继续生长至胚胎“生理成熟”(此时如播种可长成幼苗), 其间形态并无太大变化。

2) 种子发育进程与颖果及稃片长度和形态的对应关系。水稻子房受精后迅速膨大、充实成为颖果。受精后 1~21 d, 颖果大小和颜色均呈现阶段性的变化。在受精后 1~6 d 时, 颖果生长速度快, 最快达每天纵向伸长 1.44 mm(表 2)(图 2M-R), 但稃片伸长不明显(表 2)。受精后 7~8 d, 颖果伸长速度变缓, 至受精后 9 d(图 2U)时, 颖果和稃片都发育伸长至最大值, 分别是 6.68 mm 左右和 7.30 mm 左右(图 2S-T)(表 2)。受精后 10~21 d(图 2V-X), 颖果不再伸长, 主要进行横向加宽。颖果颜色从最开始几近透明的嫩绿色逐渐变浅变白, 继而转为不透明的淡绿色, 至颖果成熟时, 果皮呈现半透明的米白色(图 2X)。

3 讨 论

本研究对水稻品种中花 11 的雌雄蕊和颖果发育过程的细胞学观察结果显示, 该品种花粉和胚囊发育时期及细胞形态与其他水稻品种一致^[9, 12, 16-19], 经历大、小孢子母细胞、减数分裂、孢子形成和配子体发育阶段, 分别形成成熟胚囊和花粉粒^[4, 20-21]。其种子发育过程包括胚胎的原胚和分化阶段, 最后形成典型的禾本科植物成熟胚, 由初生胚乳核经历胚乳游离核和细胞化之后形成大量的淀粉胚乳^[12]。植物的雌雄蕊在花中孕育, 花被的大小和形态会伴随着内部性细胞的生长发育进程而发生变化, 因此, 研究植物花蕾或花朵的形态大小与雌雄蕊发育进程的对应关系, 可以为生殖发育研究提供较为直观的形态学依据。本研究探讨了水稻品种中花 11 的雌雄蕊发育进程与颖花的稃片长度和形态之间的对应关系, 结果显示可以通过观测水稻颖花大小和形态来判断雌雄蕊发育时期与进程。本研究结果表明, 水稻颖花的稃片在受精前基本定型, 受精后在纵向上伸长不明显, 但有一定程度的横向加宽, 本研究总结了颖果长度和其内胚胎发育时期的对应关系, 可

以通过颖果大小来判断种子发育时期和进程。本研究可为水稻生殖发育及其遗传分子机制的相关研究提供细胞学和形态学依据。

参 考 文 献

- [1] LI N N, ZHANG D S. The rice tapetum degeneration retardation gene is required for tapetum degradation and anther development[J]. *Plant Cell*, 2006, 18(11): 2999-3014.
- [2] 李雪梅, 何宗顺, 吴昌银, 等. 水稻穗形态建成基因 *PMM1* 的遗传分析与初步定位[J]. *华中农业大学学报*, 2012, 31(1): 10-15.
- [3] LI H, ZHANG P, CHEN L, et al. Cytochrome P450 family member CYP704B2 catalyzes the ω -hydroxylation of fatty acids and is required for anther cutin biosynthesis and pollen exine formation in rice[J]. *Plant Cell*, 2010, 22(1): 73-90.
- [4] DING J H, LU Q, OUYANG Y D, et al. A long noncoding RNA regulates photoperiod-sensitive male sterility, an essential component of hybrid rice[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2012, 109(7): 54-59.
- [5] 李贵杰. 水稻花药发育的细胞形态学精细分期[J]. *重庆师范大学学报*, 2011, 28(3): 56-59.
- [6] 唐建军, 陈欣, 胡启东. 水稻雌性不育材料 FS-1 胚囊败育的细胞学观察[J]. *实验生物学报*, 2002, 35(4): 312-318.
- [7] 代西梅, 黄群策, 秦广雍, 等. 水稻胚囊发育过程中特异类型的共聚焦显微镜观察[J]. *华北农学报*, 2006, 21(6): 26-29.
- [8] 龙文波, 王兴, 陈英, 等. 同源四倍体水稻变异胚囊分类及结实性影响因素[J]. *应用与环境生物学报*, 2009, 15(1): 21-27.
- [9] 于晓刚, 张文忠, 韩亚东, 等. 梗稻颖果石蜡切片中染色时间的摸索及其解剖结构的观察[J]. *作物杂志*, 2010, 138(5): 80-83.
- [10] 林文雄, 李忠, 陈军, 等. 水稻籽粒灌浆的发育遗传与分子生态特性研究[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(6): 1237-1242.
- [11] NAGASAKI H, ITOH J, HIBARA K, et al. The small interfering RNA production pathway is required for shoot meristem initiation in rice[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2007, 104(37): 67-71.
- [12] YIN L L, XUE H W. The MADS29 transcription factor regulates the degradation of the nucellus and the nucellar projection during rice seed development[J]. *Plant Cell*, 2012, 24(3): 49-65.
- [13] LIU X, FU J, GU D, et al. Genome-wide analysis of gene expression profiles during the kernel development of maize (*Zea mays* L.)[J]. *Genomics*, 2008, 91(4): 378-387.
- [14] KURATA N, MIYOSHI K, NONOMURA K, et al. Rice mutants and genes related to organ development, morphogenesis and physiological traits[J]. *Plant Cell Physiol*, 2005, 46(1): 48-62.
- [15] WANG N, HUANG H, REN S, et al. The rice wall-associated receptor-like kinase gene OsDEES1 plays a role in female gametophyte development[J]. *Plant Physiol*, 2012, 160(2): 696-707.

[16] 程馨妍,裴荣,姚家玲. 水稻 PcG 类基因 OsEMF2b T-DNA 插入杂合突变体的细胞学研究[J]. 华中农业大学学报,2013,32(1):1-8.

[17] 陈义芳,顾蕴洁,王忠. 4 个不同粒重水稻品种颖果发育的比较[J]. 中国水稻科学,2009,23(4):405-413.

[18] NONOMURA K,MIYVO A,MOROHOSHI A,et al. A germ cell specific gene of the ARGONAUTE family is essential for the progression of premeiotic mitosis and meiosis during sporogenesis in rice[J]. Plant Cell,2007,19(8):83-94.

[19] LIU C,XI W,SHEN L,et al. Regulation of floral patterning by flowering time genes[J]. Dev Cell,2009,16(5):711-722.

[20] LI H,LIANG W,YIN C, et al. Genetic interaction of OsMADS3, DROOPING LEAF, and OsMADS13 in specifying rice floral organ identities and meristem determinacy[J]. Plant Physiol,2011,156(1):263-274.

[21] KOMIYA R,YOKOI S,SHIMAMOTO K. A gene network for long-day flowering activates RFT1 encoding a mobile flowering signal in rice[J]. Development,2009,136(20):43-50.

Relevance between reproductive development and spikelet morphology in rice (*Oryza sativa* L.)

ZHAO Jia YAO Jia-ling

College of Life Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

Abstract In order to explore the relevance of cytological events of pistil and stamen development to the morphology of spikelet lemma in rice, series of observation were made using japonica rice Zhonghua 11 as material. Length of spikelet lemma corresponding to gametophyte development stage, such as male and female mother cell stage, meiosis stage, spore formation was statistically analyzed. The relevance of caryopsis morphology and lemmas length to the inner developmental stage of embryo and endosperm was investigated. The results provided a simple ocular reference to ascertain the reproductive developmental stage of pistil, stamen and seed in rice. It will benefit the research about reproductive development and molecular mechanism in rice.

Key words *Oryza sativa* L. ; reproductive development; spikelet morphology; relevance

(责任编辑:张志钰)