

文章编号: 1674-7054(2016)03-0325-07

不同水深条件对普通野生稻及其 转基因水稻杂种 F_1 的影响

张若依云¹, 何美丹¹, 李 栋¹, 袁睿智¹, 李 润¹, 袁潜华¹, 裴新梧²

(1. 海南大学 农学院, 海口 570228; 2. 中国农业科学院 生物技术研究所, 北京 100081)

摘 要: 通过研究不同水深条件下海南普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff) 及其转 *bar* 基因水稻杂种 F_1 (简称“Bar 野杂种 F_1 ”) 的农艺性状等指标的变化情况, 分析水深条件对 Bar 野杂交后代适应性的影响。结果表明, Bar 野杂种 F_1 种子活力总体高于普通野生稻; 在生物量方面, 水深为 10 cm 时, 野生稻总体生长优势明显, 且随水深升高, 野生稻和 Bar 野杂种 F_1 生物量均有不同程度的下降; 野生稻在各水深条件下株高普遍高于 Bar 野杂种 F_1 , 而水深对各品种的剑叶面积无显著影响。对比本实验与模拟野生稻原生境中的杂草生长情况, 结果表明, 深水对杂草生长的抑制作用明显。

关键词: 水深; 普通野生稻; 转基因水稻; *bar*; 杂种 F_1

中图分类号: S 511

文献标志码: A

DOI: 10.15886/j.cnki.rdswwb.2016.03.008

转基因技术在农业、环保、食品等领域的应用, 引发了深远的产业变革。在作物应用方面, 全世界转基因作物商业化种植面积得以迅速增长。从 1996 年到 2015 年, 全球转基因作物的种植面积从最初的 170 万 hm^2 , 增加至 1.797 亿 hm^2 , 增长了 100 多倍, 发展速度可谓迅猛, 20 年间全球转基因作物累计种植面积达到空前的 20 亿 hm^2 , 这使生物技术成为近 20 年应用最快的技术^[1]。水稻作为全世界最重要的粮食作物之一, 已在转基因方面进行了大量的试验研究, 转抗虫、抗病、抗除草剂等基因的转基因水稻已选育成功, 其中转 Bt 抗虫转基因水稻已经获得在湖北省应用的安全证书^[2]。由转基因水稻商品化引发的转基因对于环境的影响, 尤其是对野生近缘植物的影响受到了全球范围的关注^[3-7], 转基因通过基因飘流至相关近缘野生种后是否会产生生态风险或后果, 是目前关注和研究的热点之一, 也是转基因作物能否商业化应用的重要前提^[8]。普通野生稻(*Oryza rufipogon*) 作为普通栽培稻(*Oryza sativa*) 的祖先, 在漫长的进化过程中, 由于复杂的生态环境等条件的作用使其形成了极其丰富的遗传多样性。野生稻蕴含的对各种病虫害的抗性基因和非生物逆境的耐性基因以及高产优质等优良基因, 对栽培稻品种的改良具有重要意义, 为发展稻作育种提供了重要的物质基础。普通野生稻与栽培稻同属 AA 型基因组, 亲缘关系较近且杂交亲和力高, 易产生基因飘流^[4,7]。大量研究表明, 栽培稻与多数具有 AA 基因组的野生稻杂交结实率都近于或大于 10%, 而栽培稻与多年生或一年生普通野生稻的杂种 F_1 的自交结实率都在 11% 以上, 如果同域种植, 转基因通过基因飘流进入普通野生稻群体将不可避免^[7-13]。因此, 转基因向普通野生稻发生基因飘流形成转基因杂种 F_1 之后, 其在野生稻群体中的生长、繁殖以及随世代的变化特性、转基因飘流后代的环境适应性问题, 是迫切需要研究的问题, 研究结论将有利于正确评价转基因水稻通过基因飘流对野生近缘植物的影响。转基因向普通野生稻发生基因飘流形成的转基因杂种 F_1 , 将在一段时间内

收稿日期: 2016-03-17

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201403075); 转基因生物新品种培育科技重大专项(2014ZX08011-001)

作者简介: 张若依云(1991-), 女, 海南大学农学院 2013 级硕士研究生. E-mail: zhangryy@foxmail.com

通信作者: 袁潜华(1963-), 男, 研究员. 研究方向: 转基因安全评价和作物遗传育种. E-mail: qhyuan@163.com;

裴新梧(1963-), 男, 研究员. 研究方向: 农业生物技术和转基因安全评价. E-mail: peixw@126.com

与野生稻群体共存,因此,转基因杂种 F_1 与普通野生稻在营养生长和生殖生长方面的差异及环境条件的影响,决定了转基因杂种 F_1 在普通野生稻群体中的适应性。普通野生稻主要存在于类似沼泽或湿地的积水生态环境中,发生基因飘流之后的转基因杂种 F_1 ,在不同水深条件下的营养特性和生殖特性将直接影响其在普通野生稻群体中的生存和延续。为此,笔者从生物量、株高、剑叶面积等农艺性状方面研究水深条件对普通野生稻及其转基因水稻杂交后代适应性的影响,旨在为转基因水稻向野生稻漂移后代生存竞争力评估提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料 野生稻材料为海南普通野生稻(*Oryza rufipogon* Griff) 万宁居群(编号为 WTA) 和东方居群(编号为 WTB),以上 2 种野生稻分别采自各自的野生稻原生境生长地,并栽种在海南大学农学院海口试验基地,2013-11-15 套袋,2013-12-10 收获种子,晒干后放置于种子库中贮藏。转基因水稻材料为转 *bar* 基因(bialaphos resistance gene) 抗除草剂水稻品种 B9,其抗除草剂特性及农艺性状基本稳定。

1.2 人工杂交和杂交 F_1 代种子的获得 在转基因水稻及普通野生稻盛花期,以转基因水稻 B9 为父本、万宁和东方居群野生稻为母本进行人工杂交并套袋,采用温汤去雄并结合剪颖法^[4] 进行人工辅助授粉,当普通野生稻开花时,将稻穗放入 45 °C 的温水中浸泡 5 min 杀死雄蕊,并剪去颖壳的 1/3 便于接受花粉,然后采集转基因父本花粉进行人工授粉,杂交完成后套袋并用小竹竿固定,约 30 d 收获杂交种子,并分别编号为 F1A 和 F1B。收获的种子放入低温干燥种子库中贮藏。

1.3 野生稻种子、Bar 野杂种 F_1 种子的发芽势和发芽率测定 每种供试材料种子随机取 50 粒,每种材料 3 个重复,以 75% 酒精消毒 5 min,用蒸馏水冲洗后,进行下列处理:① 在蒸馏水中浸泡 24 h(相当于普通水稻的浸种过程);② 将水稻壳剥除后在蒸馏水中浸泡 24 h;③ 在 100 mg · L⁻¹ 的 GA 中浸泡 24 h,再用蒸馏水冲洗 2~3 遍;④ 在 0.1 mol · L⁻¹ 的 HNO₃ 中浸泡 24 h,再用蒸馏水冲洗 2~3 遍。之后将种子均匀放在垫有 2 张湿润滤纸的培养皿中,50 粒/皿,在(30 ± 1) °C 的恒温光照培养室内萌发。分别在第 3 天和第 7 天检查种子萌发情况。按照《农作物种子检验规程:发芽试验(GB/T 3543.4-1995)》^[5] 计算相应的发芽率和发芽势。

1.4 生物量的测定 于 2015-01-20 育秧,将经过浸种、催芽的普通野生稻和 Bar 野杂种 F_1 代种子分别均匀撒入独立的育秧田中。待秧苗生长至约 30 cm(播种后约 45 d),选取生长健壮、大小一致的秧苗进行移栽。移栽的株行距为 30 cm × 30 cm,每种材料 20 株,每种材料之间间隔 50 cm。试验共设 5 个水深处理:① 0 cm 无明显水层(湿润状态);② 5 cm;③ 10 cm;④ 20 cm;⑤ 30 cm。

移栽 90 d 后,收获野生稻及 Bar 野杂种 F_1 代植株,每个处理每种材料随机选 3 株齐根割下,带回实验室处理。将野生稻及 Bar 野杂种 F_1 代的叶、茎、穗分开,置于烘箱中经 105 °C 杀青 30 min 后,再进行 85 °C 烘干至恒重称重。

1.5 株高及剑叶面积的测定 收获植株前,田间每小区每种材料定点 3 株,记录各小区植株的株高及剑叶长宽。普通野生稻相关性状按照《野生稻种子资源描述规范和数据标准》中的规定进行测量和描述。剑叶面积的计算公式为:剑叶面积 = 长 × 宽 × 0.75。

1.6 杂草情况调查 收获植株前,观察田间杂草生长情况并记录,收获时,以野生稻或 Bar 野杂种 F_1 代植株为中心,将半径 20 cm 圆内的杂草齐根割下,带回实验室烘干,称重。

在模拟野生稻原生境保护基地,将种有野生稻的区域按照水深分为 4 个小区,分别为① (5 ± 2) cm;② (10 ± 2) cm;③ (20 ± 2) cm;④ (30 ± 2) cm。每小区随机采 3 个点,每点样方面积为 0.25 m² (0.5 m × 0.5 m),记录杂草的种类,记录后将野生稻及杂草齐根割下后带回实验室,置于烘箱中经 105 °C 杀青 30 min 后,再 85 °C 烘干至恒重称重。

1.7 数据处理 试验获得的数据采用 Microsoft Excel 和 SPSS22.0 进行分析。

2 结果与讨论

2.1 种子发芽势与发芽率 由图 1A 和图 1B 可以看出,海南普通野生稻东方居群(WTB) 种子经过蒸馏

水处理的发芽势与发芽率分别为 44.7% 和 56.7%, 万宁居群 (WTA) 种子发芽势与发芽率分别为 88.0% 和 91.3%, 可见不同居群野生稻种子发芽势和发芽率差异显著。比较经过蒸馏水处理的 Bar 野杂种 F_1 种子与野生稻发芽能力的研究表明, 转基因水稻 B9 与野生稻东方居群杂种 F_1 (F1B) 种子发芽势和发芽率显著高于相应的野生稻种子, 分别为 76.7% 和 82.0%。而 B9 与万宁居群杂种 F_1 (F1A) 的种子发芽势和发芽率为 78.7% 和 82%, 比 WTA 略低, 但两者间无显著差异。

比较对种子的 4 个不同处理 (图 1B), 经过脱壳的野生稻和 Bar 野杂种 F_1 的种子发芽率最高, 而经过 GA 和 HNO_3 处理的种子发芽率则比脱壳处理的略低, 但经过这 3 种处理的种子发芽率都比蒸馏水处理的要高, 说明对种子脱壳、GA 处理、 HNO_3 处理均能提高种子发芽率, 其中脱壳处理的效果最好。

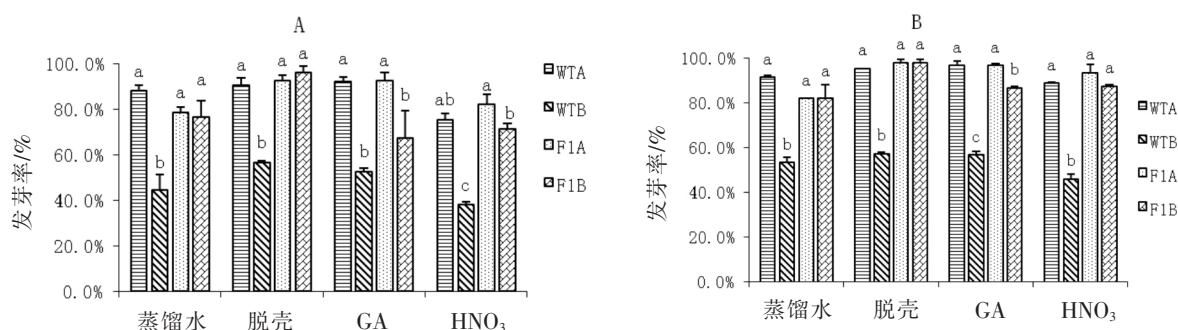


图 1 4 种处理对普通野生稻及其 Bar 野杂种 F_1 发芽势和发芽率的影响

不同字母表示品种间的差异显著性 ($P < 0.05$)

Fig. 1 The effect of four kinds of treatments on germinative energy and germination rate of common wild rice and F_1 hybrids
Different letters mean significant difference in species ($P < 0.05$)

2.2 不同水深条件下普通野生稻与 Bar 野杂种 F_1 代生物量的比较 从图 2A 可知, 在水深为 0 cm 时 (即土壤湿润条件下), F1A 叶干质量 (18.76 g) 显著高于 WTA (6.22 g); 在 10 cm 水深条件下, WTA 和 F1A 叶干质量分别为 10.14 g 和 7.05 g, 分别显著高于 WTB 和 F1B, 且 WTA 显著高于 F1A, WTB 显著高于 F1B; 水深 20 cm 条件下, WTA 和 F1A 叶干质量分别为 7.62 g 和 8.54 g, 显著高于 WTB 和 F1B, 而野生稻与 Bar 野杂种 F_1 的叶干质量没有显著差异。

从图 2B 可知, 湿润条件 (水深 0 cm) 下, F1A 的茎干质量为 14.23 g, 显著高于其他 3 种供试材料; 水深 5 cm 时, WTB 茎干质量显著高于其他 3 种供试材料, 且比其他 4 个水深条件下的茎干质量都要高; 水深 10 cm 条件下, WTA 茎干质量为 7.45 g, 显著高于 WTB, F1A 及 F1B, 同时高于其他 4 种水深条件下的茎干质量; 但在水深 20 cm 和 30 cm 条件下, 2 个居群的普通野生稻分别与其相应 Bar 野杂种 F_1 的茎干质量没有显著差异。

从图 2C 可知, 不同水深条件对穗干质量的影响与对茎干质量的影响相似, 但在水深为 20 cm 和 30 cm 时, F1A 显著高于其他 3 种材料, 尽管如此, 其穗干质量依然显著低于 0 cm 水深条件。

比较植株整株的生物量 (图 2D), 发现随着试验水层由浅变深 (0 ~ 30 cm), 野生稻万宁居群的总生物量先小幅上升而后下降, 但总体呈现下降趋势, 在水深为 10 cm 时达到最大值后下降到最低, 而其各部分干质量也有类似的趋势。野生稻东方居群的总生物量同样随着水深由浅到深, 总生物量总体呈现下降趋势, 不同的是其总干质量在水深 5 cm 时即达到最大。与普通野生稻相比, Bar 野杂种 F_1 随水层深度变化其总生物量的表现明显不同, F1A 在土壤湿润条件下的总干质量为最大 (40.26 g), 且显著高于其他 3 个参试材料; 而当水深为 5 cm 时, 其总干质量迅速下降为 14.79 g, 之后随着水层厚度的加深, F1A 的总干质量基本维持在 12.2 g 左右, 其叶、茎、穗等器官部分干质量在水深的影响下表现出的相同趋势。水深对 F1B 的总生物量的影响与 F1A 相似, 水深 0 cm 时, 总干质量为 17.14 g, 随着水深升高, 总干质量下降, 而不同的是 F1B 在 10 cm 时, 总干质量迅速降为 5.26 g, 从水深 10 cm 开始, 其总干质量维持在 5.6 g 左右。

综上所述, 笔者发现普通野生稻生物量随着水层深度的升高 (0 ~ 30 cm), 总体上呈现先略升高后下

降的趋势,生物量最大值出现在湿润或浅水层的条件下;而 Bar 野杂种 F_1 的生物量则是随着水层深度的提高而下降,且在水层深度提高时,下降速度较快。在土壤湿润(0 cm)条件下,Bar 野杂种 F_1 具有显著的生长优势,而在水层深度 5~10 cm 时,普通野生稻生长优势明显。由此可见,保持一定的水层深度对 Bar 野杂种 F_1 的生长具有一定的抑制作用。

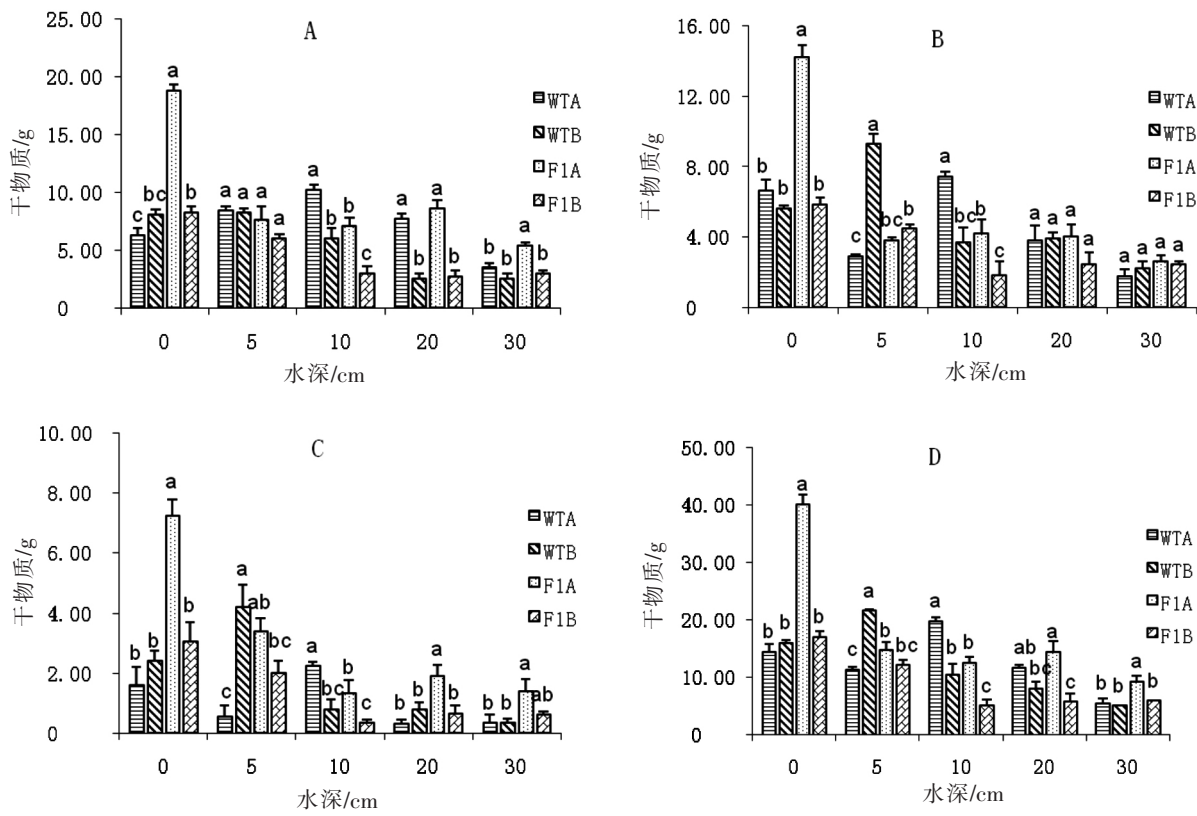


图2 水深对普通野生稻与 Bar 野杂种 F_1 代生物量的影响

Fig.2 Effect of water depth on biomass of common wild rice and F_1 hybrids

表1 不同材料的株高及剑叶面积

Tab.1 The comparison of plant height and leaf area between different lines

供试材料 Lines	株高/cm Plant height	剑叶面积/cm ² Flag leaf area
WTA	95.01 (2.71) a	14.01 (0.83) b
WTB	87.97 (2.28) a	10.13 (0.41) c
F1A	88.89 (2.98) a	19.12 (0.82) a
F1B	79.66 (2.63) b	13.06 (0.32) b

注:表中数值为5个水深的平均值,括号中的数值为标准误;不同字母表示0.05水平下的差异显著性,下同

Note: The value in the table is the average of the five water depth, the value in bracket is the standard error. Different letters indicate a significant difference, similarly hereinafter

2.3 普通野生稻与 Bar 野杂种 F_1 的株高及剑叶面积的比较 在不考虑水深的影响下,WTA 的株高为 95.01 cm,是4种供试材料中最高的,略高于 F1A,但两者间无显著差异(表1);而 WTB 株高为 87.97 cm,显著高于 F1B。总体上普通野生稻株高大于相应的 Bar 野杂种 F_1 。2种普通野生稻在剑叶面积方面差异显著,但野生稻2个居群的剑叶面积分别显著低于其相应的 Bar 野杂种 F_1 ;另一方面,从水层深度对剑叶面积和株高影响的结果可以看出(表2),水层深度对剑叶面积的影响不显著;在水深为0 cm时,株高最高为 97.58 cm,之后随着水层深度的加大,株高逐渐降低到 81.37 cm;当水深增加到 30 cm 时,株高又升高

为 88.73 cm,但仍比湿润条件时要低。

表 2 不同水深下的材料株高及剑叶面积
Tab. 2 The effect of water depth on plant height and leaf area

水深(cm) Water depth	株高 /cm Plant height	剑叶面积 /cm ² Flag leaf area
0	97.58 (2.37) a	12.54 (0.81) a
5	89.82 (2.86) ab	13.90 (1.21) a
10	81.91 (4.11) b	12.54 (0.95) a
20	81.37 (2.52) b	15.75 (1.24) a
30	88.73 (2.36) b	15.67 (1.38) a

注: 表中数值为 4 个参试材料的平均值,括号中的数值为标准误
Note: The value in the table is the average of the four varieties; the value in bracket is the standard error

2.4 杂草生长情况调查 通过调查试验小区的杂草生长情况发现,杂草只在浅水层处理即 0 cm 和 5 cm 的小区内生长,在水深 10 ~ 30 cm 处理的小区内基本没有杂草生长,说明水深对杂草有显著的抑制效果。而在模拟野生稻原生境生长地内笔者也观察到类似的情况,在湿润或浅水层条件(水深 0 ~ 10 cm) 下的杂草生物量显著高于 20 cm 及以上处理的杂草生长量(见图 3)。而野生稻的生物量随水深的升高呈现先上升后下降的趋势,在 10 cm 时达到最大,且显著高于其他水层深度下的生物量,这一情况与小区试验中分析得出的结论基本一致。可见,普通野生稻原生境地区应该维持 10 ~ 20 cm 的水层深度,这样既抑制了相关杂草的生长,又有利于普通野生稻的营养生长。

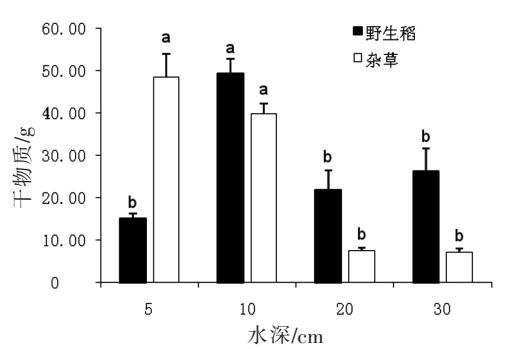


图 3 模拟原生境条件下普通野生稻及杂草的生物量在不同水深的变化情况
Fig.3 The biomass of common wild rice and weeds with the water depth in the simulative original habitat

3 讨 论

杂交后代休眠性、发芽率、分蘖力、生长势、农艺性状如(株高、剑叶面积等) 对环境的适应性数据对预测转基因飘移(杂交) 后代在自然生境中的命运有着极其重要的价值。笔者主要从生物量、株高、剑叶面积等农艺性状方面研究水深条件对普通野生稻及其与转基因水稻杂种 F_1 的影响,进而分析水深条件对其环境适应性(适合度) 的影响。在萌发试验中,比较了 2 种不同居群的野生稻及其 Bar 野杂种 F_1 的种子活力。结果显示,野生稻万宁居群及其 Bar 野杂种 F_1 的种子发芽率之间无显著差异,而东方居群的种子发芽率要显著低于其 Bar 野杂种 F_1 ,可见杂种 F_1 代在适宜条件下的种子发芽力要强于相应的普通野生稻,表现出一定的萌发优势。比较 2 种不同居群的野生稻种子发芽率发现,蒸馏水处理下野生稻万宁居群种子发芽率显著高于野生稻东方居群。在种子休眠性方面,野生稻东方居群的种子休眠性最强,而 Bar 野杂种 F_1 则无休眠性。在本试验中对几种打破休眠的方法进行比较,发现对野生稻及 Bar 野杂种 F_1 种子进行脱壳处理,是最有效的打破休眠手段,去谷壳后野生稻及 Bar 野杂种 F_1 种子发芽率均有所提高。种子休眠性是植物对环境适应与否的一项重要指标,休眠能使种子度过寒冷、干旱等不良环境条件,在种子成熟后落入土壤中也能在一定时间内顺利保存发芽能力。结果表明, Bar 野杂种 F_1 成熟后几乎没有休眠时间,当发生栽培稻或转基因水稻向野生稻的基因漂流形成杂种落入野生稻群体的湿润或水环境中,如果时值华南秋季温度适宜,势必会很快发芽。而当发芽后又进入冬季遇到如寒冷季节等不利条件,杂交后代可能不能如其亲本(普通野生稻) 一样可以顺利避过这类不利条件。Wu 等(1978) 研究结果表明,野生稻种子休眠性可能通过落入水中保存而加强^[4],而这一因素是否会对杂种 F_1 造成类似的影响仍需进一步的试验来验证。

在水深处理试验中,对于普通野生稻及其 Bar 野杂种 F_1 来说,无论是总生物量或是植株茎、叶、穗等

各部分生物量,浅水层处理均高于深水层处理,这可能是由于高水位时,普通野生稻幼苗的叶片多数处于水面下,因光合作用受到抑制以及缺氧等因素使其生物量得不到有效积累导致的。与此同时,笔者也发现在土壤湿润(水深 0 cm)条件下,杂种 F_{1A} 的生物量显著高于普通野生稻,其剑叶面积也显著大于普通野生稻居群,株高与野生稻相似,表现出杂种优势。许多研究结果表明, F_1 代在营养生长阶段表现出优势,而对于特定植株来说,营养生长越强,就意味着它在生态环境中的生存竞争能力越强^[17-19]。可见在普通的栽培水位(浅水层)条件下,由于杂种优势的影响,Bar 野杂种 F_1 在营养生长方面表现出优势。水深达到 5~10 cm 时,Bar 野杂种 F_{1A} 的生长优势有一定的削弱,而此时普通野生稻的 2 个居群(万宁和东方)在生物量方面逐渐表现出优势。可见水深条件对野生稻及 Bar 野杂种 F_1 生长或生物量的影响是显著的。普通野生稻和 Bar 野杂种 F_1 的生长优势随着水深的变化而变化,且不同的生长指标变化也不完全相同,野生稻和杂种 F_1 两者并未一直处于劣势或优势。普通野生稻一般处于相对有较深水层的类似沼泽的环境中,综合看来,普通野生稻在其原生境中应该保持其生长优势,杂种 F_1 在普通野生稻原生境中并不具有竞争性。

观察实际的普通野生稻原生境生长地情况发现,普通野生稻生物量随水深变化情况与本研究相似,深水层情况下(如水深 50 cm 以上)杂草极少。比较试验中不同水层条件下杂草与野生稻的生长情况,发现在 5 cm 水层条件下,杂草生物量远大于野生稻生物量,杂草的存在和竞争严重影响到普通野生稻保持持续地正常生长。当水层深度增加到 20 cm 时,杂草生物量显著下降,杂草生长受到明显的抑制。因此,适当控制水位,保持适度深水条件,有利于控制杂草生长。在普通野生稻原生境考察中,笔者发现一些原生境点由于气候变化、地下水位下降,野生稻生长环境的水层变浅,杂草逐渐增多,甚至少数原生境点出现了杂草群体数量远大于普通野生稻群体的情况,严重影响了普通野生稻的正常繁衍。因此,保持较深水层是维持普通野生稻良好生态环境的前提。

转基因飘流对近缘野生种的生态风险,需要考虑以下几个问题^[8]:①可交配性;②地域分布和开花期的重叠性;③生存竞争性,包括转基因飘流至普通野生稻群体后的 F_1 及其后代的落粒性、休眠性、发芽率和生长势等,即生态学上分析的“适合度”是否改变;④基因渐渗能力,即转基因飘流 F_1 及其后代能否与近缘野生种多代连续回交,从而在群体中不断繁殖扩大,增加它的定居、扩展和入侵能力等。但笔者发现,普通野生稻的繁殖主要是营养茎繁殖方式,转基因飘流至普通野生稻群体后,杂种 F_1 及其后代株型多由匍匐变为直立,繁殖方式是种子繁殖。直立型的杂种 F_1 及其后代靠稻蔸基部再生,再生能力相对比普通野生稻弱。杂种种子散落田间后发芽在冬季会遇到低温条件,不利生长,而普通野生稻的营养茎越冬后,在来年春天气温升高时,再生早、生长快,匍匐茎萌发出的新枝很快在地面上形成郁闭,在一定程度上影响和限制了种子实生苗的生长^[20-21]。因此,普通野生稻原生境群体有利于避免转基因向普通野生稻的漂移后代在其种群中的宿存和扩散。另一方面,转基因水稻如果与野生稻杂交,其杂种也可能继续自交或与野生稻回交,因而杂种 F_1 代之后,其高世代材料在不同水深情况下是否也会表现出类似于 F_1 代的趋势是值得探讨的。同时仍有多种环境因素可能会对转基因漂移后代的适应性或“适合度”造成影响,这一问题需要利用更多材料、增加追踪世代来进行全面分析。

参考文献:

- [1] James C. 2015 年全球生物技术/转基因作物商业化发展态势 [J]. 中国生物工程杂志, 2016, 36(4): 1-11.
- [2] 农业部. 中华人民共和国农业生物安全证书(生产应用), 农基安证字第 29、30、31 号 [EB/OL]. (2014-12-11) [2016-03-16]. <http://www.agrogene.cn/info-2127.shtml>.
- [3] Crawley M J, Brown S L, Hails R S, et al. Transgenic crops in natural habitats [J]. Nature, 2001, 409(6821): 682-683.
- [4] Lu B R, Snow A A. Gene flow from genetically modified rice and its environmental consequences [J]. Bio. Science, 2005, 55(8): 669-678.
- [5] Andow D A, Zwahlen C. Assessing environmental risks of transgenic plants [J]. Ecology Letters, 2006, 9(2): 196-214.
- [6] Yuan Q H, Shi L, Wang F, et al. Investigation of rice transgene flow in compass sectors by using male sterile line as a pollen detector [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2007, 115(4): 54-560.

- [7] Song Z P, Lu B R, Zhu Y G, et al. Gene flow from cultivated rice to the wild species *Oryza rufipogon* under experimental field conditions [J]. New Phytologist, 2003, 157(3): 657–665.
- [8] 裴新梧, 袁潜华, 胡凝, 等. 水稻转基因漂流 [M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [9] 卢宝荣, 宋志平, 陈家宽. 转基因稻是否会通过基因逃逸导致生态风险? [J]. 自然科学进展, 2003, 13(1): 30–35.
- [10] Naredo M E B, Juliao A B, Lu B R, et al. Hybridization of AA genome rice species from Asia and Australia I. Crosses and development of hybrids [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 1997, 44(1): 17–23.
- [11] Lu B R, Naredo M E B, Juliao A B, et al. Hybridization of AA genome rice species from Asia and Australia II. Meiotic analysis of *Oryza meridionalis* and its hybrids [J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 1997, 44(1): 25–31.
- [12] Majumder N D, Ram T, Sharma A C. Cytological and morphological variation in hybrid swarms and introgressed population of interspecific hybrids (*Oryza rufipogon* Griff. $\times$ *Oryza sativa* L.) and its impact on evolution of intermediate types [J]. Euphytica, 1997, 94(3): 295–302.
- [13] Song Z P, Zhu W Y, Rong J, et al. Evidences of introgression from cultivated rice to *Oryza rufipogon* (Poaceae) populations based on SSR fingerprinting: implications for wild rice differentiation and conservation [J]. Evolutionary Ecology, 2006, 20(6): 501–522.
- [14] 徐国生, 谭文兵. 水稻杂交剪颖温汤去雄方法的研究 [J]. 湖南农业科学, 1983(3): 17–18.
- [15] 国家技术监督局. 农作物种子检验规程: 发芽试验(GB/T 3543.4–1995) [S]. 北京: 中国标准出版社, 1995: 1–20.
- [16] Wu L. The seed dormancy of a Taiwan wild rice population and its potential for rice breeding [J]. Botanical Bulletin of Academia Sinica (Taipei), 1978, 19(1): 1–12.
- [17] Song Z P, Lu B R, Wang B, et al. Fitness Estimation through Performance Comparison of F_1 Hybrids with their Parental Species *Oryza rufipogon* and *O. sativa* [J]. Annals of Botany, 2004, 93: 311–316.
- [18] 曹前进. 辽宁杂草稻 (*Oryza sativa* f. *spontanea*) 的遗传多样性及其对水稻的影响 [D]. 上海: 复旦大学, 2006.
- [19] 左娇, 强胜, 宋小玲. 温室条件下抗除草剂转基因水稻与杂草稻杂交和回交后代的适合度分析 [J]. 中国水稻科学, 2010, 24(6): 608–616.
- [20] 尹昭坤, 乔健, 袁潜华. 转基因水稻向普通野生稻及其他近缘植物的基因漂流研究进展 [J]. 热带生物学报, 2011, 2(4): 373–377.
- [21] 袁潜华, 裴新梧, 何美丹. 转基因水稻向普通野生稻的基因漂流研究. [EB/OL]. (2013–11–13) [2016–03–16]. <http://www.nstrs.cn/xiangxibg.aspx?id=35209>.

The influence of Different Water Depth Condition on Common Wild Rice and F_1 Hybrids Between Common Wild rice and Transgenic Rice

ZHANG Ruoyiyun¹, HE Meidan¹, LI Dong¹, YUAN Ruizhi¹, LI Run¹, YUAN Qianhua¹, PEI Xingwu²

(1. College of Agriculture, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; Biotechnology Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: In this paper, we observed the agronomic traits of the hybrids between Hainan common wild rice (*Oryza rufipogon* Griff.) and *bar* transgenic rice (abbreviated as F_1 hybrids) to analysis their adaptability under different water depth. Results showed that the seed vigor of F_1 hybrids generally higher than that of common wild rice. When the water depth reached 10 cm, the biomass of wild rice was obviously better than that of F_1 hybrids in general, and the biomass both wild rice and F_1 hybrids decreased with water depth increasing. In plant height, wild rice was generally higher than that of F_1 hybrids, and the water depth had a little impact on their leaf areas. Comparing the growth of weeds between this experiment and the simulating condition of in situ conservation, we found the deep water had an obviously inhibitory effect on weed growth.

Keywords: water depth; common wild rice; transgenic rice; *bar*; F_1 hybrids