

不同生育期剪叶对水稻生长、产量及生理的影响^{*}

吴降星¹ 郑许松² 周光华³ 刘桂良¹ 徐红星² 杨亚军² 吕仲贤^{2**}

(1. 宁波市农业技术推广总站 宁波 315012; 2. 浙江省农业科学院 植物保护与微生物研究所 杭州 310021; 3. 奉化市农业技术服务总站 奉化 315500)

摘要 对两个水稻品种(超级杂交稻甬优8号和常规粳稻宁88)稻株进行了不同生育期(苗期、分蘖期和孕穗期)稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée 为害损失率剪叶模拟试验,测定了不同程度剪叶(苗期和分蘖期10%、30%、50%和70%,孕穗期10%、20%、30%和50%)对水稻生长和产量及剪叶后水稻叶片叶绿素含量和根系活力的影响。结果表明,苗期和分蘖期剪叶10%~70%均不会影响水稻生长和产量,适当地剪叶反而有增产趋势。在孕穗期剪叶率小于10%时,产量基本不受影响;剪叶率30%时,产量损失小于10%;剪叶率50%时,产量损失20%~25%。苗期和分蘖期剪叶后,叶片中叶绿素含量不变,根系生长和根系活力增强。这说明,水稻生长前期对叶片受害有较强的耐受和补偿能力,对稻纵卷叶螟前期为害可减少化学防治。

关键词 稻纵卷叶螟,剪叶,生长,产量,根系活力

Effect of leaf cutting at different growth stages on growth, yield and physiological traits of two rice cultivars

WU Jiang-Xing¹ ZHENG Xu-Song² ZHOU Guang-Hua³ LIU Gui-Liang¹
XU Hong-Xing² YANG Ya-Jun² LV Zhong-Xian^{2**}

(1. Ningbo Station of Agricultural, Technique Extension, Ningbo 315012, China; 2. Institute of Plant Protection & Microbiology, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China; 3. Fenghua Station of Agricultural Technique Extension, Fenghua 315500, China)

Abstract Leaf cutting tests simulating the damage caused by leaf folder, *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée, were carried out to measure yield loss of rice at different growth stages (seedling stage, tillering stage and booting stage). Also, chlorophyll content and root system activity were measured after various extents of cutting (10%, 30%, 50% and 70% in the seedling and tillering stage, 10%, 20%, 30% and 50% in the booting stage) of the leaves of two rice varieties, super rice variety Yongyou 8 and japonica rice variety Ning 88. 10%–70% cutting at the seedling stage and tillering stage did not affect rice yield and growth, and might actually increase rice yield. At the booting stage, yield was not affected when less than 10% of the leaf was cut; yield loss was less than 10% when <20% of the leaf was cut; and yield loss was 20%–25% when 50% of the leaf was cut. Leaf cutting at the seedling and tillering stages caused little change in chlorophyll content, while root system activity was enhanced. This implies that rice has strong tolerance for leaf damage before the booting stage. We suggest that chemical control of the leaf folder can be reduced in the early growth period of rice.

Key words *Cnaphalocrocis medinalis*, leaf cutting, growth, yield, root system activity

自20世纪60年代以来,稻纵卷叶螟 *Cnaphalocrocis medinalis* Guenée 在亚洲稻区的发生和为害逐年加重,成为最重要的水稻害虫之一(Dale, 1994; Khan *et al.*, 1998)。近年来,由于境

外虫源迁入和我国水稻栽培制度调整、水稻品种变化及产生抗药性等原因,稻纵卷叶螟在我国的发生频率和危害程度呈加剧趋势,局部地区几乎年年大发生(翟保平和程家安, 2006; 齐国君等,

^{*} 资助项目:公益性行业(农业)科研专项(200903051)和浙江省自然科学基金(LY12C14010)。

^{**} 通讯作者, E-mail: luzxmh@gmail.com

收稿日期:2013-03-24, 接受日期:2013-04-28

2008)。稻纵卷叶螟幼虫取食为害水稻叶片,使水稻的绿叶面积减少,光合作用降低,物质合成积累受影响,最终导致减产(苏祖芳等,2007)。长期以来,稻纵卷叶螟的防治主要依赖化学防治,但多年来水稻害虫的防治经验表明,化学农药的长期使用不但不能达到持续控制害虫的目的,还导致环境污染、农药残留和害虫再猖獗等问题(戈峰和李典谟,1997)。

“补偿作用”是植物被害后的一种积极反应(Bardner and Fletcher, 1974),降低了害虫为害对作物产量的消极影响(Pedigo, 1991)。已有许多研究明确了作物对于虫害的补偿作用(Trumble *et al.*, 1993)。营养生长阶段的水稻对于三化螟的为害具有补偿的能力(Rubia *et al.*, 1990),补偿机制可能是产生新的分蘖(Akinsola, 1984; Viajante and Heinrichs, 1987; Yambao *et al.*, 1993)、提高谷物千粒重(Akinsola, 1984; 罗盛富, 1987)和提高叶片的光合效率和进行营养物质转移(Rubia *et al.*, 1990)。关于稻纵卷叶螟也进行了剪叶和产量补偿之间的模拟试验(胡国文等, 1993; 沈建新等, 2008); 陈常铭等(1984)也对稻纵卷叶螟食叶量与产量之间的关系进行了研究,但迄今有关水稻对稻纵卷叶螟为害的补偿机制的研究很少。

本文进行了两个水稻品种不同生育期的剪叶模拟试验,研究水稻剪叶和水稻生长、产量的关系,并测定剪叶对水稻根系活力和叶片叶绿素含量的影响,以明确水稻品种对稻纵卷叶螟为害补偿机制,为稻纵卷叶螟的科学治理提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试水稻品种及田间管理

供试品种为宁88(常规粳稻)与甬优8号(超级杂交稻),均由宁波市农科院提供。6月5日播种,6月29日移栽。按当地正常种植密度($26.7\text{ cm} \times 26.7\text{ cm}$, 移植前用自制定位器划方格定位,确保种植密度一致)。总施肥水平为纯氮 $13.45\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 、 P_2O_5 $3.0\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 和 K_2O $8.25\text{ kg}/667\text{ m}^2$, 水管理如当地常规方法。于移栽后7 d 及之后每隔7 d 喷施1次杀虫剂或杀菌剂,以防止水稻二化螟、稻纵卷叶螟、稻飞虱和稻纹枯病等的为害。

1.2 试验设计

采用人工剪叶模拟稻纵卷叶螟为害,分别在水稻苗期(移栽后12 d)、分蘖期(移栽后26 d)、孕穗期(移栽后67 d),以丛为单位,按比例计算出应剪去的绿叶数,将冠层分为上中下3层,每层剪去同等数量的绿叶数。每片叶最多只剪去叶面积的80%。苗期和分蘖期的剪叶程度为10%、30%、50%和70%,孕穗期的剪叶程度为10%、20%、30%和50%。设不剪叶为对照,重复3次。共90个小区,每小区30丛水稻。区组排列,小区四周设保护行。

1.3 测定方法

1.3.1 水稻生长和产量 7月10日查苗期剪叶处理的基本苗。7月24日查苗期剪叶处理的分蘖数、株高和分蘖期剪叶处理的基本苗。8月3日测量苗期剪叶处理的稻株根长,取稻丛根系并烘干至恒重,称重。取回稻株鲜样在实验室内测定根系活力和叶片叶绿素含量。8月15日测量分蘖期剪叶处理稻株根长、称根鲜重,测定根系活力和叶片叶绿素含量。9月3日分别调查苗期、分蘖期、孕穗期剪叶处理的株高。11月6日收割后测定各小区稻谷产量。

1.3.2 叶绿素含量 苗期剪叶处理在8月4日抽样测定,分蘖盛期处理于9月3日抽样测定。参照文献(Peng *et al.*, 1995)用SPAD 502 活体叶绿素仪,在田间选择顶部为1.5叶的植株中的最顶上的完全叶,测量完全叶的中部及相距1 cm 距离的上部和下部共3个点,然后再计算每个处理的4次重复的SPAD 平均值。

1.3.3 根系活力 根系活力采用TTC还原法(王学奎, 2006)。

1.4 数据统计分析

用SPSS13.0进行试验数据分析,采用单因素方差分析比较各处理间数据的差异显著性(One-Way ANOVA, Tukey)。

2 结果与分析

2.1 苗期模拟剪叶对水稻生长和产量的影响

苗期模拟剪叶对水稻生长和产量的影响结果见表1。苗期经10%、30%、50%和70%不同比例的模拟剪叶后,对两个水稻品种的生长和产量均没有影响。两个水稻品种分蘖期的分蘖数和穗期株高在不同处理间都没有显著差异。苗期不同比

例的剪叶不影响稻谷的千粒重和产量,在苗期即使剪去 70% 的叶片产量也不受影响。剪叶反而有增加水稻产量的趋势,特别是甬优 8 号在剪叶 30%、50% 和 70% 时的产量均高于对照,两个品种在剪去 30% 时的产量均为最高。

表 1 苗期不同程度剪叶对水稻生长和产量的影响
Table 1 Effect of leaf cutting in varying degrees on rice yield at the seedling stage(mean ± SE)

品 种 Variety	剪叶率	分蘖数 Tiller number	株高 (cm) Plant height	千粒重 (g) Thousand- grain weight	实产 (kg/667m ²) Yield	减产率 (%) Yield reduction rate
	(%)					
	Leaf					
	cutting rate					
甬优 8 号	0	20.47 ± 0.22 a	113.50 ± 1.32 a	28.57 ± 0.81 a	591.07 ± 19.24 a	—
Yongyou 8	10	20.40 ± 0.81 a	114.03 ± 1.98 a	28.53 ± 0.64 a	589.41 ± 10.01 a	0.28
	30	19.93 ± 0.94 a	114.63 ± 1.38 a	29.17 ± 0.95 a	628.42 ± 19.27 a	- 5.07
	50	19.86 ± 0.41 a	113.67 ± 0.93 a	28.73 ± 0.44 a	623.67 ± 20.70 a	- 5.51
	70	20.40 ± 0.92 a	113.57 ± 1.93 a	28.63 ± 0.61 a	621.03 ± 14.66 a	- 5.07
宁 88	0	21.53 ± 0.58 a	89.58 ± 1.27 a	25.24 ± 0.58 a	525.62 ± 9.16 a	—
Ning 88	10	21.80 ± 0.23 a	90.33 ± 1.17 a	25.53 ± 0.61 a	523.03 ± 15.60 a	0.49
	30	20.67 ± 0.55 a	90.59 ± 0.47 a	25.70 ± 0.30 a	532.72 ± 14.80 a	- 1.35
	50	20.27 ± 0.37 a	90.74 ± 0.53 a	25.27 ± 0.39 a	514.26 ± 11.47 a	2.16
	70	19.93 ± 0.29 a	89.17 ± 1.08 a	24.96 ± 0.50 a	517.28 ± 10.02 a	1.59

注:同列数据后标有不同小写字母表示经 Tukey 检验后在 0.05 水平上存在显著差异(P<0.05)。下表同。
Data in the same column followed by different letters indicate significantly different at 0.05 level by Tukey’s test. The same below.

2.2 分蘖期模拟剪叶对水稻生长和产量的影响

分蘖期模拟剪叶对水稻生长和产量的影响结果见表 2。两个水稻品种甬优 8 号和宁 88 分蘖期经 10%、30%、50% 和 70% 不同比例的剪叶,对其生长和产量也基本没有影响。不同比例剪叶处理间,甬优 8 号和宁 88 的株高、分蘖数、千粒重和对照都没有显著性差异。分蘖期剪叶也没有导致甬优 8 号和宁 88 减产,其中甬优 8 号在剪叶 10% 时还比对照增产 8% 以上,差异达显著水平。

2.3 孕穗期模拟剪叶对水稻产量的影响

孕穗期模拟剪叶对水稻产量的影响结果见表 3。与苗期和分蘖期剪叶不同,孕穗期剪叶会造成水稻千粒重下降和产量损失,其中宁 88 剪叶 50% 时千粒重显著低于对照。剪叶 10% 时基本不造成产量损失,剪叶 20% 时,甬优 8 号和宁 88 减产率为 5% ~ 6%,剪叶 30% 时,减产率均小于 10%。当剪叶 50% 时则会造成较大的产量损失,和对照

比较两品种的产量均显著降低,甬优 8 号减产 21.4%,宁 88 则减产 24.44%。

2.4 不同程度剪叶对水稻根系活力和叶片叶绿素含量的影响

不同程度剪叶对水稻根系活力和叶片叶绿素含量的影响结果见表 4。甬优 8 号和宁 88 两个品种在苗期和分蘖期剪叶后,根系的生长和根系活力较对照均有不同程度的提高。其中甬优 8 号分蘖期剪叶后,根长增加较为显著,剪叶 30% 时,根长较对照增加了 65.55%。甬优 8 号苗期、宁 88 苗期和分蘖期剪叶后其根系的生长也有增长的趋势。苗期和分蘖期剪叶均显著增加了水稻根系的重量,其中以剪叶 30% 对根重增加的影响最为明显。此外,剪叶还促进了根系活力的提高,剪叶后的根系活力增加一般在 20% 以上,最高可达 67.84%。甬优 8 号苗期剪叶 30%、分蘖期剪叶 50% 时,根系活力最强,宁 88 苗期和分蘖期均以

剪叶 50% 时根系活力最强。

有显著性差异,表明剪叶对叶绿素含量没有影响

叶绿素含量测定表明,两个品种在苗期和分

(表 5)。

蘖期经不同程度剪叶后,叶绿素含量变化不大,没

表 2 分蘖期不同程度剪叶对水稻生长和产量的影响

Table 2 Effect of leaf cutting in varying degrees on rice yield at the tillering stage(mean ± SE)

品种 Variety	剪叶率(%) Leaf cutting rate	株高(cm) Plant height	千粒重(g) Thousand-grain weight	实产(kg/667m ²) Yield	减产率(%) Yield reduction rate
甬优 8 号	0	112.37 ± 0.74a	29.20 ± 0.56a	601.40 ± 13.10b	—
Yongyou ± 8	10	113.14 ± 0.48a	29.44 ± 0.91a	651.93 ± 6.64a	- 8.40
	30	113.15 ± 0.60a	29.15 ± 0.49a	581.80 ± 12.44b	3.19
	50	111.10 ± 0.93a	28.65 ± 1.04a	571.40 ± 17.20b	4.99
	70	112.36 ± 1.02a	28.93 ± 0.37a	581.60 ± 11.25b	3.29
宁 88	0	88.27 ± 0.76a	26.53 ± 0.54a	515.68 ± 9.26a	—
Ning ± 88	10	87.20 ± 0.69a	26.20 ± 0.29a	525.26 ± 9.23a	- 1.86
	30	87.22 ± 0.69a	26.20 ± 0.33a	527.33 ± 14.95a	- 2.26
	50	87.07 ± 1.05a	26.67 ± 0.76a	498.87 ± 16.23a	3.26
	70	86.37 ± 0.78a	25.92 ± 0.79a	496.86 ± 11.32a	3.65

表 3 孕穗期不同程度剪叶对水稻产量的影响(mean ± SE)

Table 3 Effect of leaf cutting in varying degrees on rice yield at the booting stage (mean ± SE)

剪叶量(%) Leaf removal rate	甬优 8 号 Yongyou 8			宁 88 Ning 88		
	千粒重(g) Thousand-grain weight	实产 (kg/667m ²) Yield	减产率(%) Yield reduction rate	千粒重(g) Thousand- grain weight	实产 (kg/667m ²) Yield	减产率(%) Yield reduction rate
0	29.38 ± 0.39a	638.50 ± 27.02a	—	27.23 ± 0.42 a	535.99 ± 14.33a	—
10	29.41 ± 0.56a	634.37 ± 5.98a	0.60	27.17 ± 0.41a	535.52 ± 12.47a	0.08
20	29.17 ± 0.38a	601.33 ± 14.13ab	5.82	27.05 ± 0.38a	507.44 ± 7.82ab	5.33
30	28.79 ± 0.72a	584.05 ± 14.27b	8.53	26.19 ± 0.22ab	491.64 ± 9.99ab	8.27
50	27.84 ± 0.36a	501.60 ± 8.51c	21.44	25.63 ± 0.21b	402.59 ± 19.12c	24.89

表 5 不同程度剪叶对水稻叶绿素含量的影响

Table 5 Effect of leaf cutting in varying degrees on rice chlorophyll content

剪叶率(%) Rate of leaf cutting	苗期 Seedling stage		分蘖期 Tillering stage	
	甬优 8 号	宁 88	甬优 8 号	宁 88
	Yongyou 8	Ning 88	Yongyou 8	Ning 88
0	43.27 ± 0.71a	40.17 ± 0.83a	54.30 ± 1.44a	52.20 ± 1.16a
10	43.10 ± 0.70a	39.97 ± 1.01a	54.13 ± 1.95a	55.12 ± 0.72a
30	44.26 ± 1.75a	42.70 ± 0.85a	53.67 ± 1.28a	54.40 ± 1.78a
50	46.40 ± 1.73a	40.53 ± 1.91a	52.23 ± 2.03a	52.17 ± 1.21a
70	44.7 ± 1.21a	40.01 ± 1.39a	49.92 ± 2.45a	51.21 ± 1.63a

3 讨论

研究表明,在不同的生育期模拟剪叶,水稻都表现出一定程度的补偿能力,但因生育期和剪叶程度而不同。超级稻甬优 8 号和常规稻宁 88 在苗期和分蘖期即使剪去 70% 的叶片,也不会对水稻生长和产量造成影响。适当地剪叶,反而使两个品种的产量有增产趋势。在孕穗期剪叶则会造成千粒重减重和产量损失,当剪叶率小于 10% 时,产量基本不受影响;但剪叶率达 30% 时,产量损失达 10% 左右,而剪叶率达 50% 时,产量损失则达 20% ~ 25%。说明水稻在生长前期对叶片受害表现出较强的耐受力,而在水稻的生殖生长阶段,受害过重会造成严重的产量损失。这一研究结果与前人的研究结果一致。对于螟虫为害,水稻在低叶位期的补偿能力要强于高叶位期(汤鉴球,1999)。在产量定型的水稻成熟期,模拟稻纵卷叶螟为害剪去顶叶 50% 时产量不受影响(金德锐,1984)。但沈彩云和卢兆成(1984)认为水稻叶片受损害即会造成产量损失。

作物对虫害的补偿作用具有一定的普遍性。昆虫在一定程度上取食植物,最后不仅不会危害植物的生长和生存,相反,还会对植物的生长发育有促进作用,该促进作用可以弥补植物因昆虫取食造成的营养和生殖的损失。植物对于昆虫取食胁迫引起的损失具有弹性弥补的作用(Harris, 1974; McNaughton, 1979; Owen, 1980)。条件优异情况下,促进作用所增加的生长量可超过取食造成的损失,对植物的生长和生存反而有利(Belsky, 1986; Crawley, 1987)。本研究表明,水稻经模拟稻

纵卷叶螟为害剪叶后也有类似的过度补偿作用,超级稻和常规稻均是如此。稻株对生长前期叶面积的损失,不仅具有高度的耐受性,而且在形态上和生理上都具有补偿作用,形态上表现为株高、分蘖、千粒重等都能够补偿生长。生理上表现为剪叶后根系生长和根系活力明显增强,根系活力与剪叶程度密切相关,一定程度的剪叶率激发的根系活力最高,这与有关研究的结果相符(梁娴等, 2010)。而已有的研究表明,根系活力的提高对于延长植株叶片后期功能、延缓叶片叶绿素的降解、维持较大的光合作用面积、延长叶片寿命和功能期及增加灌浆物质的制造均有积极的作用(凌启鸿和凌励,1984)。这可能是稻株叶片受害后的一个重要生理机制,值得进一步细致研究。另一方面,研究表明剪叶对水稻叶片中叶绿素含量变化无影响,因此在光合作用方面,叶片受害后补偿机制表现在光合强度和呼吸强度加强(金德锐, 1984)。有研究报道二化螟钻蛀为害后会提高稻株的叶绿素含量(罗盛富,1987),这可能跟害虫的为害方式相关,本研究为人工模拟剪叶,与螟虫的钻蛀为害引发的稻株生理应激可能不同。产量补偿是最终的补偿方式,根系生长和根系活力可能是重要的生理补偿机制。剪叶可能有助于调整源库关系,增加营养物质的积累,从而提高产量。作物受害后,离产量形成尚有一段时期,在此情形下,作物补偿是有效的补偿。而在孕穗期,稻株由营养生长转向生殖生长,叶片的光合作用产物主要供应谷物形成,此时剪叶易造成产量损失,因此孕穗期稻叶受害过重时,会造成产量的损失。

由于补偿作用的存在,对稻纵卷叶螟的防治

不应仅根据虫口密度,而应根据水稻生长期虫害补偿作用的不同而进行综合考虑。稻纵卷叶螟直接为害叶片,造成醒目的卷叶和白叶症状,易给人以损失“严重”的假象,这是误导滥用化学用药的主要原因。目前,稻纵卷叶螟的允许经济损失率为3%,而本文研究结果表明,甬优8号和宁88号苗期剪叶率达到70%时,产量损失低于3%,其中甬优8号苗期剪叶70%时的产量还高于对照。在孕穗期剪叶则会造成千粒重减重和产量损失,但孕穗期当剪叶率小于10%时,产量也基本不受影响。在分蘖期之前,即使受害叶面积达到70%,水稻本身也有很强的耐受和补偿能力,水稻产量不会因此受损失,甚至有可能增产。蒋杰贤等(1995)认为孕穗期稻纵卷叶螟为害“红优早”的经济阈值为:百丛幼虫203头,或卷叶率19.06%。因此在实际生产中,当水稻生长前期受到稻纵卷叶螟为害时应尽量避免用药、甚至弃治也是可行的,这对于保护天敌,减轻水稻中后期稻飞虱等害虫危害十分重要。而在水稻生长的中后期,当稻纵卷叶螟为害较重时,可能会造成较重的产量损失,应酌情施药进行防治。

参考文献 (References)

- Akinsola EA, 1984. Effects of rice stem borer infestation on grain yield and yield components. *Insect Sci. Appl.*, 5(2): 91–94.
- Bardner R, Fletcher KE, 1974. Insect infestations and their effects on the growth and yield of field crops: a review. *Bull. Entomol. Res.*, 64:141–160.
- Belsky AJ, 1986. Does herbivory benefit plants? A review of the evidence. *Am. Nat.*, 127(6):870–892.
- Crawley MJ, 1987. Benevolent herbivores? *Trends Ecol. Evol.*, 2(6):167–168.
- Dale D, 1994. Insect pests of the rice plant-their biology and ecology// Heinrichs EA (ed.). *Biology and Management of Rice Pests*. New Delhi:Wiley Eastern Ltd. 363–485.
- Harris P, 1974. A possible explanation of plant yield increases following insect damage. *Agro-Ecosystems*, 1:219–225.
- Khan ZR, Barrion AT, Litsinger JA, Castilla NP, Joshi RC. 1998. Mini review: a bibliography of rice leafrollers (Lepidoptera:Pyralidae). *Insect Sci. Appl.*, 9(2):129–174.
- McNaughton LJ, 1979. Grazing as an optimization process:

- Grass-ungulate relationships in the Serengeti. *Am. Nat.*, 113(5):691–703.
- Owen DF, 1980. How plants may benefit from the animals that eat them. *Oikos*, 35(2):230–235.
- Pedigo LP, 1991. *Entomology and Pest Management*. New York:Macmillan. 646–647.
- Peng SB, Laza RC, Garcia FV, 1995. Chlorophyllmeter estimates leaf area-based nitrogen concentration of rice. *Commun. Soil Sci. Plan.*, 26(5/6):927–935.
- Rubia EG, Shepard BM, Ambao EB, Ingram KT, Arida GS, Penning de Vries FWT, 1990. Stem borer damage and grain yield of flooded rice. *J. Plant Protect. Trop.*, 6(3):205–211.
- Trumble JT, Kolodny-Hirsch DM, Ting IP, 1993. Plant compensation for arthropod herbivory. *Annu. Rev. Entomol.*, 38(1):93–119.
- Viajante V, Heinrichs EA, 1987. Plant age effects of rice cultivar IR46 on the susceptibility to the yellow stem borer *Scirpophaga incertulas* (Walker) (Lepidoptera:Pyralidae). *Crop. Prot.*, 6(1):33–37.
- Yambao EB, Ingram KT, Rubia EG, Shepard BM, 1993. Case study: growth and development of rice in response to artificial stem borer damage //Rossing WAH, Rubia EG, Heong KL, Keerati-Kasikorn M, Reddy PR (eds.). *SARP Research Proceedings Mechanisms of Damage by Stem Borer, Bacterial Leaf Blight and Sheath Blight, and the Effects on Rice Yield*. Wageningen. 33–50.
- 陈常铭, 赵和庚, 李实福, 1984. 稻纵卷叶螟经济阈值的研究. *生态学报*, 4(2):149–156.
- 戈峰, 李典谟, 1997. 可持续农业中害虫的管理问题. *昆虫知识*, 34(1):39–45.
- 胡国文, 陈忠孝, 刘光杰, 马巨法, 潘群威, 1993. 杂交晚稻对稻纵卷叶螟为害的动态补偿模型. *中国农业科学*, 26(2):24–29.
- 蒋杰贤, 陈永年, 潘桐, 1995. 稻纵卷叶螟为害损失的通径分析及经济阈值. *湖南农学院学报*, 21(2):143–146.
- 金德锐, 1984. 水稻对稻纵卷叶螟危害补偿作用的测定. *植物保护学报*, 11(1):1–7.
- 梁娴, 赵建华, 罗充, 2010. 不同修剪方式对黑麦草叶绿素、根系活力的影响. *贵州师范大学学报(自然科学版)*, 28(3):4–7.
- 凌启鸿, 凌励, 1984. 水稻不同层次根系的功能及对产量形成作用的研究. *中国农业科学*, (5):3–11.
- 罗盛富, 1987. 水稻对二化螟补偿作用的研究. *中国农业科学*, 20(2):67–72.
- 齐国君, 秦冉冉, 肖满开, 2008. 安徽安庆混作稻区稻纵卷

- 叶螟第3、4代发生规律研究. 中国水稻科学, 22(5):513-518.
- 沈彩云, 卢兆成, 1984. 稻纵卷叶螟为害的产通损失与防治指标. 昆虫学报, 27(4):384-391.
- 沈建新, 张小来, 王乃庭, 顾卫芬, 2008. 稻纵卷叶螟危害损失率剪叶模拟试验. 植物保护, 34(4):161-163.
- 苏祖芳, 周纪平, 丁海红, 2007. 稻作诊断. 上海: 上海科学技术出版社. 211-213.
- 汤鉴球, 1999. 水稻不同生育期对模拟螟害补偿作用的研究. 中山大学学报(自然科学版), 38(4):58-61.
- 王学奎, 2006. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社. 118-119.
- 翟保平, 程家安, 2006. 2006年水稻两迁害虫研讨会纪要. 昆虫知识, 43(4):585-588.