

李再园,马跃坤,王福莲,等. 施氮水平对水稻抵御白背飞虱能力的影响机制[J]. 江苏农业科学,2018,46(3):88-91.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.03.022

施氮水平对水稻抵御白背飞虱能力的影响机制

李再园, 马跃坤, 王福莲, 田小海

(长江大学昆虫研究所/湖北省主要粮食作物协同创新中心,湖北荆州 434025)

摘要:以 TN1 水稻为材料,氮肥为底肥,设置 6 种不同施氮水平(0、50、150、200、250、350 kg/hm²),研究不同施氮水平下水稻对白背飞虱的忌避性及其与水稻叶绿素含量[土壤、作物分析仪器开发(soil and plant analyzer development,简称 SPAD),以下叶绿素含量简称 SPAD 值]、主茎含水量、地上部干物质量的相关性。结果表明,对白背飞虱的忌避性以未施氮(0 kg/hm²)水稻最强,高施氮量(200、250、350 kg/hm²)水稻较弱,中低氮量(150、50 kg/hm²)水稻的忌避性随着白背飞虱选择定居时间延长而增强,低施氮量水稻增强至与未施氮水稻无差异。水稻 SPAD 值、主茎含水量和地上部干物质量均以未施氮水稻最低,中低氮量(150、50 kg/hm²)水稻次之,高施氮量(200、250、350 kg/hm²)水稻较高。与对照相比,随着施氮量的增加,水稻 SPAD 值、主茎含水量和地上部干物质量有上升趋势,且均与不同施氮水平水稻忌避性呈负相关。本研究结果为选择抗性或耐性品种、田间合理控制氮肥用量、构建白背飞虱长效调控技术提供决策依据。

关键词:施氮量;水稻;白背飞虱;抵御机制;叶绿素;含水量;忌避性

中图分类号:S435.112+.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)03-0088-04

白背飞虱是目前影响我国水稻稳产、高产的主要虫害之一,其成虫、若虫直接刺吸稻株的韧皮部汁液,造成水稻生长缓慢,分蘖延迟,瘪粒增加;为害严重时,造成稻株枯死,呈“虱烧”状^[1]。同时白背飞虱在取食过程中可传播其他病害和病毒,如水稻南方黑条矮缩病、水稻齿矮病、云南烟草丛枝症等^[2-3]。氮肥在水稻产量和品质形成中起着关键作用,氮肥的过量施用被确认为是诱发某些飞虱(褐飞虱)种群暴发的关键因素之一。施氮肥后,水稻体内叶绿素^[4]、游离氨基酸^[5]、可溶性糖^[6]、含水量^[7]、地上部干物质^[8]等的含量提高,促进昆虫对其选择性,并对昆虫种群数量产生影响。

有研究表明,褐飞虱喜欢在施用氮肥的水稻植株上取食和产卵^[9]。施用氮肥较多的水稻可以承受高密度的褐飞虱,提高其种群的迁出临界密度,降低种内竞争,从而造成更重的

田间危害程度^[10]。水稻叶绿素含量与褐飞虱种群发生量呈正相关关系,其可作为监测褐飞虱种群的一项指标^[11-12]。水稻叶片含水量与其对飞虱的抵御能力呈负相关性^[13],褐飞虱虫口密度与抗性品种(协优 963)和敏感品种(TN1)叶片水势均呈正相关关系^[14]。重度水分胁迫下褐飞虱成虫(若虫)取食时间、唾液分泌时间较轻度水分胁迫下显著增加,蜜露分泌量显著减少^[15]。同时研究发现,白背飞虱种群数量随着氮肥施用量的增加而显著提高^[16]。但施氮水平对水稻抵御白背飞虱能力的影响机制尚不明确。我国是氮肥使用大国,约占世界使用量的 30%,水稻合理施用氮肥范围为 150~250 kg/hm²^[17],我国超出合理使用量的上限种植面积占播种面积的 20%,施氮量高达 350 kg/hm²,且有逐渐增长趋势^[18]。所以,本研究在不同施氮水平下,水稻对白背飞虱的忌避性差异以及这种差异与不同施氮水平水稻的叶绿素含量[土壤、作物分析仪器开发(soil and plant analyzer development 简称 SPAD),以下叶绿素含量简称 SPAD 值]、含水量和地上部干物质量等生理物质变化的相关关系,并分析施氮水平对水稻的白背飞虱抵御能力的影响机制,为提高水稻自身抵御白背飞虱的能力,选择抗性或耐性品种,合理控制氮肥用量,构建白背飞虱长效调控技术提供依据。

收稿日期:2016-09-05

基金项目:湖北省主要粮食作物协同创新中心开放基金(编号:2015MS023)。

作者简介:李再园(1993—),男,陕西渭南人,硕士研究生,研究方向为害虫综合治理。E-mail:zaiyuanli01@163.com。

通信作者:王福莲,硕士,副教授,研究方向为害虫综合治理。E-mail:wangfl_hb@163.com。

研究的结果为农业废弃物的处理提供了一条新的思路,并为防治植物土传病害提供了新的理论依据。

参考文献:

- [1] 李长松. 拮抗性细菌生物防治植物土传病害的研究进展[J]. 中国生物防治学报,1992,8(4):168-172.
- [2] 黎起秦,陈永宁. 植物土传病害拮抗真菌的筛选[J]. 西南农业学报,1999,12(3):81-84.
- [3] 王玉菊,祁红英,郭坚华. 植物土传病害的微生物防治研究进展

- [J]. 世界农业,1995(1):37-39.
- [4] 付琳. 新垦香蕉园施用生物有机肥构建防控土传枯萎病土壤微生物区系研究[D]. 南京农业大学,2016.
- [5] 梁雪杰. 番茄土传病害拮抗菌的筛选,鉴定及其防病机理初探[D]. 南京:南京农业大学,2013.
- [6] 林英. 醋糟基质对土传病害的抑制效果及其拮抗微生物的研究[D]. 镇江:江苏大学,2014.
- [7] 周巍. 菌糠发酵物对常见黄瓜土传病害防治及土壤微生物群落影响[D]. 北京:北京林业大学,2012.

1 材料与方法

1.1 水稻品种

供试水稻品种为感虫水稻品种 TN1,由中国农业科学院植物保护研究所农业害虫研究室水稻害虫研究组提供。

1.2 虫源

白背飞虱由中国农业科学院植物保护研究所农业害虫研究室水稻害虫研究组提供,在养虫室[温度为 $(26 \pm 1)^\circ\text{C}$,光—暗周期为 12 h — 12 h]内使用未施氮的感虫品种 TN1 (N0)饲养。

1.3 不同施氮水平水稻的获取

将水稻种子浸种至露白,然后种植于设有不同施氮水平 $(0, 50, 150, 200, 250, 350 \text{ kg/hm}^2)$ 水稻土 $(7\ 489.65 \text{ cm}^3)$ 的小水桶 ($d_{\text{顶}} = 17 \text{ cm}, d_{\text{底}} = 13.5 \text{ cm}, h = 13.5 \text{ cm}$) 内,正常水分管理,从而得到不同施氮水平水稻,于水稻 35 日龄时用于试验。

1.4 不同施氮水平水稻对白背飞虱成虫的忌避性测定

将 35 日龄的稻苗单株移栽至一次性杯(直径 $d = 5 \text{ cm}$,高 $h = 7 \text{ cm}$)中,修剪成 1 个主茎并去除外层叶鞘。将不同施氮量 $(0, 50, 150, 200, 250, 350 \text{ kg/hm}^2)$ 的水稻苗环形随机摆入同一塑料盆(长 35 cm,宽 30 cm,高 14 cm)内,以笼罩(60 目网纱)罩住。在塑料盆中心接入 30 头白背飞虱成虫,盆内灌水至一次性杯沿,由白背飞虱自由选择。接虫后 24、48、72、96 h 分别记录各施氮水平水稻植株上的落虫量,试验重复 5 次。以不同施氮水平水稻上白背飞虱的虫量占总释放虫量的比例(选择比例)表示不同施氮水平水稻对白背飞虱忌避性的大小。

1.5 不同施氮水平的水稻植株叶绿素含量的测定

于 09:00—12:00 采用叶绿素含氮测定仪 (SPAD-502,日本佳能公司出品)测定不同施氮水平的水稻(35 日龄)植株顶端的全展叶(1.5 叶龄)的叶绿素含量。在顶叶上部、中部和下部各 3 cm 处延中脉分别测定 1 次叶绿素含量,以 3 处测定平均值表示该叶片的叶绿素含量。每个施氮水平测定 10 株水稻。

1.6 不同施氮水平稻株主茎含水量的测定

齐泥剪取不同施氮水平水稻(35 日龄,单株)主茎,称其鲜质量(W)后,置于 80°C 烘箱内干燥 24 h,称其干质量(DW_1),重复 5 次。主茎含水量(WC) $= (W - DW_1) / W \times 100\%$ 。

1.7 不同施氮水平水稻植株地上部干物质量的测定

将不同施氮水平水稻(35 d)齐泥剪取后,将地上部分置于 80°C 烘箱内干燥 24 h,称干质量(DW_2),重复 5 次。

1.8 数据分析

采用 SPSS 17.0 软件分析数据。不同施氮水平水稻对白背飞虱的忌避性,不同施氮水平水稻的主茎含水量差异,数据经反正弦平方根转化后进行单因子方差分析,平均数差异均采用 LSD 法多重比较。不同施氮水平水稻的叶绿素含量 (SPAD 值),不同施氮水平水稻地上部干物质量,数据不转换进行单因子方差分析,平均数差异均采用 Tukey 法多重比较。不同施氮水平水稻的白背飞虱忌避性与其生理指标的相关性在 SPSS 17.0 中采用双变量 Pearson 法进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同施氮水平水稻对白背飞虱的忌避性

从白背飞虱对不同施氮水平 35 日龄水稻选择情况来看,不同施氮水平水稻对在水稻上饲养的白背飞虱种群的忌避性表现为白背飞虱选择定居 24 ~ 96 h, N0 处理的忌避性均最强。选择定居 24 h 时,不同施氮水平水稻对白背飞虱的忌避性与 N0 处理无明显差异(图 1-A);选择定居 48 h 时, N50 处理对白背飞虱忌避性增强,与 N0 处理无显著差异(图 1-B);选择定居 72、96 h 时, N150 处理对白背飞虱忌避性也有所增强,与 N50 无显著差异(图 1-C、图 1-D);96 h 时白背飞虱对 N200、N250、N350 处理的高选择性凸显,即高施氮量对水稻的飞虱忌避性较弱,高氮量对水稻的飞虱忌避性有明显负面影响。

2.2 不同施氮水平水稻的叶绿素含量

由图 2 可知,在不同施氮水平下, N0 处理的 35 日龄水稻的 SPAD 值最低(25.83),均显著低于 N150、N200、N250、N350 处理。N50 处理的水稻 SPAD 值(28.73)与 N0 处理差异不显著,随着施氮量的增加,SPAD 值有增加趋势,最高施氮量(N350)水稻的 SPAD 值(37.51)与中低施氮量(N150、N50)水稻的 SPAD 值差异显著。

2.3 不同施氮水平水稻的主茎含水量

由图 3 可知,在不同施氮水平下,35 日龄水稻的主茎含水量以 N0 处理的最低(77.05%),且显著低于其他各处理施氮水稻。施氮水稻中, N50 处理的水稻主茎含水量显著低于其他高氮量(200、250、350 kg/hm^2)水稻。高施氮量(200、250、350 kg/hm^2)水稻的主茎含水量较高。

2.4 不同施氮水平水稻地上部干物质量

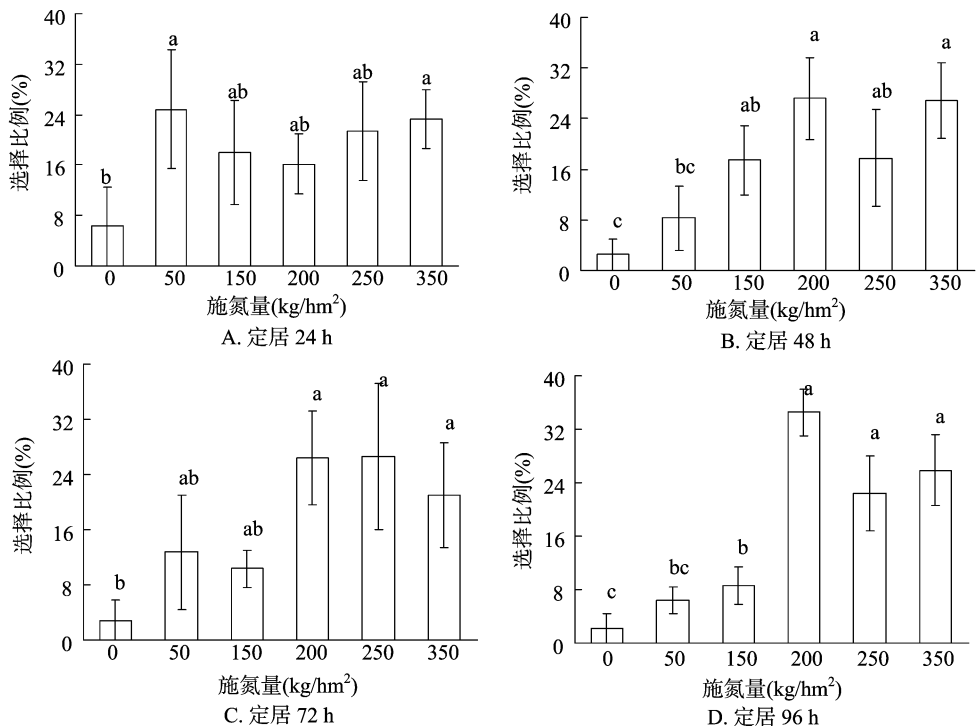
由图 4 可知,在不同施氮水平下,35 日龄水稻的地上部干物质量以 N0 处理最低(311.92 mg),显著低于其他各处理施氮水稻。施氮水稻中, N50 处理的地上干物质含量(1 077.52 mg)显著低于 N150、N200、N350 处理,在中高施氮量(150、200、350 kg/hm^2)下,水稻地上部干物质含量比较高。

2.5 不同施氮水平水稻的白背飞虱忌避性与其生理指标的相关性

不同施氮水平水稻的白背飞虱忌避性与其生理指标的相关性分析表明,白背飞虱选择 24 h 时,不同施氮水平水稻的白背飞虱忌避性与其 SPAD 值、主茎含水量和地上部干物质质量无相关关系;白背飞虱选择至 48 h 时,不同施氮水平水稻的白背飞虱忌避性与其 SPAD 值、主茎含水量、地上部干物质质量均显著相关,而且与其 SPAD 值、地上部干物质质量呈极显著相关;白背飞虱选择至 72 h 时,不同施氮水平水稻的白背飞虱忌避性与其 SPAD 值、主茎含水量显著相关;选择至 96 h 时,不同施氮水平水稻的白背飞虱忌避性仅与其 SPAD 值显著相关。由此可见,不同施氮量时水稻对白背飞虱的忌避性存在差异,而这种差异与不同施氮量下水稻的 SPAD 值、主茎含水量和地上部干物质的变化相关。

3 结论与讨论

未施氮的水稻(35 日龄, TN1)对白背飞虱的忌避性最强,当白背飞虱选择定居 72、96 h 时,施氮量为 50、150 kg/hm^2



柱上不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。下图同
图1 白背飞虱对不同施氮水平水稻的选择情况

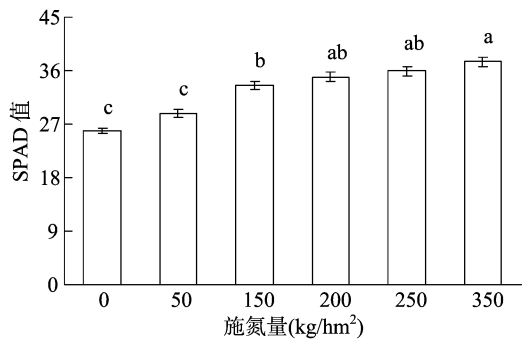


图2 不同施氮水平水稻的叶绿素含量

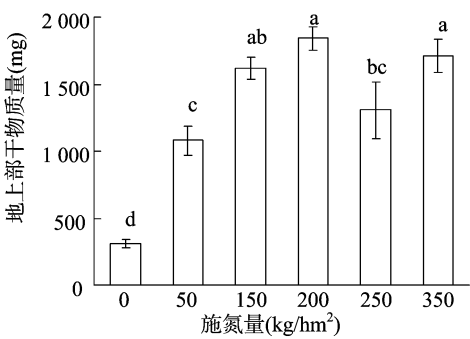


图4 不同施氮水平水稻的地上部干物质质量

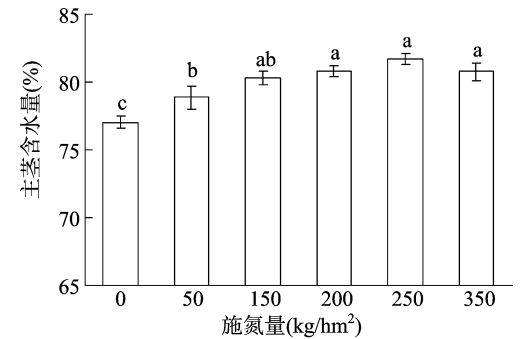


图3 不同施氮水平水稻的主茎含水量

表 1 不同施氮水平水稻的白背飞虱忌避性与其生理指标的相关性

水稻生理指标	与忌避性的相关系数			
	24 h	48 h	72 h	96 h
SPAD 值	0.565	0.929 **	0.830 *	0.817 *
主茎含水量	0.625	0.840 *	0.883 *	0.771
地上部干物质质量	0.593	0.935 **	0.727	0.763

注: **、* 分别表示在 0.01、0.05 水平上差异显著。

相似。由于褐飞虱在施用氮肥较多的水稻中危害程度更高^[10],由此推测白背飞虱在高氮水平水稻上的发生严重。

施氮不仅提高水稻的产量和品种,也会改变水稻植株体内生理生化物质。未施氮水稻(35 日龄,TN1)的叶绿素含量、主茎含水量和地上干物质质量最低,低施氮量(50 kg/hm²)时的水稻叶绿素含量与未施氮水稻的叶绿素含量无显著差异,施用高氮量(350 kg/hm²)的水稻 SPAD 值最为突出。施用氮(50、150、200、250、350 kg/hm²)后,水稻主茎含水量和地上部干物质含量均较未施氮水稻显著提高。

施氮水平对水稻的白背飞虱忌避性有明显影响。这种影

的水稻对白背飞虱的忌避性也较强。而 96 h 时,高氮量水稻(200、250、350 kg/hm²)对白背飞虱的忌避性较 50、150 kg/hm² 的水稻显著减弱。有研究表明,褐飞虱不仅喜欢选择施氮水稻取食和产卵,而且在含高氮量植株上的取食速率加快、蜜露分泌增多、针刺探次数较少、若虫存活率更高、生殖力增强^[9]。白背飞虱对高氮量水稻的高选择性与褐飞虱

响与在不同施氮水平下,水稻的叶绿素含量、主茎含水量和地上部干物质质量的变化有相关性。也就是说,从生理角度来推测,由于施用不同氮量导致水稻的叶绿素含量、含水量、地上部干物质含量等生理物质变化,间接影响白背飞虱的对不同施氮量水稻的选择性,从而影响不同施氮水平水稻对白背飞虱忌避性的强弱。

白背飞虱选择时间的不同,起关键作用的水稻生理物质也不同。如选择 48 h,关键的水稻生理物质为叶绿素含量、主茎含水量、地上部干物质含量;选择至 72 h 时,关键的水稻生理物质为叶绿素含量和主茎含水量;选择至 96 h 时,仅为叶绿素含量。总之,叶绿素在不同施氮水平水稻对白背飞虱的忌避性或抵御能力变化中起着较为重要的作用。白背飞虱前期(24 h)选择性与水稻生理物质(叶绿素含量、含水量、地上部干物质含量)变化无相关性。至 48 h 后,才与某些水稻生理物质变化相关。可能是由于此时飞虱对寄主的选择采取试探性原则,至 48 h 选择采用营养原则^[14,19];72 h 时仅与水稻叶绿素含量和主茎含水量的变化相关,这可能是由于白背飞虱为害后导致水稻营养物质下降,白背飞虱进行了再选择的缘故;96 h 时仅与水稻 SPAD 值变化相关,原因可能是水稻在遭受飞虱为害后除营养物质外,含水量也下降^[7]。

植物组织内氮含量与植食性昆虫体内氮含量(7%~14%)存在巨大差异^[20],为了获取足够氮素营养,植食性昆虫必须选择取食含氮较高的植物,导致寄主植物氮含量成为植食性昆虫成长发育、繁殖的重要限制因子之一^[21]。植物氮源匮乏时,昆虫取食量及取食速率下降、存活率下降、发育速率减慢、卵巢发育缓慢、产卵量减少^[22~23]。目前,在稻田生态系统中,氮肥在作物产量和品质形成中起着关键作用^[24~25],为了达到水稻高产的目的,我国稻田使用氮肥严重过量。施用氮肥达到高产和控制白背飞虱的双重目的尤为必要。从产量的角度来看,水稻田施氮 140.8~152.9 kg/hm² 最好,施用过量时产量有下降趋势^[26]。本研究结果表明,高施氮量(200、250、350 kg/hm²)水稻对白背飞虱的忌避性较弱。因此,从产量和水稻自身抵御白背飞虱能力的双重角度来看,田间施用氮量为 150 kg/hm² 较好。明确不同施氮水平对水稻的白背飞虱抵御机制,可为抗白背飞虱育种和充分发挥水稻的自身抵御能力提供依据。

参考文献:

- [1] 沈君辉,尚金梅,刘光杰. 中国的白背飞虱研究概况[J]. 中国水稻科学,2003,17(增刊1):7-22.
- [2] 周国辉,张曙光,邹寿发,等. 水稻新病害南方水稻黑条矮缩病发生特点及危害趋势分析[J]. 植物保护,2010,36(2):144-146.
- [3] 孙跃先,李正跃,严乃胜,等. 白背飞虱传播云南烟草丛枝症的研究[J]. 云南农业大学学报,2000,15(2):112-114.
- [4] 杨军,陈小荣,朱昌兰,等. 氮肥和孕穗后期高温对两个早稻品种产量和生理特性的影响[J]. 中国水稻科学,2014,28(5):523-533.
- [5] Zhao Y L, Xi M, Zhang X C, et al. Nitrogen effect on amino acid composition in leaf and grain of japonica rice during grain filling stage[J]. Journal of Cereal Science,2015,64:29-33.
- [6] 杨军,余秋英,陈小荣,等. 氮肥和高温对早稻淦鑫 203 产量、SPAD 值及可溶性糖含量的影响[J]. 江西农业大学学报,2015,

- 37(5):759-764.
- [7] 吕仲贤, Sylvia V, 俞晓平,等. 氮肥对稻株含水量和伤流液的影响及其与对褐飞虱为害耐性的关系[J]. 中国水稻科学,2004,18(2):161-166.
- [8] 梁国斌,莫亿伟,柳敏,等. 施氮对水稻植株和颖果发育及稻米品质的影响[J]. 西北植物学报,2008,28(9):1794-1802.
- [9] Lu Z X, Heong K L, Yu X P, et al. Effects of plant nitrogen on ecological fitness of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. in rice[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology,2004,7(1):97-104.
- [10] 吕仲贤, Heong K L, 俞晓平,等. 稻株含氮量和密度对褐飞虱存活、发育和生殖特性的影响[J]. 生态学报,2005,25(8):1838-1843.
- [11] Huang J R, Sun J Y, Liao H J, et al. Detection of brown planthopper infestation based on SPAD and spectral data from rice under different rates of nitrogen fertilizer[J]. Precision Agriculture,2015,16(2):148-163.
- [12] Ghobadifar F, Aimrun W, Jebur M N. Development of an early warning system for brown planthopper (BPH) (*Nilaparvata lugens*) in rice farming using multispectral remote sensing[J]. Precision Agriculture,2016,17(4):377-391.
- [13] 薛俊杰. 水稻品种抗虫性与叶片含水率的关系[J]. 河南农业科学,1986(7):6,24.
- [14] 王鹏. 褐飞虱侵害对水稻根系营养物质吸收和叶片水势的影响[D]. 扬州:扬州大学,2007:56-64.
- [15] 谭椰. 水稻水分胁迫对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* 取食行为影响及其生理研究[D]. 杭州:中国计量学院,2014:47-54.
- [16] 周小军,徐红星,郑许松,等. 氮肥施用量对杂交稻田白背飞虱和蜘蛛种群数量的影响[J]. 浙江农业学报,2012,24(5):865-869.
- [17] 张福锁,陈新平,陈清,等. 中国主要作物施肥指南[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [18] 巨晓棠,谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报,2014,20(4):783-795.
- [19] Rashid M M, Jahan M, Islam K S. Impact of nitrogen, phosphorus and potassium on brown planthopper and tolerance of its host rice plants[J]. Rice Science,2016,23(3):119-131.
- [20] Mattson W J. Herbivory in relation to plant nitrogen content[J]. Annual Review of Ecology and Systematics,1980,11:119-161.
- [21] 吕仲贤,俞晓平, Heong K L,等. 氮肥对植食性昆虫的影响及其对水稻主要害虫种群的诱导[J]. 中国水稻科学,2006,20(6):649-656.
- [22] Grüber K, Dixon A F G. The effect of nutrient stress on development and reproduction in an aphid[J]. Entomologia Experimentalis Et Applicata,1988,47(1):23-30.
- [23] 徐红星,张珏锋,郑许松,等. 施氮对白背飞虱在水稻上适应性的影响[J]. 中国水稻科学,2009,23(2):219-222.
- [24] 吕小红,付立东,王宇,等. 配比施用缓释肥与速效氮肥对机插水稻生长和产量的效应[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):83-85.
- [25] 崔月峰,孙国才,卢铁钢. 施氮量及氮肥运筹对超级梗稻生长发育和氮素利用特性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(4):125-128.
- [26] 刘立军,桑大志,刘翠莲,等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学,2003,36(12):1456-1461.