

陈锐浩,程凤娟,官利兰,等. 随水施肥技术在水稻上的应用研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):90-93.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.024

随水施肥技术在水稻上的应用研究

陈锐浩¹,程凤娟²,官利兰²,严程明²,邓兰生¹,张承林¹

(1. 华南农业大学农学院,广东广州 510642; 2. 广州一翔农业技术有限公司,广东广州 510650)

摘要:为提高水稻施肥的均匀性和一致性,并减少劳动强度,通过施肥桶模型和田间试验研究了水稻随水施肥技术的流量稳定性和施肥均匀性,以及在水稻上的应用效果,探究水稻随水施肥技术的可行性。结果表明:在稻田采用随水施肥后 16 h,均匀性变异系数降低至 15%~10%之间,能满足施肥均匀性的要求。在施肥作业时,施肥桶出水口起始开口角度 30°,当液面低于 40 cm 后,开口角度 45°,能维持施肥桶出水口流量的相对稳定。随水施肥技术对水稻有效穗数、实粒数、产量等均有促进作用,同时显著降低劳动成本,提高肥料利用效率和经济效益。

关键词:随水施肥;水稻;均匀性;经济效益

中图分类号: S147.3;S511.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0090-04

水稻 (*Oryza sativa* L.) 是我国最重要的谷类作物之一^[1-2],传统的水稻施肥方式为人工撒施,费工费时,劳动强度大,且均匀性难以保障;受劳动力的限制,施肥次数也相对较少,每次施肥量均较大,这样使得水稻长期处于“过饱过饥”的状态,前期养分过多造成肥害,中后期养分不足,造成脱肥,难以满足水稻整个生长期对养分的需求。同时,化肥的过度施用,大量养分流失到环境中,造成环境污染^[3-7];目前中国从事水稻生产的人员偏爱氮肥根深蒂固,施肥配比严重失调,不但降低了肥料利用率,而且严重影响稻谷的品质和增产增收。随着我国人口压力的不断增大,外出务工人员不断增加和人口老龄化,农业生产中劳动成本逐年上升,因此研究施肥技术的革新对提高水稻养分利用率和降低劳动成本具有重要意义^[8-9]。

水稻随水施肥技术是近年新发展的水稻水肥一体化施肥模式^[10],指在水稻灌溉的同时,借助灌溉水的动力将水溶性肥料随水分散到田中,一方面可以节省施肥的人工,另一方面能够实现“少量多次”,根据水稻的养分需求特点供应养分,达到高效、增产、节肥和节本的目的,施肥桶出水口流量稳定性和施肥的均匀性是随水施肥技术的关键指标,但目前相关理论研究较少,流量输出的恒定性以及施肥的均匀性等技术难题有待进一步解决。随水施肥技术目前在大棚蔬菜种植应用广泛^[11-12],通过肥水结合,让可溶性的养分渗入土壤中再为作物根系所吸收,但用大水漫灌来冲施化肥,容易造成养分的随水损失、水分利用率低的问题。同时,冲施化肥仅限于土壤表层,容易产生土壤盐化^[13]。在水稻上采用随水施肥,可以实现少量多次施肥,减轻施肥工作量,并根据水稻养分规律

及时供肥;水稻属须根系作物,不定根发达,生育期的大部分阶段需要淹水的环境且种植密度较大,随水施肥是肥料溶于水,渗入地下被植物吸收,与水稻根系接触面大,吸收快,吸收率高,减少了因作物来不及吸收而造成的肥料损失,同时满足水稻的灌溉需求;随水施肥还能避免施肥对水稻造成的机械损伤,克服封行后施肥困难。但水稻上采用随水施肥可能存在施肥的均匀性;肥料停留在田间的积水中,养分的吸收不会受影响等问题。针对水稻随水施肥的问题,笔者进行了系统研究,主要研究了肥料在田间分布的均匀性,灌水口施肥速度与施肥均匀性的关系,随水施肥与其他施肥方式相比对水稻生长的影响,分析其经济效益和推广的可行性,旨在为南方地区水稻随水施肥技术的推广应用提供理论参考。

1 材料与方 法

1.1 随水施肥技术均匀性研究

1.1.1 试验材料 施肥桶模型:透明 PVC 管(外径 110 mm,内径 104 mm,长 1.6 m),施肥桶出水口(4 分口),内牙直通,恒流节水器,压力补偿阀,秒表,量筒,量杯。试验于 2015 年在华南农业大学农学院植物营养系温室进行。

田间试验:于 2015 年 3 月在广东省开平市赤坎镇五龙村(22.4° N,112.6° E)进行。供试水稻品种为玉香油占。试验用下垫物:PVC 板(长 20 cm,宽 10 cm,高 5 cm,材质为聚氯乙烯);扇叶(如图 1 所示,扇叶直径 19 cm,材质为塑料)。供试肥料为液体肥 a(20-5-13)。

施肥桶设计:田间施肥桶为加厚塑料水桶(80 L),钻孔后通过内牙直通等配件连接塑料施肥桶出水口,在施肥桶出水口和直通之间连接恒流节水器和压力补偿阀对施肥桶出水口流量进行调节使保持相对稳定,避免桶内液面下降过程中施肥桶出水口流量变化过大而造成施肥不均匀。施肥桶置于进水口的田埂上,将水溶性肥料在桶内加水溶解,配成浓缩肥液,同时在进水口安置一个扇叶,用加厚铁丝固定于土中。打开进水口和施肥桶出水口,通过进水口的灌溉水流带动扇叶转动,肥液由施肥桶出水口流出,通过扇叶的带动与灌溉水充分搅匀,以保证肥料与灌溉水快速混匀,确保施肥的均匀性。

收稿日期:2015-12-11

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2013BAD05B00);公益性行业(农业)科研专项(编号:201103003)。

作者简介:陈锐浩(1990—),男,广东潮安人,硕士研究生,主要从事植物营养学研究。E-mail:r_hchen@126.com。

通信作者:张承林,教授,硕士生导师,主要从事作物营养与施肥技术和理论研究。TE-mail:clzhang@scau.edu.cn。

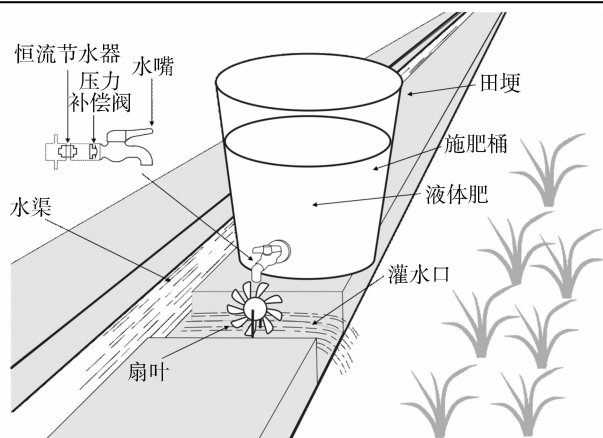


图1 水稻随水施肥技术示意

1.1.2 试验设计 施肥桶模拟试验设施施肥桶出水口角度为30°、45°、60°、90° 4个处理,每个处理3次重复。测定施肥桶中不同液面高度时出水口流量,每10 cm监测1次。

为研究不同下垫物对施肥均匀性的影响设无下垫物、PVC板、扇叶3个处理,每个处理3次重复。无下垫物处理指浓缩肥液在不加任何下垫物的情况下直接流入灌溉水进行混匀;PVC板处理指在施肥桶出水口的下方垫1块PVC板,浓缩肥液与PVC板撞击散开后再与灌溉水进行混匀;扇叶处理指在施肥桶出水口的下方放置扇叶,浓缩肥液撞击扇叶,并由扇叶转动与灌溉水进行搅匀。测定不同下垫物处理田间电导率(EC)的变化。

为研究不同田块面积对随水施肥技术施肥均匀性的影响设地块面积333.5、667、1334 m² 3个处理,分别记为Y1、Y2、Y3,每个处理3次重复。施肥后1、4、16 h分别按照对角线取

样法取5个点,用电导率仪测定不同位置田间水溶液EC值。
1.1.3 测定项目 施肥桶模型出水口开口角度为30°、45°、60°、90°时不同液面高度施肥桶出水口流量。

EC值采用DDS-307型电导率仪(上海精密仪器厂)测定。

1.2 随水施肥技术在水稻上的应用效果研究

1.2.1 试验材料 试验于2015年3—6月在广东省开平市赤坎镇五龙村(22.4 N,112.6 E)进行。该地区属亚热带季风气候区,年平均气温21.5℃,年平均降水量为1700~2400 mm。地势平坦,各重复之间地力较均衡,前茬作物为水稻,双季种植。供试土壤为红壤,其基本理化性状如下:pH值为5.85,碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为186.0、24.9、115.0 mg/kg,有机质含量为46.2 g/kg。供试水稻品种为玉香油占。供试肥料:复合肥a(24-7-19);复合肥b(16-16-16);长效肥(18-10-18,以控氮为主);液体肥a(20-5-13);液体肥b(11-6-21)。

1.2.2 试验设计 试验采用随机区组设计,3次重复,小区面积200 m²,设对照(不施肥,CK)、撒施(T1)、深施(T2)、冲施(T3)4个处理。对照不施肥;撒施处理基肥施用复合肥a 150 kg/hm²,分蘖中期施用复合肥b 450 kg/hm²;深施处理基肥施用长效肥 600 kg/hm²,后期不再追肥;冲施处理基肥(2015-03-23)施用复合肥a 150 kg/hm²,分蘖初期(2015-04-01)追施液体肥a 120 kg/hm²,分蘖中期(2015-04-07)追施液体肥a 150 kg/hm²,孕穗期(2015-05-07)追施液体肥b 150 kg/hm²,具体施肥时间和养分投入量见表1。2015年3月23日插秧,种植密度为15万穴/hm²,2015年6月29日收割,并进行产量和相关指标测定。

表1 水稻不同处理的养分投入量

kg/hm²

时间	CK	撒施处理(T1)			深施处理(T2)			冲施处理(T3)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2015-03-23	0	36	10.5	28.5	108	60	108	36	10.5	28.5
2015-04-01	0							24	6	15.6
2015-04-07	0	72	72	72				30	7.5	19.5
2015-05-07	0							16.5	9	31.5
总施肥量	0	108	82.5	100.5	108	60	108	106.5	33	95.1

1.2.3 测定项目 各小区随机选定15株水稻定期监测,成熟时于各小区中央随机选定1 m²测定有效穗数,同时取9株水稻进行考种,烘干(14%的标准含水量)称重,并考察穗粒数、结实率及千粒重等,并计算经济效益。计算方法如下^[14]:

净收益 = 产出 - 肥料成本 - 施肥人工成本 - 设施成本;

产出(元/hm²) = 稻谷产量(kg/hm²) × 当年稻谷价格(元/kg)。

成本和产出价格均依照2015年的市场价格计算,人工120元/d,8 h工作制。

1.3 数据处理

试验数据采用Microsoft Excel 2010(Microsoft Company)和SAS 8.1统计软件进行相关数据处理和分析。

2 结果与分析

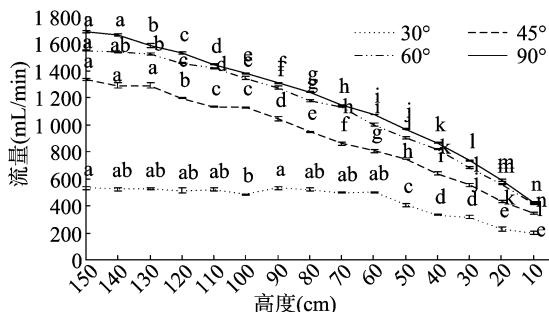
2.1 随水施肥技术均匀性研究结果

2.1.1 不同开口角度对施肥桶出水口流量的影响 不同开

口角度对施肥桶出水口流量的影响如图2所示。不同开口角度流量均随液面下降而缓慢下降。30°时,压力补偿效果较好,较长时间内维持流量相对恒定。液面下降到一定数值后,压力补偿失去效果,此时无法避免流量的减少。由图2可知,起始开口角度30°,当液面低于40 cm以后,开至45°,可保持整个施肥过程流量相对平稳。

2.1.2 不同下垫物对施肥均匀性的影响 不同下垫物对施肥均匀性的影响如图3所示,从图中结果可以看出,3种方式施肥后1 h EC值均匀度变异系数呈下降趋势,且扇叶处理的均匀度系数与无下垫物处理的均匀度系数间的差异达到0.05的显著水平。PVC板处理的均匀度变异系数与无下垫物处理相比有所下降,但差异不显著。说明下垫物为扇叶时,能显著提高随水施肥技术施肥的均匀性。因此试验过程中以扇叶为下垫物。

2.1.3 施肥后时间长短对施肥均匀性的影响 由图4可知,随着时间的推移,Y1、Y2、Y3处理的均匀度变异系数均呈现



不同小写字母表示0.05水平差异显著;下同。

图2 不同开口角度施肥桶出水口流量变化情况

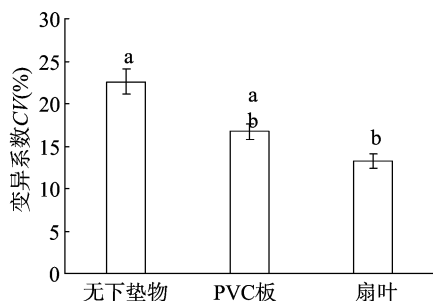


图3 不同下垫物对施肥均匀性的影响

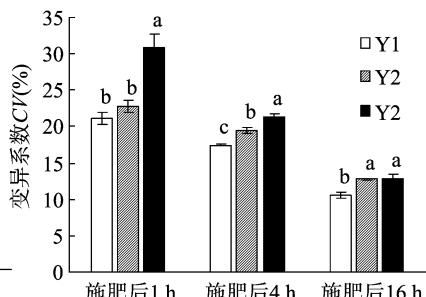


图4 不同田块面积施肥后均匀度变异系数

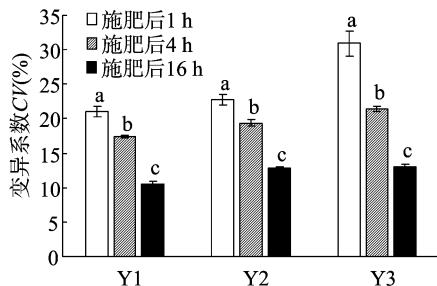


图5 施肥后不同时间段均匀度变异系数

表2 不同处理对水稻产量的影响

处理	有效穗数 (个/m ²)	实粒数 (粒/穴)	千粒质量 (g)	空秕率 (%)	产量 (kg/hm ²)
CK	263.67 ± 5.21c	1 236.00 ± 5.20c	17.54 ± 0.13b	18.5 ± 0.30a	3 541.90 ± 5.83d
T1	322.00 ± 1.73b	1 896.50 ± 18.19a	19.26 ± 0.10a	9.28 ± 0.72b	6 388.07 ± 243.9b
T2	351.50 ± 6.64a	1 552.50 ± 58.02b	18.92 ± 0.14a	7.33 ± 0.24c	5 725.55 ± 148.37c
T3	354.50 ± 3.18a	1 942.00 ± 25.98a	19.58 ± 0.50a	7.48 ± 0.35c	7 117.66 ± 192.30a

注:同列不同小写字母表示处理间在0.05水平差异显著。下表同。

施肥处理空秕率显著低于撒施和对照处理。从产量上看,冲施处理显著高于撒施、深施和对照处理,比撒施处理增产729.59 kg/hm²,增幅11.42%,比深施处理增产1 392.11 kg/hm²,增幅达24.31%。综上所述,随水施肥技术增产效果显著。

2.2.2 对养分利用效率的影响 由表3可知,冲施处理氮肥利用率显著高于深施和撒施处理,与深施处理相比增幅达56.85%,与撒施处理相比增幅达46.60%。冲施处理磷肥利用率与深施和撒施处理间无显著差异。不同施肥技术中钾肥利用率表现为冲施>撒施>深施。冲施处理钾肥利用率分别比撒施和深施处理高7.78、17.59个百分点。由此可见,随水施肥技术能有效提高水稻种植的肥料利用率,达到节肥目的。

表3 不同处理的肥料利用效率

处理	氮肥利用率 (%)	磷肥利用率 (%)	钾肥利用率 (%)
T1	22.64 ± 0.14b	19.94 ± 0.49a	33.28 ± 0.88b
T2	21.16 ± 2.00b	19.67 ± 1.67a	23.47 ± 2.31c
T3	33.19 ± 2.21a	22.42 ± 2.44a	41.06 ± 0.38a

2.2.3 随水施肥技术的经济效益 各处理的肥料投入成本如表4所示,均采用肥料的市场价格进行计算。液体肥料价格高,因此冲施处理肥料成本较深施和撒施处理高。

下降的趋势。Y1与Y3施肥后1、4、16 h变异系数间的差异达到0.05的显著水平,表明面积越大,施肥的均匀性也显著下降。由图5可知,施肥面积不同情况下,随着施肥后时间的推移,均匀度变异系数均出现显著下降,差异达到0.05的显著水平,变异系数16 h后稳定在10%~15%之间。

2.2 随水施肥技术在水稻上的应用效果

2.2.1 对水稻产量的影响 从表2可知,冲施和深施处理有效穗数显著高于撒施和对照处理,撒施处理与对照间的差异达到0.05的显著水平。冲施处理每穴的实粒数显著高于深施和对照处理,约为对照处理的1.5倍。施肥各处理千粒质量显著高于对照处理,但不同施肥方式间差异不显著。随水

表4 不同处理的肥料投入成本 元/hm²

处理	CK	撒施处理	深施处理	冲施处理
底肥	0	435	2 175	435
分蘖初期	0			840
分蘖中期	0	1 215		1 050
孕穗肥	0			1 050
总成本(元)	0	1 650	2 175	3 375

注:肥料市场价分别为复合肥a 2.9元/kg、复合肥b 2.7元/kg、长效肥2.9元/kg、液体肥a 7元/kg、液体肥b 7元/kg。

由表5可知,由于肥料成本的增加和施肥桶等设施成本、冲施处理的投入高于撒施和深施处理,但冲施处理人工成本比深施和撒施处理分别低48.37、160.87元/hm²,节省施肥用工的投入。由于冲施处理产量提高,净收益较撒施处理高316.47元/hm²。深施处理虽施肥用工成本较低,但肥料成本较高,故净收益较冲施处理仍少2 981.54元/hm²。可见,随水施肥技术经济效益明显高于其他2种施肥方式。

表5 不同处理的经济效益分析 元/hm²

处理	投入				产出稻谷	净收益
	人工	肥料	设备	合计		
撒施处理	225	1 650	0	1 875	21 719.44	19 844.44
深施处理	112.5	2 175	0	2 287.5	19 466.87	17 179.37
冲施处理	64.13	3 375	600	4 039.13	24 200.04	20 160.91

3 讨论与结论

压力补偿器一般通过改变不同压力下水流通过流道的长度或过流断面面积来调节流量,使流量在一定的压力范围内保持恒定^[15]。施肥桶出水口通过压力补偿改良后,有一定的稳流作用,但由于无外源压力,随着液面的下降,无法避免桶内液位的下降,流量不断减小,在施肥作业时,起始开口角度为30°,当液面低于40 cm后,开口角度为45°,能维持施肥桶出水口流量的相对稳定;采用扇叶作为下垫物可使流体微团分散,因此能较好地迅速将浓缩肥液与灌溉水混匀,这与涡轮式搅拌器适用于低黏度到中等黏度流体的液-液分散描述一致^[16]。

冲施处理施肥后1、4、16 h的均匀度变异系数呈现下降的趋势且差异显著,表明施肥结束后随着时间的推移田间水层的EC值趋向一致,主要是因为溶质的扩散作用^[17],使均匀性逐渐提高。施肥后1 h均匀度变异系数均较大,可能是因为随水施肥过程中水溶性肥料借助灌溉水动力分散到田间,若田间尚有水层存在,肥水只能推动田间水层往后移动,水溶肥料由近及远扩散,故田间水层EC值表现为随着与进水口距离的增加而降低,进水口处高,远离进水口处低。不管田块面积大小,均匀度变异系数在16 h后均能大幅下降,保持在10%~15%之间,即施肥16 h后基本可以达到稳定。常用的抛撒式施肥机要求施肥均匀度变异系数 $CV \leq 20\%$,圆盘式撒肥机进行田间作业时横向施肥均匀度变异系数 CV 为10%~15%^[18]。由此可见,随水施肥技术施肥后16 h,均匀度变异系数就能满足施肥均匀性的要求,采用随水施肥技术进行水稻施肥时,田间水层越少越有利于施肥均匀性的提高。

采用随水施肥技术,水稻产量可达7 117.66 kg/hm²,比撒施处理增产729.59 kg/hm²,增幅达11.42%,较深施处理增产1 392.11 kg/hm²,增幅达24.31%。同时提高了养分利用率,氮肥利用率比撒施处理提高了10.55个百分点,比深施处理提高12.03个百分点,增幅分别达46.60%和56.85%。钾肥利用率分别比撒施和深施处理高7.78、17.59个百分点,增幅分别为23.38%、74.95%,磷肥利用效率差异不显著。深施处理的氮磷钾养分利用效率均比其他处理要低,可能是因为该长效肥主要为控氮产品,控磷控钾功能较差,肥料损失较多。李殿平等开展的全程深施肥技术与本研究的随水施肥技术有一定的相似性,其研究结果同样表明,全程深施肥技术能够使水稻生育前期平稳生长,后期优势生长,延长有效分蘖期,增加有效分蘖数,提高叶绿素含量和干物质积累量^[19]。随水施肥处理因采用“少量多次”^[20-21],并根据水稻需肥特点进行追肥,其氮磷钾的养分利用率得到大幅度的提高^[22-23]。

水稻随水施肥技术的经济效益均高于其他2种施肥模式,虽因采用的肥料为液体肥,成本高,但大幅度降低人工成本,降低水稻种植过程中施肥的劳动强度,因而显著增产增收。随水施肥技术的应用不限于仅使用商品复合液体肥,还可根据水稻的养分需求特点,采用尿素、氯化钾、磷酸二铵等水溶性单质肥料配置成浓缩肥液,大幅度降低肥料成本,并提高肥料的利用效率。

随水施肥技术水稻上能大幅度节肥、降低劳动成本并提高养分利用效率,增加产量,提高经济效益低,而随水施肥技术在其他作物上的应用方式及应用效果有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Singh J, Kaur L, Ogawa Y. Importance of chemistry, nutrition and technology in rice processing[J]. Food Chemistry, 2016, 191: 1.
- [2] 王伟妮. 基于区域尺度的水稻氮磷钾肥料效应及推荐施肥量研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.
- [3] Li Y J, Chen X, Shamsi I H, et al. Effects of irrigation patterns and nitrogen fertilization on rice yield and microbial community structure in paddy soil[J]. Pedosphere, 2012, 22(5): 661-672.
- [4] Guan G, Tu S X, Yang J C, et al. A field study on effects of nitrogen fertilization modes on nutrient uptake, crop yield and soil biological properties in rice-wheat rotation system[J]. Agricultural Sciences in China, 2011, 10(8): 1254-1261.
- [5] Liang X Q, Chen Y X, Li H, et al. Modeling transport and fate of nitrogen from urea applied to a near-trench paddy field[J]. Environmental Pollution, 2007, 150(3): 313-320.
- [6] Peng S, Bouman B. Prospects for genetic improvement to increase lowland rice yields with less water and nitrogen[J]. Frontis, 2007, 21: 249-264.
- [7] 杨林章, 冯彦房, 施卫明, 等. 我国农业面源污染治理技术研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(1): 96-101.
- [8] 曾胜和, 尹飞虎, 张磊, 等. 磷肥施用方法对滴灌水稻产量、养分吸收及运移的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(22): 5-7, 17.
- [9] 董稳军, 黄旭, 郑华平, 等. 广东省60年水稻肥料利用率综述[J]. 广东农业科学, 2012, 39(7): 76-79.
- [10] 龚林, 严程明, 涂攀峰, 等. 施用液体复合肥对水稻产量、品质及经济效益的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 42(16): 7-11.
- [11] 张慎好, 武春成, 冯志红, 等. 冲施肥对菜豆产量效应的影响[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(11): 4947-4949.
- [12] 侯伟, 景炜明, 牛娜, 等. 设施蔬菜冲施肥使用机理研究[J]. 陕西农业科学, 2013, 59(5): 156-157.
- [13] 佚名. 冲施肥的技术与应用前景[J]. 中国瓜菜, 2011, 24(6): 71.
- [14] 严程明, 张江周, 石伟琦, 等. 滴灌施肥对菠萝产量、品质及经济效益的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(2): 496-502.
- [15] 魏正英, 马胜利, 周兴, 等. 压力补偿灌水器水力性能影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(15): 19-25.
- [16] 许雪岩. 聚合物驱动态混合器与配套技术设计[D]. 大庆: 东北石油大学, 2014.
- [17] 陈丽娜, 韩龙喜. 扩散作用对静水湖泊水质浓度空间分布的影响[J]. 水资源保护, 2008, 24(1): 20-22.
- [18] 董向前, 宋建农, 张军奎, 等. 锥盘式颗粒肥撒施机构抛撒性能分析与试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(19): 33-40.
- [19] 李殿平, 曹海峰, 张俊宝, 等. 全程深施肥对水稻产量形成及稻米品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(1): 73-78.
- [20] 张承林, 邓兰生. 水肥一体化技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012.
- [21] 朱齐超, 危常州, 李美宁, 等. 氮肥运筹对膜下滴灌水稻生长和产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2013, 27(4): 440-446.
- [22] 董作珍, 吴良欢, 柴婕, 等. 不同氮磷钾处理对浙优1号水稻产量、品质、养分吸收利用及经济效益的影响[J]. 中国水稻科学, 2015, 29(4): 399-407.
- [23] 戴平安, 郑圣先, 李学斌, 等. 穗肥氮施用比例对两系杂交水稻氮素吸收、籽粒氨基酸含量和产量的影响[J]. 中国水稻科学, 2006, 20(1): 79-83.