

缓释尿素在双季稻上的养分供应特征^①

张 木, 唐拴虎*, 黄巧义, 易 琼, 黄 旭

(广东省农业科学院农业资源与环境研究所/广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广州 510640)

摘 要: 采用双季早晚稻的田间试验, 研究了养分释放期为 60 d 和 90 d 的两种不同缓释尿素对整个生育期内水稻养分吸收的影响。结果表明: 60 d 型缓释尿素一次性施用在早、晚稻上均达到了普通尿素分次施肥时的产量水平, 而 90 d 型缓释尿素一次性施用在早稻上效果好晚稻上效果欠佳。60 d 和 90 d 型缓释尿素一次性施用的优势在于能使水稻有较高的有效穗数及穗粒数, 整个生育期地上植株氮(灌浆期不含籽粒)含量也显著高于普通尿素分次施肥、普通尿素一次施用及不施氮处理, 而灌浆过程中籽粒、剑叶、倒二位及倒三位叶的氮含量及剑叶 SPAD 值(叶绿素相对含量)也均高于其他 3 个处理。两种缓释尿素均使水稻出现了不同程度的贪青状况, 其中以 90 d 型缓释尿素贪青最为严重, 60 d 型缓释尿素的养分释放期对水稻较为适中而 90 d 型缓释尿素较长。

关键词: 水稻; 缓释尿素; 养分吸收动态; 养分累积; 产量

中图分类号: S145.5 **文献标识码:** A

我国人均耕地面积为 0.08 hm², 仅占世界人均耕地面积的 1/3, 人均耕地资源贫乏^[1]。近 30 年我国人口快速增长, 从而导致对农产品的需求量不断增多, 农产品价格上涨, 在经济利益的驱使下使得土地资源被高强度利用, 因此许多农民盲目性地加大对肥料的投入, 不但造成了环境污染而且还破坏了耕地质量^[2]。随着科学技术的进步, 人们对肥料的功能有了新的认识, 新型的高效肥料能同时满足用地和养地相结合的要求, 在不破坏耕地质量并提高土壤基础肥力的基础上减少对环境造成的污染^[3], 同时还能结合运用相应的机械设备进行轻简化施肥, 如水稻种植过程中的施肥插秧一体化、小麦种植过程中种肥同播等。因此, 为了保证我国现代农业的安全、高效和可持续发展, 我们必需要认识到土壤肥料的重要作用 and 基础地位, 加大对新型高效肥料配方的科技创新研发力度、完善施肥技术体系、加强对新产品及新技术的试验及示范推广力度。

以往的研究大多集中于缓释肥的长效性、环保性、养分释放时间、高养分利用率等方面的研究^[4-7], 本试验以水稻为研究对象, 通过在整个生育期内高密度的取样来研究缓释肥的养分供应特征与水稻养分需求状况之间的关系, 分析缓释肥的养分释放速率能

不能满足水稻在需肥量较大时期的养分需求, 探讨缓释肥的养分释放期与水稻生长期的吻合性, 研究缓释肥一次施用下的水稻生长发育规律, 进而为减量化施肥以及肥料配方的改良提供理论上的指导和技术上的支撑。本研究在早稻及晚稻上开展, 所选用的释放期为 60 d 及 90 d 的缓释尿素是经过长期试验检验在养分释放期及养分释放速率上均相对比较稳定的肥料产品。

1 材料与方法

1.1 供试材料与试验设计

试验于 2016 年在广东省台山市都斛镇万亩高产示范片开展, 采用双季早晚稻田田间试验。早稻试验于 3 月 22 日施肥, 3 月 23 日插秧, 7 月 5 日收获; 晚稻于 8 月 18 日施肥, 8 月 19 日插秧, 11 月 15 日收获。早晚稻均为杂交水稻, 早稻品种为“杂优”, 晚稻品种为“泰丰优”, 均采用秧田育苗后期移栽的方式进行。供试水稻土为黏壤土, 土壤基本理化性质为: pH 4.93、有机质 30.6 g/kg、碱解氮 148.9 mg/kg、有效磷 8.9 mg/kg、速效钾 145.0 mg/kg。通过对试验土壤的前期施肥情况进行调查, 选取土壤养分均匀且平整的田块开展试验, 小区试验的规格设置为每区

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201303103; 201503123)和广东省科技计划项目 (2012A020100004; 2014B090904068)资助。

* 通讯作者(1006339502@qq.com)

作者简介: 张木(1984—), 男, 河南信阳人, 博士, 副研究员, 主要从事水稻营养与施肥研究。E-mail: muzhang1123@126.com

27.5 m², 田脊高约 30 cm, 宽约 20 cm, 整个田脊表层用塑料薄膜进行覆盖以免养分横向迁移, 各小区排灌有独立沟渠以避免养分径流污染。

早晚稻试验处理相同, 均设 5 个处理: 不施氮 (CK)、普通尿素分次施用 (SA(urea)): 基肥 50%, 返青肥 20%, 穗肥 30%、普通尿素一次性施用 (SBA(urea))、养分释放期为 60 d 的缓释尿素一次性施用 (SBA (60D-urea))、养分释放期为 90 d 的缓释尿素一次性施用 (SBA (90D-urea)), 每个处理 4 次重复。60 d 型缓释尿素和 90 d 型缓释尿素均为广东天禾中加化肥有限公司所提供, 都属于树脂包膜的缓释肥料, 其养分释放期分别为 60 d 左右和 90 d 左右。除对照外, 其他各处理施氮量均为 N 150 kg/hm²; 包含对照在内的所有处理磷、钾量相同, 分别为磷肥 P₂O₅ 55 kg/hm²、钾肥 K₂O 130 kg/hm², 磷钾全部作基肥施用, 肥料分别为过磷酸钙和氯化钾。

采用拉绳定苗, 小区横向单行苗数 10 株, 纵向单行苗数 50 株, 早稻及晚稻插秧规格统一。在早稻及晚稻的整个生育期内, 有专人负责田间排灌水管理、病虫害防治管理, 各环节均严格管控, 确保试验数据可靠有效。在水稻生育期内进行定时采样, 在水稻收获后测定产量、产量构成等指标。对早稻指标进行重点分析, 研究其生长变化规律, 晚稻作为验证试验, 仅做产量及产量构成要素的分析。

1.2 样品采集及测定

早稻于 2016 年 3 月 22 日插秧, 分别于 4 月 11 日、4 月 18 日、4 月 25 日、5 月 3 日、5 月 10 日、5 月 17 日、5 月 24 日、5 月 31 日、6 月 7 日、6 月 15 日、6 月 21 日、6 月 27 日及 7 月 5 日采植株样进行分析。为了避免过于频繁采样对后期测产造成不必要

的影响, 将小区分为采样区和测产区。在移栽后至抽穗前采集整个地上部植株, 在抽穗后至收获前每次采集样品两套, 其中一套去除稻穗部分仅保留植株部分, 另外一套分为稻穗(含穗基)、剑叶、倒二位及倒三位叶共计 3 个部分。样品处理时, 先用自来水清洗干净后, 再用纯水润洗, 而后 105℃杀青 30 min 后降温至 65℃烘干至恒重, 在测定干物质质量后将样品粉碎, 测定氮、磷、钾养分含量。植株氮、磷、钾含量均采用硫酸-双氧水进行消解, 消解液中的氮采用凯氏定氮法、磷采用钼黄比色法、钾采用火焰光度法测定^[8]。在灌浆期(6 月 7 日、6 月 15 日、6 月 21 日、6 月 27 日及 7 月 5 日)上午 10:30—11:30, 使用手持式叶绿素仪 (SPAD-502Plus), 选取剑叶测定 SPAD 值(表示叶绿素相对含量), 每区测量 8 次。

1.3 数据处理

本试验数据采用 SPSS 12.0 进行统计分析, 各处理之间的多重比较采用 LSD-test ($P < 0.05$) 法; 数据图采用专业绘图软件 Sigma plot 进行绘制。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对早、晚稻产量及产量构成的影响

由表 1 可知, 一次性施用释放期为 60 d 及 90 d 的缓释尿素处理, 早、晚稻产量均达到了普通尿素分次施肥的产量水平, 其中以 60 d 型缓释尿素处理最高; 普通尿素一次性施用处理早、晚稻的产量均显著低于分次施肥处理。从产量构成要素上看出, 60 d 及 90 d 型缓释尿素处理其有效穗数和穗粒数占优势, 但 90 d 型缓释尿素处理千粒重偏低。普通尿素一次性施用处理, 特别是早稻有效穗数和穗粒数偏低。

表 1 不同施肥处理早、晚稻的产量及产量构成
Table 1 Yields and yield components of early and late rice under different fertilization treatments

水稻类型	处理	产量 (kg/hm ²)	有效穗数(个/株)	穗粒数(粒)	千粒重(g)	结实率(%)
早稻	CK	4 999.6 ± 172.4 c	10.8 ± 0.3 b	151.6 ± 10.4 c	21.4 ± 0.2b	90.1 ± 0.6 b
	SA (urea)	7 641.5 ± 150.5 a	14.1 ± 0.4 a	180.8 ± 1.3 b	21.9 ± 0.7 ab	91.0 ± 1.7 ab
	SBA(urea)	6 303.6 ± 187.5 b	11.9 ± 0.4 b	173.4 ± 3.1 bc	23.0 ± 0.5 a	94.1 ± 0.6 a
	SBA(60D-urea)	7 701.7 ± 72.7 a	13.3 ± 0.2 a	221.1 ± 2.7 a	21.8 ± 0.5 ab	92.1 ± 0.7 ab
	SBA(90D-urea)	7 442.7 ± 152.6 a	13.4 ± 0.6 a	230.2 ± 5.4 a	21.6 ± 0.5 b	89.4 ± 1.6 b
晚稻	CK	6 058.5 ± 192.0 d	13.5 ± 0.7 b	170.5 ± 5.8 c	19.0 ± 0.3 ab	85.8 ± 1.3 a
	SA(urea)	8 519.0 ± 122.8 ab	15.1 ± 0.1 a	193.6 ± 5.3 bc	19.1 ± 0.2 ab	86.2 ± 1.8 a
	SBA(urea)	7 492.8 ± 100.0 c	14.7 ± 0.2 ab	193.3 ± 7.7 bc	18.2 ± 0.5 b	84.0 ± 2.3 a
	SBA(60D-urea)	8 807.0 ± 231.2 a	15.5 ± 0.7 a	217.7 ± 8.1 a	19.5 ± 0.3 a	86.4 ± 2.5 a
	SBA(90D-urea)	8 081.0 ± 176.3 b	15.3 ± 0.4 a	210.5 ± 10.3 ab	18.5 ± 0.3 ab	86.1 ± 1.1 a

注: 同列不同小写字母表示同一水稻不同施肥处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 不同施肥处理对早稻地上部生物量及灌浆期籽粒重量动态变化的影响

如图 1 所示,水稻地上部干物质(灌浆期不含稻穗)随生育期的延长而显著增加,在移栽后 80 d 地上部生物量显著降低,在灌浆期则保持相对稳定;在水稻生育期的中后期,90 d 型及 60 d 型缓释尿素处

理,生物量要高于普通尿素分次施肥处理和普通尿素一次施用处理及不施氮处理。在灌浆过程中,各处理籽粒干物质累积量均在显著增加,在灌浆末期两种不同释放期的缓释尿素处理与普通尿素分次施肥处理之间差别不大,但均高于普通尿素一次施用处理和不施氮处理。

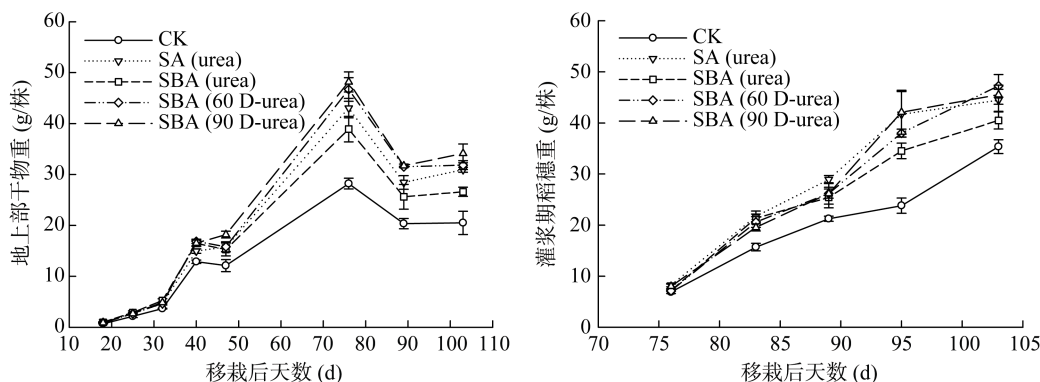


图 1 不同施肥处理对早稻地上植株(灌浆期不含籽粒)及稻穗(穗基+籽粒)干物质累积量的影响
Fig. 1 Effects of different fertilization treatments on dry matter accumulations in shoots and grains of early rice

2.3 不同施肥处理对早稻植株及籽粒氮含量及累积量动态变化的影响

如图 2 所示,在整个生育期内水稻植株地上部(灌浆期不含稻穗)氮含量呈现出不断降低的趋势,而 90 d 型和 60 d 型缓释尿素处理高于普通尿素分次施肥处理、普通尿素一次施用处理及不施氮处理。在整个生育期内水稻地上部氮累积量呈现出先增加而后降低的趋势,90 d 型和 60 d 型缓释尿素处理地上部氮累积量高于普通尿素分次施肥处理和普通尿素一次施用处理;普通尿素分次施肥处理水稻生长后期地上部氮累积量虽然略高于普通尿素一次性施用处理,但幅度不大。在灌浆期(图 3),稻穗中氮含量呈现出“W”形波动上升的趋势;各处理之间,稻穗中氮含量以 90 d 型和 60 d 型缓释尿素处理较高,其中 90 d

型缓释尿素处理最高,均高于普通尿素分次施肥处理、普通尿素一次施用处理和不施氮处理。随着灌浆期的延长,稻穗氮累积量显著上升,而各处理之间的差异特征与各处理稻穗氮含量的差异特征基本相似。

2.4 不同施肥处理对早稻灌浆期剑叶、倒二位及倒三位叶片氮含量的影响

如图 4 所示,在灌浆过程中水稻主要功能叶如剑叶、倒二位叶及倒三位叶中氮含量均呈现出不断降低的趋势。90 d 型缓释尿素处理其剑叶、倒二位叶及倒三位叶的氮含量均高于 60 d 型缓释尿素处理,而 60 d 型缓释尿素处理又高于普通尿素分次施肥处理及普通尿素一次性施用处理;普通尿素分次施肥处理与普通尿素一次施用处理在上述主要功能叶氮含量方面差别不大。

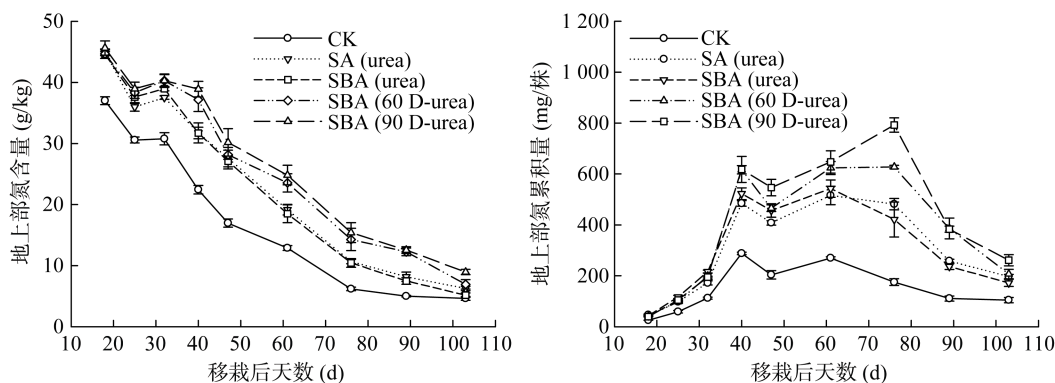


图 2 不同施肥处理对早稻植株地上部(灌浆期不含籽粒)氮含量及累积量的影响
Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on N contents and N accumulations in shoots of early rice

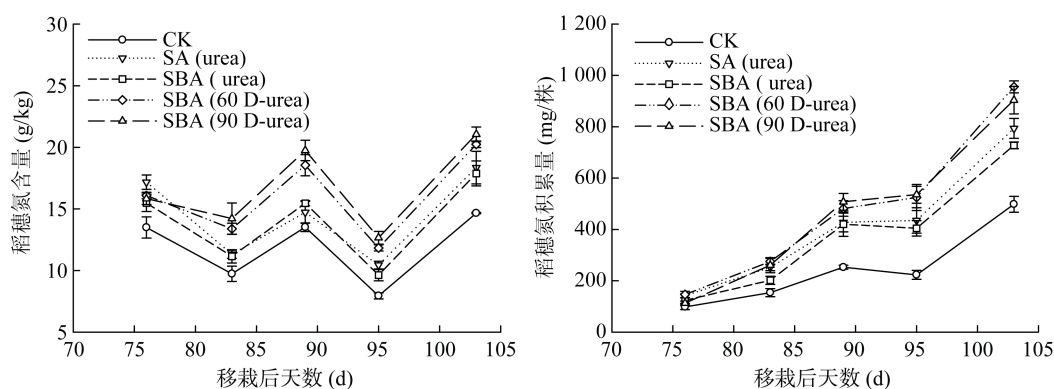


图 3 不同施肥处理对灌浆期早稻稻穗(含穗基)氮含量及累积量的影响

Fig. 3 Effects of different fertilization treatments on N contents and N accumulations in panicles of early rice in filling stage

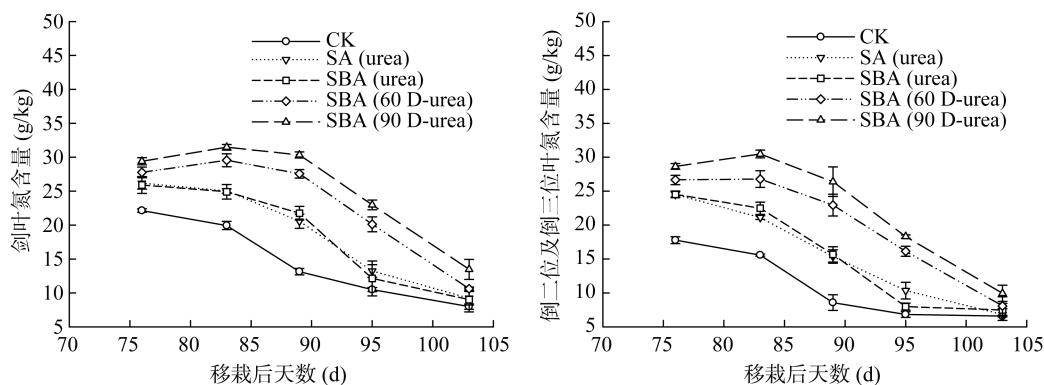


图 4 不同施肥处理对灌浆期早稻剑叶、倒二位及倒三位叶氮含量的影响

Fig. 4 Effects of different fertilization treatments on N contents in flag leaves, penultimate and third leaves of early rice in filling stage

2.5 不同施肥处理对早稻整个生育期内磷、钾含量变化动态的影响

如图 5 所示,在整个生育期内水稻植株地上部(灌浆期不含稻穗)磷、钾含量均呈现出不断降低的趋势,但是各施肥处理之间差别不大。如图 6 所示,在水稻移栽后 75 d 的灌浆初期各处理剑叶磷含量差异不大,但是随着灌浆期的延长,90 d 型及 60 d 型缓释尿素处理剑叶磷含量高于普通尿素分次施肥处理、普通尿素一次施用处理及不施氮处理的幅度不断增

大,在灌浆末期又逐渐缩小;在整个灌浆期 90 d 型及 60 d 型缓释尿素处理剑叶钾含量始终略高于其他处理。如图 7 所示,在灌浆过程中,稻穗磷含量呈现出“W”形波动性上升,而钾含量则呈现出不断降低的趋势;各处理之间稻穗磷、钾含量没有显著差异。

2.6 不同施肥处理对早稻灌浆期叶绿素含量变化动态的影响

如图 8 所示,在整个灌浆过程中,剑叶 SPAD 值呈现出不断降低的趋势,在灌浆中后期最为明显,而

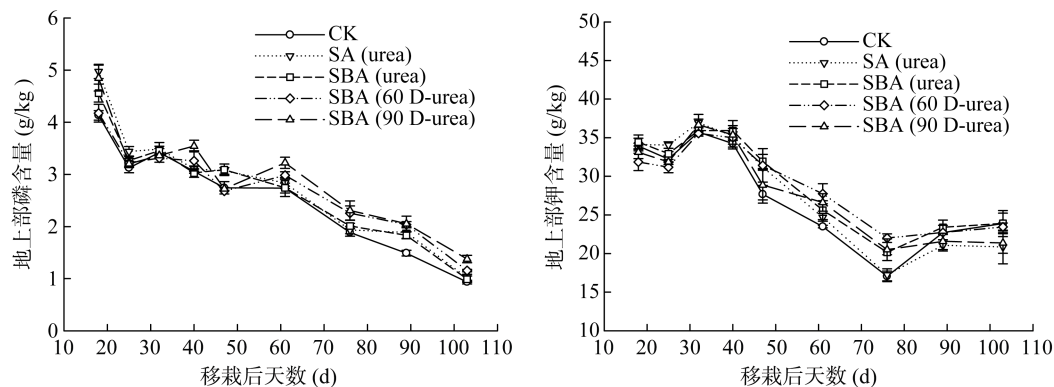


图 5 不同施肥处理对早稻地上部(不含籽粒)磷、钾含量的影响

Fig. 5 Effects of different fertilization treatments on P and K contents in shoots of early rice

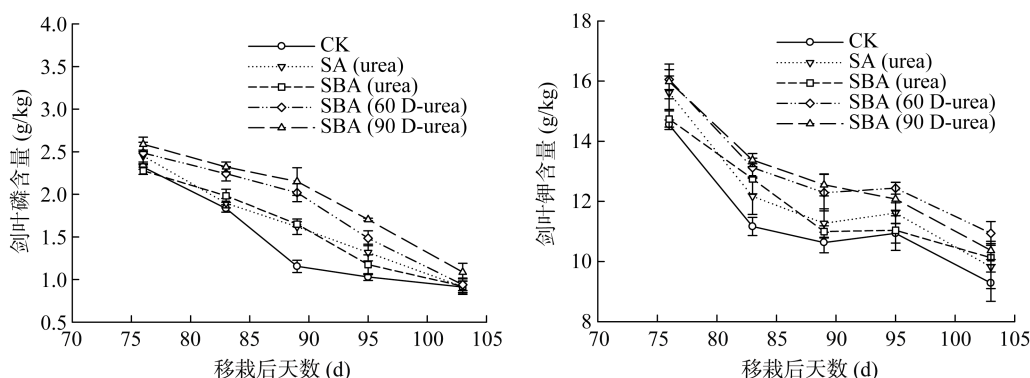


图 6 不同施肥处理对早稻剑叶磷、钾含量的影响

Fig. 6 Effects of different fertilization treatments on P and K contents in flag leaves of early rice

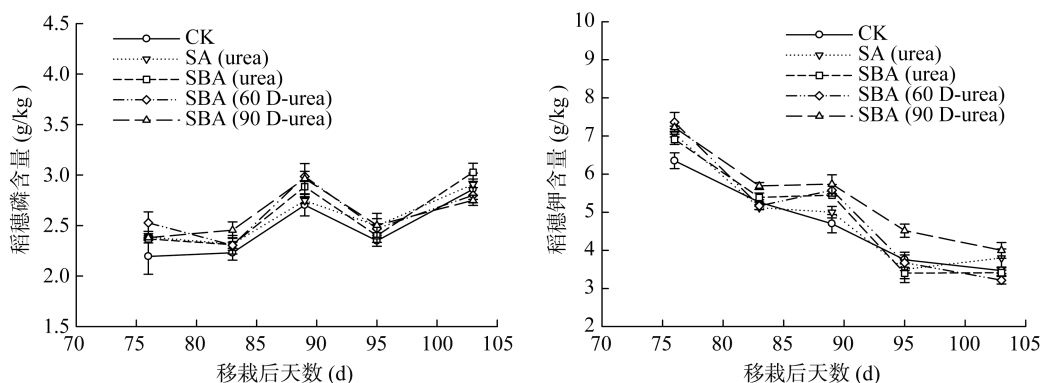


图 7 不同施肥处理对早稻灌浆期稻穗磷、钾含量的影响

Fig. 7 Effects of different fertilization treatments on P and K contents in panicles of early rice in filling stage

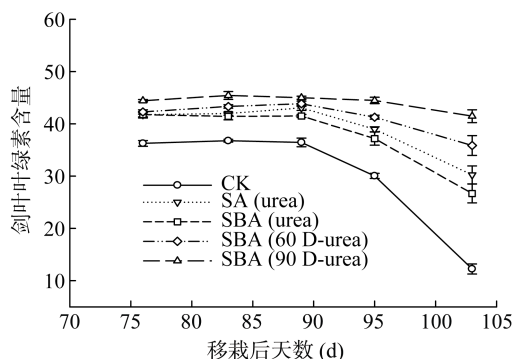


图 8 不同施肥处理对早稻灌浆期剑叶叶绿素的影响

Fig. 8 Effects of different fertilization treatments on flag leaf SPAD values of early rice in filling stage

且灌浆后期 90 d 型缓释尿素处理、60 d 型缓释尿素处理、普通尿素分次施肥处理、普通尿素一次施用处理及不施氮处理剑叶 SPAD 值的差距在不断增大,在收获前的灌浆末期差距最大,其高低顺序分别为 90 d 型缓释尿素处理 > 60 d 型缓释尿素处理 > 普通尿素分次施肥处理 > 普通尿素一次施用处理 > 不施氮处理。

2.7 不同施肥处理对早稻土壤铵态氮含量变化的影响

如表 2 所示,在水稻移栽后 18 d 时,土壤中

铵态氮含量的高低顺序为:普通尿素一次施用处理 > 60 d 型缓释尿素 > 普通尿素分次施肥处理 > 90 d 型缓释尿素处理 > 不施氮处理,在移栽 25 d 时的高低顺序为:普通尿素一次施用处理 > 90 d 型缓释尿素处理 > 60 d 型缓释尿素处理 > 普通尿素分次施肥处理 > 不施氮处理,而移栽后 40 d 及 76 d 时土壤中铵态氮含量均以 90 d 型缓释尿素处理最高,而 60 d 型缓释尿素处理次之。

3 讨论

缓释肥料在多种作物上均可以达到一次施用以满足整个生育期内作物对养分的需求^[9-11],而且本研究也证实在水稻上施用新型缓释肥料可以达到稳产增产的效果,可以替代传统的分次施肥。60 d 型及 90 d 型缓释尿素一次施用,早稻产量均达到了普通尿素分次施用的水平,并显著地高于普通尿素一次性施用及不施氮处理,但在晚稻上 90 d 型缓释尿素处理水稻产量低于普通尿素分次施肥处理但差异不显著。从产量构成要素上分析,两种缓释尿素的处理其有效穗数、穗粒数占绝对优势,而千粒重则相对偏低,尤其是 90 d 型缓释尿素处理。缓释尿素养分释放速率与水稻氮肥需求规律的匹配性,是决定该种缓释

表 2 不同施肥处理对早稻土壤铵态氮含量的影响(mg/kg)

Table 2 Soil $\text{NH}_4^+\text{-N}$ contents under different fertilization treatments

处理	移栽后 18 d	移栽后 25 d	移栽后 40 d	移栽后 76 d
CK	8.8 ± 1.5 d	17.1 ± 0.3 d	22.0 ± 3.2 c	3.8 ± 0.7 b
SA (urea)	60.7 ± 10.0 bc	59.3 ± 7.3 c	37.9 ± 2.1 bc	4.4 ± 0.4 b
SBA (urea)	115.6 ± 15.1 a	148.9 ± 2.2 a	47.8 ± 6.8 b	3.8 ± 0.7 b
SBA (60D-urea)	89.2 ± 5.2 ab	103.5 ± 6.6 b	51.0 ± 7.1 ab	5.2 ± 1.0 b
SBA (90D-urea)	51.6 ± 1.4 c	132.5 ± 15.6 a	65.5 ± 8.2 a	13.9 ± 0.1 a

注：同列不同小写字母表示不同施肥处理间差异显著($P < 0.05$)；普通尿素分次施肥处理(SA(urea))的最后一次追肥时间是移栽后第 40 天。

肥料是否适合施用的重要因素，缓释肥料的养分释放期过长、养分释放速率过慢，很可能会导致前期养分供应不足而后期养分供应过量。在本研究中，两种缓释尿素处理的水稻均获得了较高的有效穗数和穗粒数，有效穗数形成于分蘖期而穗粒数形成于幼穗分化期^[12-13]，由此说明 60 d 型及 90 d 型缓释尿素在水稻生长前期的分蘖期及幼穗分化期养分供应较为充足。从产量上看，缓释尿素可以用于一次性施肥，普通尿素则更适宜分次施用，而 60 d 的养分释放期已经可以满足水稻的养分需求。从植株生物量的变化上来看，两种缓释尿素的处理其植株生物量均高于普通尿素分次施肥处理及不施氮处理，其中以 90 d 型缓释尿素处理最高，但是灌浆末期两种缓释尿素的处理穗干重与普通尿素分次施肥处理差别不大，最终产量差别也不大。植株生物量的变化表明，两种缓释尿素处理在整个生育期内养分供应均较为充足，促进植株生物量的大幅增加，水稻营养生长过于旺盛，这与王斌等^[14]在双季稻上的报导较为相似。

缓释肥料与普通速效肥料相比，肥料养分在土壤中保持较高有效性的时间更长，能大幅减少肥料的损失，提高养分利用效率^[15-17]。本研究中，两种缓释尿素处理均能使土壤中保持较高的铵态氮含量，其中以 90 d 型缓释尿素的处理保持时间最长。移栽后 18 d 土壤中铵态氮含量高低顺序依次为普通尿素一次施用、60 d 型缓释尿素、普通尿素分次施肥、90 d 型缓释尿素及不施氮处理，原因则可能是普通尿素一次性施用处理的速效养分全部释放，60 d 型缓释尿素处理相对于 90 d 型缓释尿素处理养分释放速率稍快，普通尿素分次施肥处理尚缺一次追肥居于两种缓释肥处理之间。虽然这个时期缓释尿素处理养分还没有过多地释放出来，但是该时期水稻对养分的需求量不高，可以满足水稻的正常生长。移栽后 25 d，缓释尿素处理土壤中铵态氮含量优势开始显现，而该时期正是分蘖盛期，需肥量较大，两种缓释尿素的养分释放

开始增加正好符合了水稻的养分需求，也是缓释尿素处理能保持较高有效穗数的重要原因。而且，缓释尿素处理在水稻生长中后期能继续维持土壤养分的高效性，能全程满足水稻对氮素的需求。从植株地上部(灌浆期不含籽粒)氮含量的变化来看，水稻植株地上部氮含量在整个生育期内呈现出不断降低的趋势，可能是营养生长期稀释作用及灌浆期养分迁移共同作用的结果，而生长后期植株氮累积量下降则可能是向籽粒大量转移所致^[18-19]，尽管在总体降低的趋势下两种缓释尿素处理植株氮含量及累积量仍然显著高于其他处理。因此，无论是从土壤分含量还是植株养分累积量上看，90 d 型缓释尿素并没有因为养分释放期长、养分释放速率慢而使水稻在需肥量较大的生长时期出现养分供应不足的状况，而 60 d 型缓释尿素也没有因为养分释放期短而使水稻生长后期出现脱肥的状况。

水稻产量的形成需要大量碳水化合物及矿质养分，研究表明剑叶、倒二位及倒三位叶的光合产物贡献远高于 50%，因此主要功能叶的生理状态与水稻产量形成息息相关^[20-22]。灌浆过程中，剑叶、倒二位及倒三位叶片氮含量均在不断下降，与此同时籽粒中氮含量则波动性上升，说明在灌浆过程中碳水化合物迁移的同时还伴随着矿质养分的迁移，而籽粒中养分的波动性变化则是由于灌浆速率变化产生的稀释作用改变而引起的。灌浆过程中磷、钾的迁移也呈现出相类似的特征，功能叶磷、钾含量在不断降低，籽粒中磷含量呈波动性上升，而籽粒中钾含量受稀释效应影响较大，呈不断降低的趋势。灌浆前期，两种缓释尿素处理剑叶、倒二位及倒三位叶氮、磷、钾含量显著高于普通尿素分次施肥、普通尿素一次施用及不施氮处理；灌浆后期，随着大量养分向籽粒中迁移，各处理水稻的剑叶、倒二位及倒三位叶在养分含量上的差距逐渐缩小，这是水稻正常生长发育规律所致。灌浆过程中功能叶保持适当的养分含量有利于矿质

养分向籽粒迁移,但是过高的养分含量则可能会导致水稻出现贪青的状况^[23]。氮肥用量与 SPAD 值呈正相关^[24],从灌浆过程中剑叶 SPAD 值的变化上可以看出灌浆末期 90 d 及 60 d 型缓释尿素处理仍然保持较高的叶绿素含量,其中 90 d 型缓释尿素处理最高,表明 90 d 型缓释尿素处理与普通尿素分次施肥处理相比出现了氮素过量的问题,可以降低用量。李云春等^[25]研究表明,缓释尿素处理即使减量 25% 氮时,与普通尿素处理相比也还能使水稻增产 2.6% ~ 2.9%。本研究中缓释尿素处理千粒重略低于普通尿素分次施肥处理,可能与缓释肥充足的供氮所导致的贪青有关,但是缓释尿素处理在整个生育期内养分供应充足,在分蘖期保证了足够的有效穗数,在幼穗分化期保证了充足的穗粒数,最终也达到了普通尿素分次施肥处理的产量水平,而且先前也有研究表明缓释肥对提高水稻有效穗数及穗粒数作用尤为显著^[26-27]。水稻植株生物量显示,缓释尿素处理应该还有增产的潜能,只是这部分潜能较多地用于了营养生长,过多地增加了植株生物量,而营养生长过旺还可能会造成水稻下部荫蔽、通风不好、病害易发及倒伏的发生。在农业生产中,可以采用普通速效尿素与缓释尿素进行配合施用,降低过旺的营养生长,在生育后期达到缓解贪青而提高千粒重的目的。同时,源于缓释尿素的成本较高,因此与普通尿素配合施用还可以有效地降低肥料施用成本。

4 结论

研究表明,90 d 型和 60 d 型缓释尿素处理其养分释放特征与水稻需肥规律较为匹配,能够满足水稻生长前期、中期和后期的养分需求,但后期均有不同程度的过氮效应。两种缓释尿素处理,其产量均达到了普通尿素分次施肥处理的产量水平,在早、晚稻产量上的表现效果以 60 d 型缓释尿素处理较好。两种缓释尿素处理水稻营养生长过于旺盛、植株生物量过高、贪青明显,其中以 90 d 型缓释尿素处理最为突出。因此,缓释尿素要有适当的养分释放期,而 60 d 的养分释放期更适用于水稻一次性施肥。

参考文献:

- [1] 成丽. 中国粮食对外贸易对耕地资源可持续利用影响研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2009
- [2] 路景兰. 论我国耕地的生态补偿制度[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013
- [3] 于立芝, 李东坡, 俞守能, 等. 缓/控释肥料研究进展[J]. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1559-1563

- [4] Zheng W, Zhang M, Liu Z, et al. Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system[J]. Field Crops Research, 2016, 197: 52-62
- [5] Gao X, Li C, Zhang M, et al. Controlled release urea improved the nitrogen use efficiency, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) on silt loamy soil[J]. Field Crops Research, 2015, 181: 60-68
- [6] Geng J, Sun Y, Zhang M, et al. Long-term effects of controlled release urea application on crop yields and soil fertility under rice-oilseed rape rotation system[J]. Field Crops Research, 2015, 184: 65-73
- [7] 王苓, 张民, 刘之广, 等. 土壤水吸力对控释尿素养分释放特征的影响[J]. 土壤学报, 2017, 54(2): 434-443
- [8] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2002
- [9] 成艳红, 武琳, 钟义军, 等. 控释肥对稻草覆盖红壤花生产量及土壤有效氮平衡的影响[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 306-313
- [10] Ji Y, Liu G, Ma J, et al. Effect of controlled-release fertilizer on nitrous oxide emission from a winter wheat field[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2012, 94(1): 111-122
- [11] 许仙菊, 马洪波, 宁运旺, 等. 缓释氮肥运筹对稻麦轮作周年作物产量和氮肥利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 307-316
- [12] 潘英华, 余建平, 张强. 水稻穗粒数相关基因的初步定位[J]. 华北农学报, 2013, 28(3): 19-24
- [13] 张玉屏, 朱德锋, 曹卫星, 等. 不同穗型水稻品种穗部参数及其相互关系[J]. 云南农业大学学报, 2015(3): 327-332
- [14] 王斌, 万运帆, 郭晨, 等. 控释尿素、稳定性尿素和配施菌剂尿素提高双季稻产量和氮素利用率的效应比较[J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1104-1112
- [15] 付月君, 王昌全, 李冰, 等. 控释氮肥与尿素配施对单季稻产量及氮肥利用率的影响[J]. 土壤, 2016, 48(4): 648-652
- [16] 钱银飞, 邵彩虹, 邱才飞, 等. 包膜缓释尿素与普通尿素配施对双季超级稻产量及氮肥利用的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(5): 27-32
- [17] 梁钢, 梁林洲, 董晓英, 等. 控释肥料在华北潮土小麦-玉米轮作体系中的施肥效应[J]. 土壤, 2016, 48(1): 53-58
- [18] 林瑞余, 梁义元, 蔡碧琼, 等. 不同品种水稻产量形成过程的养分积累与分配特征研究[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(5): 139-146
- [19] 张木, 唐拴虎, 黄旭, 等. 一次性施肥对水稻产量及养分吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2016, 32(3): 1-7
- [20] 曹树青, 翟虎渠, 钮中一, 等. 不同产量潜力水稻品种的剑叶光合特性研究[J]. 南京农业大学学报, 2000, 23(3): 1-4
- [21] 黄卫群, 何沛, 魏芳勤, 等. 杂交水稻品种功能叶对穗重的影响研究[J]. 中国稻米, 2010, 16(3): 19-20

- [22] Yue B, Xue W Y, Luo L J, et al. QTL analysis for flag leaf characteristics and their relationships with yield and yield traits in rice[J]. *Acta Genetica Sinica*, 2006, 9: 824–832
- [23] 王维, 张建华, 杨建昌, 等. 水分胁迫对贪青迟熟水稻茎贮藏碳水化合物代谢及产量的影响[J]. *作物学报*, 2004, 30(3): 196–204
- [24] Jun L I, Changbing Y U, Zhang C, et al. Impact of fertilizer types on photosynthetic and biological effects of direct-seeded *Brassica napus* at flowering stage[J]. *Agricultural Science and Technology*, 2012, 13(3): 554–557
- [25] 李云春, 李小坤, 鲁剑巍, 等. 控释尿素对水稻产量、养分吸收及氮肥利用率的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2014, 33(3): 46–51
- [26] 刘益曦, 袁玲, 伍绍福, 等. 两种包膜控释尿素对水稻产量和土壤理化性质的影响[J]. *浙江农业学报*, 2015, 27(7): 1213–1220
- [27] 武美燕, 蒿若超, 田小海, 等. 添加纳米碳缓释肥料对超级杂交稻产量和氮肥利用率的影响[J]. *杂交水稻*, 2010, 25(4): 86–90

Study on Nutrient Supply Characteristics of Slow-release Urea in Double-cropping Rice

ZHANG Mu, TANG Shuanhu*, HUANG Qiaoyi, YI Qiong, HUANG Xu

(*Institute of Agricultural Resources and Environment, Guangdong Academy of Agricultural Sciences / Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Guangzhou 510640, China*)

Abstract: The effects of controlled-release urea on nutrient absorption were studied in whole growth period of rice. The results showed that the 60-day slow-release urea treatment obtained the highest yields of the early and late rice. The 90-day slow-release urea treatment got the same yield level as the 60-day slow-release urea treatment in early rice, but significant lower yield of late rice than the 60-day slow-release urea treatment. Compared with urea split application, single basal application of the 60-day or 90-day slow-release urea got more effective panicles and grains per ear. Throughout the growth period of rice, N contents in shoots (not included grains in the filling stage) treated with the 90-day and 60-day slow-release urea were both significantly higher than those of the other three treatments (urea split application, ordinary urea single application and no N application). During the filling stage, N contents in grains, the flag leaves, penultimate and third leaves, and SPAD values of flag leaves were all also significantly increased by application of the 90-day and 60-day slow-release urea compared with the other three treatments. However, the two kinds of slow release urea treatments resulted in unfavorable-delayed senescence of rice in different degrees, particularly in 90-day slow-release of slow-release urea. The nutrient release period of 60-day slow-release urea was more appropriate for rice growth than 90-day type one.

Key words: Rice; Slow-release urea; Nutrient uptake dynamics; Nutrient accumulation; Yield