

不同施肥对河套灌区瓜田土壤养分及甜瓜生长和养分利用的影响

郭雨浓¹, 刘宝玉², 郑直², 张赛峰¹, 王培周¹, 周建斌¹, 陈竹君¹

(1.西北农林科技大学资源环境学院, 农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 陕西 杨凌 712100; 2.巴彦淖尔市植保植检站, 内蒙古 巴彦淖尔 015000)

摘要: 采用田间试验研究了内蒙古巴彦淖尔市河套灌区甜瓜一次性施肥、覆膜后灌水淋洗排盐传统种植模式下不同施肥对土壤养分及甜瓜产量、品质和养分利用的效应, 不同施肥处理包括不施肥(CK)、常规施肥(CF, N 445.5 kg/hm², P₂O₅ 399 kg/hm², K₂O 54 kg/hm²)、优化减量施肥(RF, N 240 kg/hm², P₂O₅ 150 kg/hm², K₂O 120 kg/hm²)、控释肥(RSF, 控释尿素 N 240 kg/hm², P₂O₅ 150 kg/hm², K₂O 120 kg/hm²)、优化减量施肥+有机肥(RF+OM, 增加有机肥 15 t/hm²)、控释肥+有机肥(RSF+OM) 6 个处理。结果表明: RSF 在甜瓜生育期维持较高的土壤氮素水平, 与单施化肥相比, RF+OM、RSF+OM 处理可以维持土壤有机质含量, 培肥土壤。各施肥处理与 CK 相比, 甜瓜产量均显著增加($P < 0.05$), RSF+OM 处理产量显著高于 CF 处理, RF、RSF 及 RF+OM 处理与 CF 处理相比产量和品质提高, 但差异不显著。RF、RSF 处理氮素利用效率比 CF 处理分别提高 15.1、21.5 个百分点, 磷素利用效率分别提高 20.4、18.8 个百分点。化肥减施及施用控释肥对减少河套地区甜瓜农田灌溉退水中氮素汇入乌梁素海引起的面源污染具有重要的生态环境意义。

关键词: 化肥减施; 控释尿素; 土壤养分; 甜瓜生长; 养分利用率

中图分类号: S511 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2021)04-0230-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2021.04.032

Effects of Different Fertilizations on Soil Nutrients and Muskmelon Growth and Nutrient Utilization in the Hetao Irrigation District

GUO Yunong¹, LIU Baoyu², ZHENG Zhi², ZHANG Saifeng¹,
WANG Peizhou¹, ZHOU Jianbin¹, CHEN Zhujun¹

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University,

Key Laboratory of Plant Nutrition and the Agri-environment in Northwest China, Ministry of Agriculture,

Yangling, Shaanxi 712100; 2. Plant Protection and Quarantine Station of Bayannur, Bayannur, Inner Mongolia 015000)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of different fertilizer treatments on soil nutrients, yield, quality and nutrient utilization of muskmelon in the Hetao Irrigation District of Bayannur city, Inner Mongolia. The traditional planting mode of fertilization and irrigation was that after all fertilizers were added and mulched with plastic film, flood irrigation was applied to leach salt, then the seeds were sowed. Six treatments were set up, including CK treatment without any fertilizer (CK), conventional fertilization treatment (CF, N 445.5, P₂O₅ 399, and K₂O 54 kg/hm²), reduced and optimized fertilization treatment (RF, N 240, P₂O₅ 150, and K₂O 120 kg/hm²), reduced controlled-release fertilization treatment (RSF, controlled-release urea, N 240, P₂O₅ 150, and K₂O 120 kg/hm²), reduced and optimized fertilization combined with organic manure treatment (RF+OM, combined with organic manure 15 t/hm²), reduced controlled-release fertilization combined with organic manure treatment (RSF+OM). The results showed that the soil nitrogen content of RSF treatment was higher during the growth period of muskmelon. Treatments added with manure (RF+OM, RSF+OM) maintained the level of soil organic matter, therefore increased soil fertility, as compared with the treatments only added the chemical fertilizers. Compared with

收稿日期: 2021-03-02

资助项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0201302)

第一作者: 郭雨浓(1996—), 女, 硕士研究生, 主要从事缓控释肥料对甜瓜养分吸收利用研究。E-mail: 1715059961@qq.com

通信作者: 陈竹君(1964—), 女, 副教授, 主要从事资源与环境方面教学与研究。E-mail: zjchen@nwsuaf.edu.cn

no fertilization (CK), the yield of muskmelon in all fertilization treatments increased significantly ($P < 0.05$). The yield of RSF+OM treatment was significantly higher than that of CF treatment; and there were no significant differences between the yield and quality of RF, RSF and RF+OM treatments compared with the CF. Compared with CF treatment, RF and RSF treatments increased the nitrogen use efficiency by 15.1% and 21.5%, respectively. Compared with CF, RF and RSF treatments increased the phosphate use efficiency by 20.4% and 18.8%, respectively. Reducing the application of chemical fertilizer and applying controlled release fertilizer had important ecological and environmental significance for reducing nitrogen loss from muskmelon field in the Hetao Irrigation District into the Wuliangshai Lake.

Keywords: reduced fertilizer application; controlled-release urea; soil nutrient; muskmelon growth; nutrient utilization

内蒙古西部巴彦淖尔市境内的河套灌区是亚洲最大的一首制自流灌区^[1],灌区地势平坦,被誉为“塞上江南”,也是内蒙古优质瓜果生产的主要地区。厚皮甜瓜是当地传统经济作物之一^[2],种植面积为1.6万 hm^2 ,该地区是仅次于新疆的厚皮网纹甜瓜生产基地^[3]。同时,灌区1/2以上土地存在不同程度的盐碱化,改良措施以水利工程淋洗排盐措施为主^[4],为此,当地生产实践中摸索出甜瓜、葵花传统的保苗丰产种植方式为“水膜种植”,即在土壤解冻后的3—4月上中旬整地,一次性施足基肥、覆膜,然后结合洗盐大量灌水,明水排完后饱墒人工播种,作物生育期间不再施肥灌水或少量补水。由于甜瓜经济收益较高,受经济利益驱动农户盲目过量施肥问题突出,不仅造成资源浪费,而且“水膜种植”方式下氮磷养分随农田退水流失也成为乌梁素海面源污染主要源之一^[5]。如何减少洗盐保苗简约化“水膜种植”方式化肥施用量、提高肥料利用效率和减少面源污染就十分迫切和重要。

与传统氮肥相比,包膜控释尿素可以通过一定技术控制氮素释放,从而减少氮素损失提高利用率^[6-8],实现简化施肥、省工省力^[9]。控释尿素在水稻、玉米、小麦、大豆、油菜、胡麻等作物应用^[7,10-16],获得了较好的增产和减少养分流失带来的面源污染风险。相对其他作物,缓/控释肥在甜瓜上的应用相对较少。王晓巍等^[17]研究了基质盆栽条件下5种缓/控释氮肥对甜瓜生长的效应,与普通尿素相比,缓/控释肥均显著提高单瓜重,不同缓/控释肥间无显著差异,甜瓜中心固形物含量不同肥料种类间均差异不显著。由于控制氮肥释放的材料及生产工艺不同,其氮素释放特性及施用效果具有差异,同一控释肥料在不同介质中释放特性亦有较大差异^[18-19],且由于不同作物养分需求特征不同,控释肥的养分释放特性与作物养分需求的匹配程度不同造成的施肥效果也具有差异性。为此,本研究在前期室内模拟不同包膜尿素在河套灌区灌淤土淹水条件下肥料养分溶出率试验基础上,通过田间试验研究化肥减施及混配包膜尿

素对河套灌区“水膜种植”方式土壤养分及甜瓜生长的影响,以期对河套甜瓜化肥减施增效以及降低“水膜种植”方式下农田退水带来的面源污染环境风险提供科学依据,促进当地甜瓜产业绿色健康持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

试验于2019年3—9月在内蒙古自治区巴彦淖尔市五原县丰裕乡进行。试验地属于温带大陆性气候,全年日照时间3 215.1~3 401.8 h,年平均气温6.1~7.6 $^{\circ}\text{C}$,年平均降水量180 mm,年均蒸发量2 200 mm,春季灌溉洗盐至作物收获期地下水位为1 m左右(4—9月)。试验地土壤类型为灌淤土,施肥前0—20 cm耕层土壤基本理化性质为:pH 8.11,电导率339 $\mu\text{S}/\text{cm}$,有机质含量10.9 g/kg,全氮含量0.61 g/kg, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量3.28 mg/kg, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 含量3.55 mg/kg,有效磷含量20.2 mg/kg,速效钾含量159 mg/kg。供试甜瓜品种为“西州蜜17号”,栽培方式为平畦覆膜宽窄行种植,宽行距2 m,窄行距0.6 m,株距0.45 m,种植密度1 000株/667 m^2 。

1.2 试验设计

试验设不施肥(CK)、常规施肥(CF)、优化减量施肥(RF)、控释肥(RSF)、优化减量施肥+有机肥(RF+OM)、控释肥+有机肥(RSF+OM)6个处理(表1)。其中常规施肥的氮磷钾施肥量、肥料种类依据调查当地农户普遍采用的肥料种类及平均施肥量确定,其肥料种类为碳酸氢铵(N含量17.1%)、磷酸二铵(N含量18%, P_2O_5 46%)、复合肥N— P_2O_5 — K_2O 为18—18—18;优化减量施肥量依据当地目标产量(平均产量 $\times 1.2$)养分需求量及当地土壤肥力确定,肥料种类与常规施肥相同;供试控释肥为50%树脂包膜增效尿素(N含量43%)、25%植物油包膜尿素(N含量43%)和25%硫磺加树脂包膜尿素(N含量35%)混合而成(根据前期肥料养分在灌淤土淹水培养模拟试验结果,第30天时树脂包膜增效尿素养分溶出率为56%,植物油包膜尿素养分溶出率为

27%, 硫磺加树脂包膜尿素养分溶出率为 75%), 其中树脂包膜增效尿素和植物油包膜尿素控释期为 90 天, 硫磺加树脂包膜尿素控释期为 60~90 天, 3 种肥料均由金正大生态工程集团股份有限公司生产提供, 磷钾肥施用量与优化减量施用量相同, 其中磷肥为重过磷酸钙 (P_2O_5 为 44%), 钾肥为硫酸钾 (K_2O 为 52%); 优化减量施肥+有机肥、控释肥+有机肥处理则分别在优化减量施肥和控释肥基础上配施羊粪有机肥 (有机质含量 $\geq 50\%$, 测定后 N、 P_2O_5 、 K_2O 含量分别为 2.14%, 1.24%, 2.18%) 15 t/hm²。每个处理重复 3 次, 随机区组排列, 每小区面积为 52 m²。根据当地农事, 试验于 3 月 29 日整地、施肥和覆膜, 黄河灌溉来水后 5 月 4 日灌水结合洗盐, 5 月 30 日试验地明水层下渗内排水完毕后于 6 月 10 日播种。

表 1 各处理施用量

处理	有机肥/ (t·hm ⁻²)	化肥/(kg·hm ⁻²)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
不施肥 CK	0	0	0	0
常规施肥 CF	0	445.5	399	54
优化减量施肥 RF	0	240	150	120
控释肥 RSF	0	240	150	120
优化减量施肥+有机肥 RF+OM	15	240	150	120
控释肥+有机肥 RSF+OM	15	240	150	120

1.3 样品采集与测定

土壤样品: 采集施肥前 (3 月 29 日)、播种时 (6 月 10 日) 与瓜收获后 (9 月 6 日) 的 0~20 cm 土壤样品。测定土壤硝态氮、铵态氮、pH、电导率、有机质、全氮、有效磷、速效钾含量。硝态氮、铵态氮含量采用鲜土样 1 mol/L KCl 浸提后, 全自动流动分析仪测定, pH 用雷磁 PHS-3C 型 pH 计测定, DD3-307 电导率仪测定电导率, 重铬酸钾外加热法测定有机质, 全氮采用全自动流动分析仪测定, NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定有效磷, NH₄OAc 浸提—火焰原子吸收法测定速效钾^[20]。

植物样品: 于甜瓜收获期测产, 每小区随机选取有代表性的植株 3 株, 按根、茎、叶、果实分开称鲜重, 然后 105 °C 杀青 30 min, 在 80 °C 条件下烘干至恒重, 称干物质重量, 烘干的植株样品粉碎备用。H₂SO₄—H₂O₂

消煮后, 测定植株不同部位全氮、全磷、全钾含量, 全氮采用全自动流动分析仪测定, 全磷采用钒钼黄比色法, 全钾用火焰原子吸收法测定^[20]。此外, 测定鲜果实中心含糖量、可溶性固形物、可溶性总糖、可滴定酸和维生素 C 等品质指标。中心含糖量与可溶性固形物含量用糖度仪测定, 可溶性总糖含量采用蒽酮比色法测定, 可滴定酸含量用 NaOH 滴定法测定, 维生素 C 含量用 2,6-二氯酚酚滴定法^[21]测定。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 软件进行数据分析, SPSS 20.0 统计软件进行方差分析, LSD 法进行差异显著性检验。

养分利用效率^[22]的计算公式为:

养分利用效率 (%) = 作物养分携出量 / 有效养分投入量 × 100%

有效养分投入量包括化肥投入量和有机肥当季矿化可被吸收的量^[23-24]。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理土壤理化性质和养分含量变化

2.1.1 土壤理化性质变化 不同施肥处理耕层土壤理化性质 (表 2) 表明, 甜瓜生育期土壤 pH 为 8.02~8.75, 播种期不施肥 (CK) 及减量施肥 (RF、RSF) 土壤 pH 高于常规施肥 (CF) 及化肥减量加有机肥 (RF+OM、RSF+OM) 处理, 其中 RSF 显著高于常规施肥 (CF) 及施用有机肥处理 (RF+OM、RSF+OM), 不施肥 (CK) 及优化减量施肥 (RF) pH 显著高于优化减量施肥+有机肥 (RF+OM) 处理, 其他处理间差异不显著。收获期土壤 pH 仅 CK 显著高于常规施肥, 与其他处理间差异性不显著。收获期土壤 pH 均显著高于播种期, 平均提高 0.50。播种期与收获期不同施肥处理间电导率 (EC) 差异性均不显著, 但施用控释肥处理 (RSF、RSF+OM) 收获期 EC 均明显高于播种期, 平均提高 30.2%。播种期不同施肥对土壤有机质无显著影响, 收获期 RF+OM 处理土壤有机质显著高于不施有机肥的其他处理, 和 RSF+OM 间差异不显著。播种期和收获期不同施肥处理土壤全氮均无显著差异性。

表 2 不同施肥耕层土壤理化性质

处理	pH		EC/($\mu S \cdot cm^{-1}$)		有机质/(g·kg ⁻¹)		全氮/(g·kg ⁻¹)	
	播种期	收获期	播种期	收获期	播种期	收获期	播种期	收获期
CK	8.20±0.03ab	8.75±0.12a	250±6a	232±90a	11.9±0.36a	11.4±1.29b	0.58±0.02a	0.57±0.03a
CF	8.09±0.04bc	8.55±0.12b	298±41a	299±83a	12.6±1.08a	11.2±1.24b	0.63±0.08a	0.63±0.09a
RF	8.16±0.04ab	8.63±0.02ab	235±18a	271±93a	12.3±0.72a	11.1±0.11b	0.62±0.06a	0.60±0.05a
RSF	8.24±0.04a	8.63±0.02ab	249±27a	339±93a	12.4±0.31a	10.7±0.58b	0.61±0.02a	0.60±0.01a
RF+OM	8.02±0.03c	8.64±0.12ab	255±5a	266±120a	13.6±0.72a	13.3±1.04a	0.64±0.08a	0.60±0.09a
RSF+OM	8.11±0.13bc	8.59±0.07ab	248±14a	312±92a	12.7±2.04a	12.3±1.08ab	0.62±0.03a	0.61±0.05a

注: 表中数据为平均值±标准差; 各列不同小写字母表示同一土层不同处理间差异显著 ($p < 0.05$)。下同。

2.1.2 土壤有效养分 从图 1 可以看出,“水膜种植”模式下土壤矿质态氮形态为播种期 NH_4^+-N 大于 NO_3^--N , 收获期 NO_3^--N 大于 NH_4^+-N 。播种期 CF 土壤矿质态氮含量显著高于其他处理, 收获期 CF 和 RSF 处理之间差异性不显著, 二者均显著大于其他处理。播种期 CF 处理土壤有效磷含量显著高于其他处理(表 3), 收获期 CF 显著高于 CK、RF 和 RSF 处理, 但与 RF+OM 及 RSF+OM 处理间无显著差异。土壤速效钾在播种期 RF 处理显著高于除 RSF+OM 外的其他处理, 收获期 RSF+OM 显著高于其他处理, 其他处理间差异不显著。

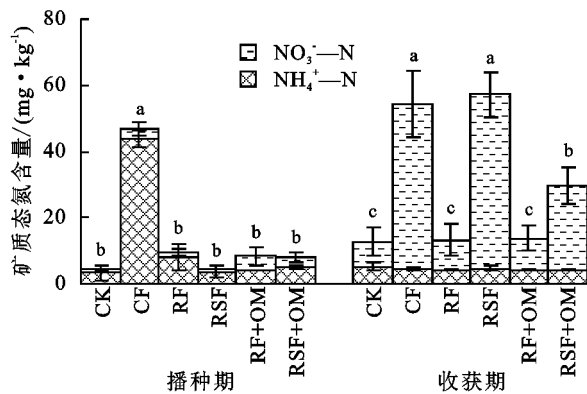


图 1 不同施肥处理土壤矿质态氮含量

表 3 不同施肥处理甜瓜播种期与收获期土壤有效磷和速效钾含量 单位: mg/kg

处理	有效磷		速效钾	
	播种期	收获期	播种期	收获期
CK	21.0±6.1b	14.6±2.9b	149±1.1d	126±6.5b
CF	48.0±17.5a	33.6±12.8a	161±12.8cd	100±3.2b
RF	29.8±5.7b	16.5±2.0b	199±15.1a	112±21.1b
RSF	25.2±0.5b	16.7±7.7b	173±6.7bc	100±17.4b
RF+OM	27.1±4.1b	25.4±11.0ab	177±14.9bc	152±5.2a
RSF+OM	38.7±16.1b	20.3±3.1ab	184±9.4ab	118±9.4b

2.2 不同施肥处理对甜瓜养分吸收的影响

甜瓜植株干物质质量(表 4)表明, 茎、果实和植株干物质总量常规施肥 CF 与不施肥 CK 处理间差异不显著, 其他处理均显著大于不施肥处理, 叶片干物质质量 RSF+OM 显著大于 CK 和 CF, 其他处理间无显著差异。施肥处理的甜瓜根、茎、叶含氮量均显著高于不施肥处理, CF、RSF、RSF+OM 处理果实中含氮量显著高于不施肥处理, 其他处理间差异不显著。根、茎、叶、果实磷含量不同处理间均无显著差异性。不同处理根中钾含量无显著性差异, 茎中 CF、RF 处理钾含量显著低于 RF+OM 和 RSF+OM, 叶中 CF 显著低于 RSF、RF+OM 和 RSF+OM, 果实中 RSF 显著高于 CK, 其他处理间差异不显著。甜瓜植株的氮、磷、钾养分携出量主要以果实为主, 果实氮、磷、钾养分携出量分别占总携出量的 71.0%~77.1%, 77.3%~

83.8%, 65.1%~76.4%, 平均分别为 74.4%, 81.4%, 70.3%。施肥处理氮携出总量显著高于 CK, 但施肥处理间差异性则不显著; 磷携出总量仅 RSF+OM 显著高于 CK, 钾携出总量 RSF+OM 显著高于 CK 和 CF, 其他处理间差异不显著。

2.3 不同施肥处理对甜瓜品质的影响

从表 5 可以看出, RF、RSF、RF+OM、RSF+OM 处理中心含糖量、可溶性总糖与可溶性固形物含量均显著高于 CK, CF 与 CK 无显著差异。RSF 处理维生素 C 含量显著高于 RF 和 CK, 与其他处理差异不显著。糖酸比 RF+OM 与 RSF 间差异不显著, 但显著高于其他处理。综合各项品质指标, RSF 处理品质较优。

2.4 不同施肥处理甜瓜产量及养分利用效率

从表 6 可以看出, 与不施肥相比, 施肥均显著增加甜瓜产量。各施肥处理较 CK 增产 41.9%~80.0%, RSF+OM 处理产量显著高于 CF, 其他施肥处理间差异不显著。养分表观盈余显示, CF、RF+OM 和 RSF+OM 处理氮、磷养分盈余量大, 施用有机肥的 RF+OM 和 RSF+OM 处理钾盈余, CF、RSF 处理钾素亏缺, RF 钾基本平衡。不同施肥处理氮、磷养分利用效率分别为 19.8%~41.3%, 9.2%~29.6%, 平均分别为 30.9%, 20.0%, CF 处理氮、磷养分利用效率最低。与常规施肥 CF 相比, 优化减量施肥 RF 氮、磷养分利用效率分别提高 15.1, 20.4 个百分点, 控释肥 RSF 处理分别提高 21.5, 18.8 个百分点, 施用有机肥的 RF+OM、RSF+OM 处理氮、磷养分利用效率较 CF 均提高。由于 CF 处理钾肥施用量很低, 其钾养分利用效率达 192.5%, 说明钾肥投入不足作物吸收土壤中的钾。

3 讨论

内蒙古巴彦淖尔河套灌区甜瓜均采用“水膜种植”方式, 即一次性施肥, 施肥覆膜后大量灌水洗盐, 因此, 为减少硝态氮随水流失, 当地氮肥以碳酸氢铵为主, 施肥后大量灌水土壤形成淹水环境, 硝化作用很弱, 土壤矿质态氮以铵态氮为主, 但土壤吸附 NH_4^+ 能力是有限的^[25], 超过吸附能力的 NH_4^+ 亦会随退水流失造成氮损失, 乌梁素海总氮超标与河套灌区农田退水含氮密切相关^[5]。灌水洗盐排水后的播种期常规施肥 CF 处理土壤铵态氮显著高于其他化肥减施处理, 说明化肥减施降低土壤矿质态氮, 进而可减少“水膜种植”下农田退水氮素损失。收获期土壤矿质态氮以硝态氮为主, 土壤硝态氮含量表现为 RSF>CF>RSF+OM>RF+OM>RF>CK, 这是经过甜瓜生育期吸收、土壤氮素转化的结果, 控释肥(RSF)、常规施肥(CF)显著高于其他处理, 二者间无差异, 说明控释肥虽然比常规施肥施氮量减少 46%,

但由于树脂包膜尿素在 5 月淹水期间当地温度仍较低环境下氮素释放慢,农田退水时减少氮素损失,在作物生育期维持较高的土壤氮素水平,因此收获时控释肥处理土壤矿质态氮最高,常规施肥处理含量高主要因施肥过量养分盈余高;施用有机肥虽然也投入大量有机氮,但是由于当季土壤有机氮只有部分矿化以及有机碳对氮的保护和固存^[26],收获期土壤矿质态氮并不高,但施用有机肥处理土壤有机质含量比试验

前提高 17.4%。优化减量施肥 P_2O_5 均减施 62%,但收获期土壤有效磷均在中等水平(15~30 mg/kg)^[27],说明推荐施磷量是适宜的。由于甜瓜对钾需求较高^[28],钾具有提高甜瓜品质和抗病作用,而研究区土壤速效钾在中等水平(125~200 mg/kg)^[27],当地农户常规施肥施钾量极低(K_2O 54 kg/hm²),作物携出量大于投入量,为了维持土壤肥力,优化减量施肥增施钾肥量。

表 4 不同施肥处理甜瓜干物质量和养分携出量

植株部位	处理	干物质量/ (kg·hm ⁻²)	养分含量/(g·kg ⁻¹)			养分携出量/(kg·hm ⁻²)		
			N	P	K	N	P	K
根	CK	12.0b	10.08b	1.63a	13.86a	0.12b	0.02b	0.17bc
	CF	19.6a	17.14a	1.51a	8.08a	0.34a	0.03a	0.16c
	RF	21.0a	14.72a	1.53a	11.86a	0.31a	0.03a	0.25abc
	RSF	20.5a	15.22a	1.49a	11.13a	0.31a	0.03a	0.23abc
	RF+OM	22.3a	14.28a	1.51a	13.95a	0.32a	0.03a	0.32a
	RSF+OM	24.8a	15.98a	1.63a	12.35a	0.40a	0.04a	0.31ab
	茎	CK	166.1b	8.21c	2.10a	29.66bc	1.36b	0.35b
CF		365.4ab	14.73a	1.89a	21.82d	5.49a	0.70ab	7.97bc
RF		384.4a	12.35ab	1.98a	25.08cd	4.81ab	0.76ab	9.69abc
RSF		400.7a	12.68ab	1.96a	30.42abc	5.25a	0.79ab	12.72abc
RF+OM		412.5a	11.34b	1.86a	37.36a	4.66ab	0.77ab	15.33ab
RSF+OM		469.7a	14.14ab	1.97a	36.33ab	6.73a	0.95a	16.90a
叶		CK	722.9b	11.58b	2.50a	23.75a	8.48b	1.80b
	CF	856.4b	17.95a	2.58a	14.26c	15.36ab	2.17ab	12.29b
	RF	1088.3ab	16.06a	2.52a	17.44bc	17.75ab	2.75ab	18.80ab
	RSF	1106.1ab	17.05a	2.64a	20.44ab	19.47ab	2.94ab	23.76ab
	RF+OM	1028.2ab	15.93a	2.28a	19.43abc	16.20ab	2.32ab	20.18ab
	RSF+OM	1459.3a	17.18a	2.69a	21.94ab	25.63a	4.15a	33.27a
	果实	CK	2185.5b	14.92c	5.21a	20.17b	33.58b	11.23a
CF		2998.7ab	22.22a	4.34a	22.19ab	67.10a	13.11a	66.22ab
RF		3529.4a	17.22bc	4.53a	20.29b	61.03a	15.82a	71.11ab
RSF		3843.3a	19.81ab	4.24a	26.14a	74.15a	14.58a	93.40a
RF+OM		3535.9a	17.62bc	4.25a	21.79ab	61.84a	15.19a	77.09ab
RSF+OM		4045.4a	19.87ab	4.29a	24.98ab	80.27a	17.42a	101.84a
总量		CK	3086.5b	—	—	—	43.54b	13.40b
	CF	4240.1ab	—	—	—	88.29a	16.02ab	86.63bc
	RF	5023.1a	—	—	—	83.90a	19.38ab	99.53abc
	RSF	5370.6a	—	—	—	99.18a	18.34ab	130.10ab
	RF+OM	4998.9a	—	—	—	83.02a	18.30ab	112.91abc
	RSF+OM	5999.2a	—	—	—	113.03a	22.55a	152.32a

表 5 不同施肥处理甜瓜的品质指标

处理	中心含糖量/%	可溶性总糖/%	可溶性固形物/%	维生素 C/ (mg·kg ⁻¹)	可滴定酸/%	糖酸比
CK	8.18±1.03b	2.77±1.38c	6.83±0.65c	4.34±0.60b	0.06±0.0a	63.3±21.2c
CF	9.67±1.22ab	4.18±0.53bc	7.57±0.81bc	5.59±0.41ab	0.05±0.01ab	90.1±5.0bc
RF	10.80±1.13a	4.84±1.36abc	8.53±0.68ab	6.03±0.68ab	0.04±0.01b	115.0±41.1b
RSF	10.88±1.62a	6.29±0.12a	8.40±0.10ab	7.79±2.88a	0.05±0.01ab	132.6±24.2ab
RF+OM	10.48±0.86a	5.97±0.26a	8.20±0.40ab	5.27±0.30b	0.04±0.01b	160.5±25.7a
RSF+OM	11.23±0.75a	5.60±0.12ab	8.83±0.40a	6.18±0.18ab	0.06±0.0a	99.5±1.0bc

表 6 不同施肥处理产量及养分利用效率

处理	产量/ (t·hm ⁻²)	总养分投入/(kg·hm ⁻²)			有效养分投入/(kg·hm ⁻²)			养分表观盈余/(kg·hm ⁻²)			养分利用效率/%		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	20.6±3.9c	0	0	0	0	0	0	-43	-30	-78	—	—	—
CF	29.3±4.3b	446	399	54	446	399	54	357	362	-50	19.8	9.2	192.5
RF	31.9±1.9ab	240	150	120	240	150	120	156	105	0.2	34.9	29.6	99.8
RSF	35.2±7.8ab	240	150	120	240	150	120	140	108	-36	41.3	28.0	130.1
RF+OM	31.2±2.2ab	561	336	447	336	243	349	478	294	311	24.7	17.2	38.8
RSF+OM	37.2±6.6a	561	336	447	336	243	349	448	284	264	33.6	21.2	52.4

注:有效养分投入=化肥投入量+有机肥当季矿化可被吸收利用的量;有机肥当季矿化可被吸收利用的 N、P₂O₅、K₂O 量分别按全量养分含量的 30%、50%、70% 计算^[24];养分表观盈余=总养分投入-作物养分携出量。

化肥优化减量 RF、RSF 处理与常规施肥相比化肥氮、磷分别减施 46%，62%，其产量和品质均未降低。由于农户常规氮、磷施肥量为甜瓜养分携出量的 2.1、10.9 倍，为推荐量的 1.9、2.7 倍，但甜瓜收获期土壤养分分析结果(图 1, 表 3)表明, 盈余的大量养分并未在土壤中累积, 这是由于当地“水膜种植”整地—施肥—覆膜—灌水洗盐—退水—播种模式下, 过量施用的肥料不能被土壤胶体吸附随洗盐退水损失。本研究采用控释期 90~120 天的 50% 树脂包膜增效尿素、25% 植物油包膜尿素和 25% 硫磺加树脂包膜尿素混合而成的控释肥, 其释放特性和甜瓜不同生育期养分需求相符, 较等养分投入的普通肥料处理甜瓜增产 10.3%, 较常规施肥增产 20.1%。此外, 淹水期养分溶出率低, 对于减少河套农田灌溉退水中氮素汇入乌梁素海引起的面源污染也具有重要的生态环境意义。

4 结论

内蒙古巴彦淖尔市河套灌区甜瓜“水膜种植”方式下, 普通化肥优化减量施肥 RF 及等养分包膜控释尿素施肥 RSF(N 240 kg/hm², P₂O₅ 150 kg/hm², K₂O 120 kg/hm²) 处理与常规施肥(N 445.5 kg/hm², P₂O₅ 399 kg/hm², K₂O 54 kg/hm²) 相比产量和品质均未降低, 氮素利用效率分别提高 15.1、21.5 个百分点, 磷素利用率分别提高 20.4、18.8 个百分点, 化肥减施配施有机肥(RF+OM、RSF+OM)与单施化肥相比, 产量和品质差异不显著, 但可以维持土壤有机质含量, 培肥土壤。化肥减施及施用控释肥对减少河套地区甜瓜农田灌溉退水中氮素汇入乌梁素海引起的面源污染具有重要的生态环境意义。

参考文献:

- [1] 白岗栓, 张蕊, 耿桂俊, 等. 河套灌区农业节水技术集成研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(1): 149-154.
- [2] 王建国, 姜伟, 杜金伟, 等. 内蒙古西甜瓜生产现状及发展对策[J]. 内蒙古农业科技, 2014(5): 110-111.
- [3] 刘宝玉, 赵廷昌, 赵中华, 等. 内蒙古西甜瓜化肥农药减施增效技术模式[J]. 中国植保导刊, 2020, 40(6): 86-88, 91.
- [4] 崔志祥, 樊润威, 郜翻身, 等. 内蒙河套灌区盐碱低产田建立有机质富积层改土培肥效果[J]. 干旱区资源与环境, 1997, 11(2): 88-92.
- [5] 王希欢, 杨芳, 马文娟, 等. 乌梁素海硝酸盐来源的季节性变化研究[EB/OL]. [2021-04-19]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1827.X.20201116.1520.001.html>.
- [6] Geng J B, Sun Y B, 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] 刘威, 周剑雄, 谢媛圆, 等. 控释尿素条施深度对鲜食玉米田间氨挥发和氮肥利用率的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1295-1302.
- [8] Wang S Q, Zhao X, Xing G X, et al. Improving grain yield and reducing N loss using polymer-coated urea in southeast China[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2015, 35(3): 1103-1115.
- [9] 张木, 唐拴虎, 张发宝, 等. 60 天释放期缓释尿素可实现早稻和晚稻的一次性基施[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(1): 119-127.
- [10] 杜君, 孙克刚, 张运红, 等. 控释尿素对水稻生理特性、氮肥利用率及土壤硝态氮含量的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2016, 33(2): 134-141.
- [11] 衣文平, 孙哲, 武良, 等. 包膜控释尿素与普通尿素配施对冬小麦生长发育及土壤硝态氮的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(3): 141-147.
- [12] 张亚伟, 刘秋霞, 朱丹丹, 等. 油菜专用控释尿素用量对冬油菜产量和氮素吸收的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(1): 139-148.
- [13] 张炜, 陆俊武, 曹秀霞, 等. 硫包衣尿素用量对旱作区胡麻生长及产量性状的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5): 53-58, 154.
- [14] 王浩, 梁熠, 康建宏, 等. 控释尿素对土壤供氮能力及旱作玉米产量的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 320-326.
- [15] 张玉凤, 沈玉文, 王江涛, 等. 缓控释掺混尿素对章丘大葱—小麦产量、效益及土壤氮素的影响[J]. 水土保持学报, 2020, 34(2): 231-238.

- [16] 田昌,周旋,谢桂先,等.控释尿素减施对双季稻田径流氮素变化、损失及产量的影响[J].水土保持学报,2018,32(3):21-28.
- [17] 王晓巍,蒯佳林,郁继华,等.不同缓/控释氮肥对基质栽培甜瓜生理特性与品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(3):847-854.
- [18] 王晓巍,蒯佳林,刘晓静,等.4种缓控释氮肥在不同环境条件下的养分释放特性的研究[J].草地学报,2013,21(2):332-337.
- [19] 杜建军,廖宗文,毛小云,等.控/缓释肥在不同介质中的氮素释放特性及其肥效评价[J].植物营养与肥料学报,2003,9(2):165-169.
- [20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [21] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007:24-54.
- [22] Gallardo M, Padilla F M, Pena-Fleitas M T, et al. Crop response of greenhouse soil-grown cucumber to total available N in a nitrate vulnerable zone[J]. European Journal of Agronomy, 2020, 114:125993.
- [23] 王晨琿,李婷玉,马林,等.日本化肥减量增效实现途径及启示[J].土壤通报,2020,51(3):725-732.
- [24] Department for Environment Food and Rural Affairs (Defra). Fertiliser Manual (RB209)[M]. 8th Edition. TSO, Norwich, 2010.
- [25] 弓晓峰,张静,张振辉,等.鄱阳湖南矶山自然保护区沼泽湿地土壤对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 吸附能力的研究[J].农业环境科学学报,2006,25(1):179-181.
- [26] 崔思远,朱新开,张震茜,等.水稻秸秆还田年限对稻麦轮作田土壤碳氮固存的影响[J].农业工程学报,2019,35(7):115-121.
- [27] NE 养分专家系统.[2021-04-19].<http://www.nutrientexpert.cn/>.
- [28] 康利允,常高正,高宁宁,等.不同氮、钾肥施用量对甜瓜养分吸收、分配及产量的影响[J].中国农业科学,2018,51(9):1758-1770.

(上接第 221 页)

- [17] Stam J M T. On the modeling of two-dimensional Aeolian dunes[J]. Sedimentology, 1997, 44(1):127-141.
- [18] McKenna N C, Lancaster N, Nickling W G. The effect of unsteady winds on sediment transport on the stoss slope of a transverse dune[J]. Silver Peak, NV, USA, Sedimentology, 2006, 47(1):211-226.
- [19] 张正偲,董治宝.横向沙丘表面气流流特征野外观测[J].地理科学,2015,35(5):652-657.
- [20] 杜建会,严平,俄有浩.甘肃民勤不同演化阶段白刺灌丛沙堆分布格局及特征[J].生态学杂志,2007,26(8):1165-1170.
- [21] 张进虎,唐进年,李得禄,等.民勤荒漠绿洲过渡带灌丛沙堆形态特征及分布格局[J].中国沙漠,2015,35(5):1141-1149.
- [22] 谢国勋,罗维成,赵文智.荒漠草原带沙源及灌丛对灌丛沙堆形态的影响[J].中国沙漠,2015,35(3):573-581.
- [23] 孙涛,贾志清,刘虎俊,等.绿洲荒漠过渡带不同演替阶段白刺灌丛植被和沙堆形态特征相关性分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2020,56(3):396-403,411.

(上接第 229 页)

- [18] 钱进,郑浩,朱月明,等.干湿交替对河岸带环境效应的影响机制研究进展[J].水利水电科技进展,2016,36(1):11-15,22.
- [19] 张素,熊东红,校亮,等.干湿交替对土壤性质影响的研究[J].土壤通报,2017,48(3):762-768.
- [20] 辛星.干湿交替作用下鄱阳湖湿地土壤氮磷变化特征模拟研究[D].河南 开封:河南大学,2017.
- [21] 钱进,沈蒙蒙,王沛芳,等.河岸带土壤磷素空间分布及其对水文过程响应[J].水科学进展,2017,28(1):41-48.
- [22] 王明.干湿交替驱动下土壤微生物量 N_2O 变化规律[D].北京:中国农业科学院,2013.
- [23] 夏建国,仲雨猛,曹晓霞.干湿交替条件下土壤磷释放及其与土壤性质的关系[J].水土保持学报,2011,25(4):238-248.
- [24] Young E O, Ross D S. Total and labile phosphorus concentrations as influenced by riparian buffer soil properties[J]. Journal of Environmental Quality, 2016, 45(1):294-304.
- [25] 梁士楚,苑晓霞,卢晓明,等.漓江水陆交错带土壤理化性质及其分布特征[J].生态学报,2019,39(8):2752-2761.
- [26] Li S L, Gang D G, Zhao S J, et al. Response of ammonia oxidation activities to water-level fluctuations in riparian zones in a column experiment[J/OL]. Chemosphere, 2021, 269. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128702>.