

有机无机肥配施对砂田西瓜产量、品质及水氮利用率的影响

杜少平¹, 马忠明^{2*}, 薛亮³

¹甘肃省农业科学院蔬菜研究所, 兰州 730070; ²甘肃省农业科学院, 兰州 730070;

³甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 兰州 730070)

摘要:【目的】促进黄土高原干旱半干旱区砂田西瓜水氮高效利用和可持续性生产, 探索适宜的有机氮替代无机氮水平。【方法】2016—2017年在甘肃省皋兰县砂田西瓜主产区进行了连续2 a的大田试验, 设置了6个处理: 单施化学氮肥不施有机肥(OF-0%)、有机肥25%替代化学氮肥(OF-25%)、有机肥50%替代化学氮肥(OF-50%)、有机肥75%替代化学氮肥(OF-75%)、有机肥100%替代化学氮肥(OF-100%)和不施氮肥对照(CK), 研究了有机氮替代无机氮对砂田西瓜生长、产量、品质及水氮利用效率的影响。【结果】在200 kg·hm⁻²施氮水平下, 有机肥氮替代处理对砂田西瓜增产增效作用显著, 与单施化肥相比, 50%~100%替代处理西瓜成活率提高了26.47%~34.16%, 增产63.2%~156.6%, 果实可溶性糖含量提高18.1%~27.1%, 氮素利用率提高了16.5%~18.5%, 水分利用效率提高了93.5%~176.3%。【结论】在相等的总氮量投入下, 50%~100%是该地区20 a砂田西瓜有机氮替代无机氮的适宜水平, 建议在生产中推广应用。

关键词: 西瓜; 有机无机肥配施; 砂田; 产量; 品质; 水氮利用效率

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2020)03-0380-10

Effect of manure combined with chemical fertilizers on fruit yield, fruit quality and water and nitrogen use efficiency in watermelon grown in gravel-mulched field

DU Shaoping¹, MA Zhongming^{2*}, XUE Liang³

¹Institute of Vegetables, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China; ²Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China; ³Institute of Soil, Fertilizer and Water-saving Agriculture, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: 【Objective】 The use of gravel-sand mulch is a traditional water conservation technique that has been used for centuries in the loess region of northwestern China. A porous layer of gravel and sand about 10 cm thick on the soil surface could reduce the risk of crop failure, which frequently occurs due to a combination of low precipitation and high evaporation that creates severe soil moisture deficits. The gravel-sand mulch could effectively reduce evaporation and runoff, and increase the soil temperature and retain soil moisture. However, because of covering sand layer, it also increases the difficulty of applying farmyard manure. Therefore, the traditional fertilization in this region involves chiefly application of chemical fertilizer, while organic fertilizers are neglected. Long-term surfeit use of excessive chemical fertilizer worsens the physical property of soil, causing soil hardening and leanness. Therefore, drought stress, low fertilizer efficiency and imbalanced fertilization are the limiting factors in gravel-mulched fields. This study examined the effect of the application of manure combined with chemical

收稿日期: 2019-09-03 接受日期: 2019-11-27

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0201300); 甘肃省农业科学院中青年基金项目(2018GAAS05); 国家西甜瓜产业技术体系项目(CARS-26-20)

作者简介: 杜少平, 男, 副研究员, 硕士, 主要从事西甜瓜肥水高效利用技术研究。Tel: 0931-7614722, E-mail: dushaoping2007@163.com

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0931-7617566, E-mail: mazhming@163.com

fertilizers on fruit yield, quality and water and nitrogen use efficiency of watermelon in gravel-mulched field under the same amount of nutrient application.【Methods】A two-year field experiment was conducted in Gaolan, Gansu Province, China, where watermelon cultivation in gravel-mulched fields has a long history. A late mature watermelon cultivar ‘Xi Sha Rui Bao’ was used as the material and given 6 fertilization treatments: OF-0%, N fertilizer without organic fertilizer; OF-25%, substitution 25% inorganic-N with organic-N; OF-50%, substitution 50% inorganic-N with organic-N; OF-75%, substitution 75% inorganic-N with organic-N; OF-100%, substitution 100% inorganic-N with organic-N; and CK, no N fertilizer. The treatments were arranged in a randomized manner with three replicates, and the area of test plots was 32 m². The amounts of nitrogen, phosphorus and potassium applied were 200 kg·hm⁻², 170 kg·hm⁻² and 260 kg·hm⁻², respectively. The growth target, yield, quality and the use efficiency of water and N fertilizer of watermelon were determined.【Results】The emergence rate and survival rate of watermelon seedlings increased with the increased application amount of farmyard manure. Compared to chemical fertilizer, 50%-100% substitution of inorganic-N with organic-N improved the survive rate of watermelon by 26.47%-34.16%. Meanwhile, the above-ground dry matter also increased with the addition of farmyard manure in vegetative stage, which was advantageous to the formation of ‘source’. The watermelon yield in the treatments with 50%-100% substitution of inorganic-N with organic-N was increased by 63.2%-156.6% compared with N fertilizer without organic fertilizer. Meanwhile, the watermelon quality in treatments with 50%-100% substitution inorganic-N with organic-N was superior to that in treatments with no organic fertilizer. For example, the contents of sugars, effective acids and vitamin C increased by 18.1%-27.1%, 3.4%-5.3% and 18.6%-37.6% respectively, suggesting that organic fertilizer plays an important role in quality formation in watermelon. Total nitrogen in watermelon increased significantly by 58.8%-91.9% at fruit stage, and by 106.2%-119.1% at mature stage, in treatments with 50%-100% substitution of inorganic-N with organic-N. Nitrogen transportation amount was increased significantly by 46.4%-223.8%, and nitrogen fertilizer recovery efficiency by 6.9%-18.5% by applying organic fertilizer. The results showed that more organic fertilizer was propitious to the transportation between the ‘source’ and the ‘sink’. Combined application of chemical fertilizer and organic manure could reduce water consumption and improve water use efficiency in melon grown soil in gravel-mulched fields. Compared to pure chemical fertilizer, soil water use efficiency was increased by 54.9%-176.3% with organic manure treatments.【Conclusion】These results demonstrated that under the same N input level, 50%-100% substitution of inorganic-N with organic-N is a suitable for watermelon in 20 years old sandy land.

Key words: Watermelon; Organic manure combined application of chemical fertilizer; Gravel-mulched field; Yield; Quality; Water and nitrogen use efficiency

砂田是指在土地表面覆 10~15 cm 厚的砂砾层,具有增温保墒、阻止水土流失和土壤次生盐渍化的作用^[1-3],主要分布在我国降水偏少的甘肃中部以及宁夏、青海和新疆的部分地区,其中甘肃和宁夏砂田占全国砂田总面积的 90%以上^[4]。“压砂瓜”是近年来砂田种植最具代表性也是最闪亮的一张名片,顾名思义,是在砂田上种植西瓜和甜瓜,且西瓜种植面积远远大于甜瓜。在 2008—2014 年中国

西瓜收获面积排名中,宁夏西瓜面积排名第 9~10 位,而宁夏砂田西瓜面积约 6.67 万 hm²,占全区西瓜面积的 85.5%^[5],成为全国 8 月份西瓜主要输出地。由此可见,砂田西瓜在全国西瓜生产中占有重要的地位。在砂田西瓜产业迅猛发展的同时,也面临着砂田老化和西瓜连作障碍等限制砂田西瓜产业发展的瓶颈问题。其中长期施肥结构不合理是导致砂田西瓜生产力下降的主要原因之一,砂田自

铺设后,由于砂层阻隔,很少施用有机肥,主要以化肥耨施为主,而长期施用化肥势必导致土壤质量下降^[5]。已有研究表明,有机肥与化肥配施较单施化肥,土壤中大于5 mm机械稳定性大团聚体增幅达2%~42%,且降低了土壤容重并提高其孔隙度,改良土壤物理结构^[6],土壤有机碳含量提高了61.6%^[7],玉米籽粒中氮素累积吸收量增加7.0%,氮素总表观利用率提高2.5个百分点^[8],番茄产量增加了4.8%~14.4%,且显著提高了番茄可溶性固形物、还原型维生素C及可溶性总糖等含量^[9]。以往研究主要集中在砂田西瓜化肥的优化施用技术方面^[10-12],提出砂田西瓜的优化施肥方案为N:200 kg·hm⁻²、P₂O₅:170 kg·hm⁻²、K₂O:260 kg·hm⁻²,而关于有机肥与化肥配施对砂田西瓜生长及养分利用影响的研究较少。因此,笔者在前期砂田西瓜优化施肥方案的基础上,通过有机肥替代不同比例化肥氮素养分对砂田西瓜产量、品质及水氮利用率的影响研究,提出有机肥替代化肥的最佳比例,以期为西北砂田西瓜优质高效栽培和水肥资源的高效利用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验区概况

本试验于2016—2017年在甘肃省农业科学院皋兰试验站进行,位于皋兰县九合镇三坪村(36°13' N,103°42' E),平均海拔1 830 m,属温带半干旱气候区,降水少且变率大,季节分配不均,多年平均降水量260 mm,多集中在7—9月份,占全年降水的60%以上,年平均气温7.0℃,≥10℃的活动积温为2 798℃,无霜期142 d。试验地为20 a砂田,土壤质地为砂土,播前土壤(0~20 cm)基础养分含量(w,后同)为:有机质2.64 g·kg⁻¹、全氮0.31 g·kg⁻¹、碱解氮36.36 mg·kg⁻¹、速效磷8.48 mg·kg⁻¹、速效钾60.42 mg·kg⁻¹,pH 8.78。

1.2 材料与设计

供试西瓜品种为‘西沙瑞宝’,化肥氮肥为尿素(N 46%)、磷肥为普过磷酸钙(P₂O₅ 12%)、钾肥为硫酸钾(K₂O 50%)。有机肥为皋兰县腾达养殖专业合作社提供的牛粪,经发酵腐熟后使用,其养分含量为有机质31.1%、全氮1.5%、全磷1.3%、全钾2.1%。

试验设6个处理:对照(CK,不施氮肥)、OF-0%(100%N由化肥提供)、OF-25%(25%N由有机肥提

供)、OF-50%(50%N由有机肥提供)、OF-75%(75%N由有机肥提供)、OF-100%(100%N由有机肥提供),每处理3次重复,小区面积32 m²,随机区组排列。各处理的全氮、全磷、全钾养分均为砂田西瓜优化推荐施用量,均为N 200 kg·hm⁻²、P₂O₅ 170 kg·hm⁻²、K₂O 260 kg·hm⁻²,利用无机氮、磷、钾肥调节各处理养分用量相同。其中100%有机肥、30%氮肥、100%磷肥和50%钾肥作为基肥于西瓜播前在种植行条施,30%氮肥和20%钾肥于西瓜伸蔓期穴施,剩余40%氮肥和30%钾肥于西瓜膨果初期穴施。采用宽窄行“品”字形栽培模式,窄行0.6 m,宽行0.9 m,单排株距1.1 m,种植密度11 335株·hm⁻²。其他田间管理措施同当地。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 西瓜出苗率与成活率 西瓜出苗率与成活率计算公式为:

$$\text{出苗率}/\% = \text{出苗株数} / \text{播种株数}$$

$$\text{成活率}/\% = \text{成活株数} / \text{出苗株数}$$

1.3.2 西瓜植株干质量 分别在西瓜苗期(“三叶一心”)、伸蔓期、坐果期和成熟期,每小区随机选取5株具有代表性且长势一致的地上部植株,摘除果实然后在105℃条件下杀青0.5 h,然后在80℃烘至恒重后测定植株干质量。

1.3.3 产量与品质 西瓜成熟期,每小区随机选10个具有代表性、长势一致的西瓜测定单瓜质量,并统计每小区西瓜成果数,然后统计产量。采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量^[13],采用比色法测定维生素C含量^[13],pH计测定有效酸度^[13]。

1.3.4 植株养分 植株、果实养分:分别在西瓜坐果期和收获后,结合生育期植株干质量和考种采用凯氏定氮法^[14]测定植株及果实全氮含量。

氮素积累量(kg·hm⁻²)=氮素含量×干物质质量^[11];

营养器官氮素转运量(kg·hm⁻²)=坐果期植株氮素积累量—成熟期植株氮素积累量^[11];

营养器官氮素转运率/%=植株氮素转运量/坐果期植株氮素积累量×100^[11];

氮肥吸收利用率/%=(施氮区地上部吸氮量—空白区地上部吸氮量)/施氮量×100^[11]。

1.3.5 土壤水分 分别在西瓜播种前和收获后用烘干法^[14]测定砂层下0~120 cm土壤含水量,每20 cm为一测定层次。

$$\text{土壤贮水量(mm)} = \sum C_i M_i D_i$$

C_i 、 M_i 、 D_i 分别代表第*i*层土壤容重、含水量、测定深度^[15]。

田间耗水量 ET (mm) = $P+I+R+\Delta W$, 式中 P 为西瓜生育期内日降水量大于 3 mm 的自然降水总量即有效降雨量; I 为农田灌水量; R 为地下水补给量; ΔW 为某一时段农田土壤贮水变化量^[15]。

水分利用效率 $WUE_{\text{产量}} = \text{西瓜产量(kg)}/\text{耗水量}(\text{m}^3)$ ^[15]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件对数据进行统计分析。采用单因素(one-way ANOVA)和 Duncan 法进行方差分析和多重比较($\alpha=0.05$), 表中数

据为平均值±标准差。

2 结果与分析

2.1 化肥有机替代对砂田西瓜出苗率及成活率的影响

砂田西瓜出苗率和成活率总体表现出随有机肥提供氮素养分比例的增加而提高的趋势(图1), 其中有机肥提供50%及以上氮素养分的西瓜出苗率和成活率均显著高于单施化肥处理, OF-50%、OF-75%和 OF-100%处理较单施化肥 OF-0%处理的西瓜出苗率分别显著提高了8.45%、10.60%和18.66%, 西瓜成活率分别显著提高了26.47%、29.77%和34.16%, 而 OF-25%与 OF-0%处理间差异不显著。以上结果表明增施有机肥对克服砂田西瓜连作障

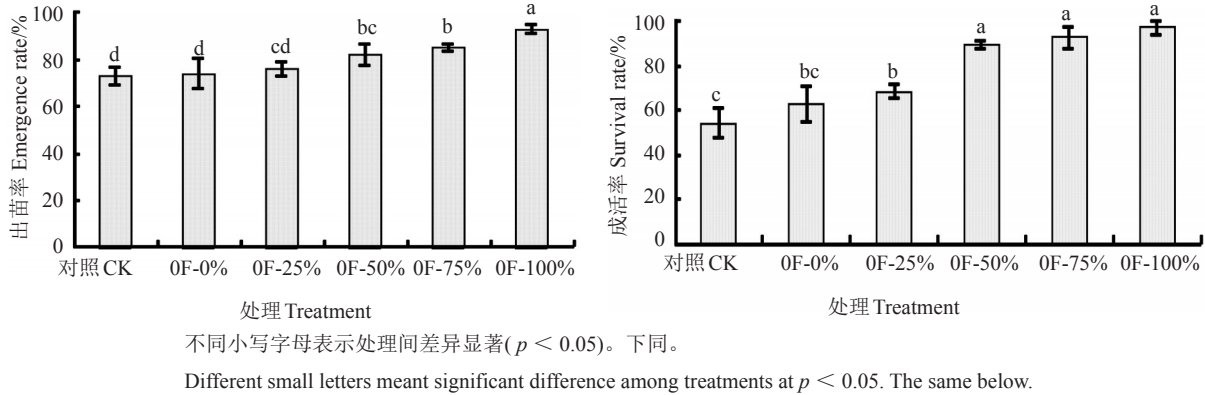


图1 不同施肥处理的砂田西瓜出苗率和成活率

Fig. 1 Emergence rate and survival rate of watermelon seedlings under different fertilizer treatments

碍具有一定作用。

2.2 化肥有机替代对砂田西瓜干物质积累的影响

西瓜植株干物质积累量主要是指茎、叶营养器官干物质的积累量, 西瓜坐果前, 营养器官是西瓜果实发育的“源”, “源”是光合产物的生产和供应者, 是“库”的基础。由图2可知, 在西瓜营养生长

期, 植株干物质积累量整体表现出随有机肥替代化肥比例增加而增加的趋势, 且有机肥提供50%及以上氮素养分处理的西瓜植株干物质积累量显著高于单施化肥处理, 在西瓜苗期、伸蔓期、开花坐果期, 有机肥提供50%及以上氮素养分处理的植株干物质积累量较单施化肥处理, 2016年分别显著提高了

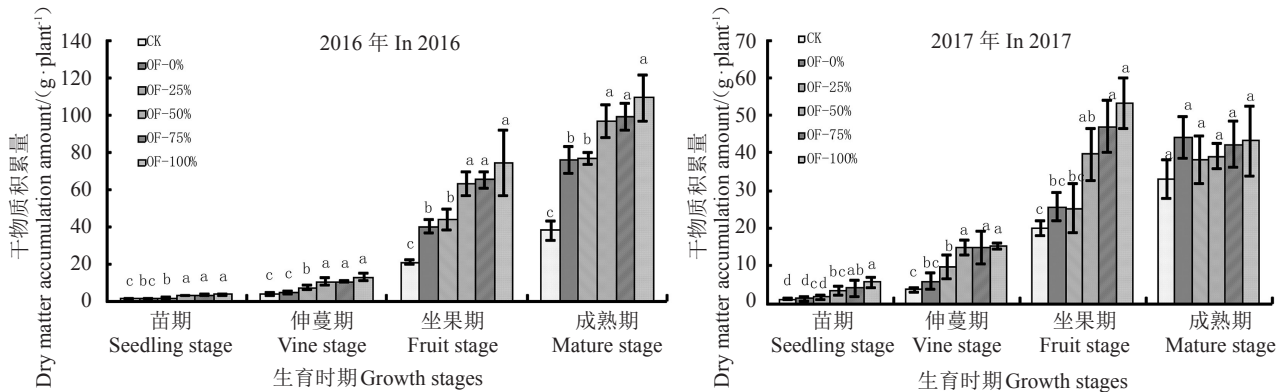


图2 不同施肥处理对砂田西瓜干物质积累的影响

Fig. 2 Effects of different fertilization treatments on dry matter accumulation in watermelon

213.59%~259.78%、124.62%~172.98%和57.40%~86.06%；2017年分别显著提高了156.72%~323.88%、151.02%~158.81%和54.78%~107.21%。在西瓜成熟期，2016年植株干物质积累量表现出与营养生长期相似的趋势，而2017年各处理间差异不显著，这主要是在西瓜膨果期受干旱胁迫的影响。以上分析可知，有机肥替代部分化肥较单施化肥处理对西瓜苗期植株干物质积累量的增加幅度最大，因此，增施有机肥既有利于培育壮苗，同时也扩大了“源”的积累，为西瓜增产提质奠定了基础。

2.3 化肥有机替代对砂田西瓜产量和品质的影响

由表1可知，化肥有机替代处理的砂田西瓜单瓜质量与产量均显著高于对照和单施化肥处理，其

中OF-25%、OF-50%、OF-75%、OF-100%处理较单施化肥的OF-0%处理西瓜单果质量分别提高了27.5%~38.2%、36.2%~62.7%、67.2%~71.7%和66.7%~74.1%；产量分别增加37.8%~38.3%、63.2%~92.2%、72.2%~146.2%和74.6%~156.6%。有机肥提供50%及以上氮素养分的西瓜品质指标均显著高于单施化肥处理，其中OF-50%、OF-75%、OF-100%处理较单施化肥的OF-0%处理西瓜可溶性糖含量分别提高了18.1%~24.5%、22.3%~24.78%和21.3%~27.1%；有效酸度分别提高了3.6%~5.1%、3.4%~5.3%和4.0%~4.5%；维生素C含量分别提高了18.6%~25.5%、24.7%~33.4%和26.6%~37.6%。由此可见，砂田西瓜产量和品质均随着有机肥替代化肥氮素

表1 不同施肥处理的西瓜产量和品质

Table 1 Fruit yield and quality of watermelon under different fertilizer treatments

年份 Year	处理 Treatment	单瓜质量 Fruit mass/ kg	产量 Yield/ (kg·hm ⁻²)	w(可溶性糖) Soluble sugar/%	有效酸度 Effective acid/pH	w(维生素C) Vc content/ (mg·kg ⁻¹)
2016	对照 CK	1.60±0.11 c	21 372.64±1 522.10 c	8.4±0.2 d	5.09±0.08 c	25.30±1.40 d
	OF-0%	2.12±0.34 c	28 222.56±4 565.48 c	9.4±0.1 c	5.12±0.03 bc	28.33±0.45 cd
	OF-25%	2.93±0.09 b	39 036.76±1 179.02 b	10.8±0.1 b	5.30±0.05 ab	30.67±2.54 bc
	OF-50%	3.45±0.37 ab	46 070.16±4 945.05 ab	11.7±0.2 a	5.38±0.15 a	33.60±1.90 ab
	OF-75%	3.64±0.50 a	48 588.84±6 651.18 ab	11.5±0.4 a	5.39±0.05 a	35.33±2.41 ab
	OF-100%	3.69±0.17 a	49 272.72±2 212.79 a	11.4±0.1 a	5.35±0.17 a	35.87±3.32 a
2017	对照 CK	1.68±0.41 c	12 134.20±3 713.27 d	8.2±0.8 c	5.18±0.13 b	35.94±2.75 c
	OF-0%	2.07±0.14 c	17 413.92±1 501.52 d	9.2±0.5 b	5.24±0.08 b	38.53±5.32 c
	OF-25%	2.64±0.22 b	23 994.85±2 551.54 c	9.7±0.7 b	5.25±0.08 b	42.88±4.58 bc
	OF-50%	2.82±0.24 b	33 467.44±3 536.41 b	10.8±0.2 a	5.43±0.09 a	48.37±5.54 ab
	OF-75%	3.46±0.26 a	42 876.27±4 064.24 a	11.4±0.4 a	5.42±0.03 a	51.39±0.99 a
	OF-100%	3.45±0.39 a	44 688.06±6 305.47 a	11.6±0.5 a	5.45±0.13 a	53.03±1.83 a

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among treatments at 0.05 level. The same below.

养分比例的增加而提高。

2.4 化肥有机替代对砂田西瓜氮素运转和利用的影响

由表2可以看出，西瓜坐果期，施氮处理的植株氮素积累量均显著高于对照不施氮肥，且随着有机肥提供氮素比例的增加而提高，其中有机肥提供50%及以上氮素养分处理的西瓜植株氮素积累量显著高于单施化肥处理，OF-50%、OF-75%、OF-100%处理较单施化肥的OF-0%处理分别提高了58.8%、69.0%和91.9%。西瓜成熟期，由于营养器官氮素向果实发生转移，除不施氮肥处理外，有机肥与化肥配施处理的植株氮素积累量与单施化肥处理间差异不显著，而果实氮素积累量均显著高于单施化肥

处理，OF-25%、OF-50%、OF-75%、OF-100%处理较单施化肥处理OF-0%分别提高了57.8%、106.2%、119.1%和116.8%。西瓜坐果期营养器官氮素向果实的运转量和转运率也随着有机肥提供氮素比例的增加而提高，其中OF-25%、OF-50%、OF-75%、OF-100%处理较单施化肥OF-0%处理氮素转运量分别显著增加了46.4%、142.3%、183.7%和223.8%，氮素转运率分别显著提高了12.4%、20.1%、26.1%和25.1%。由此可见，增施有机肥有利于增加西瓜“源”积累、扩大“库”容量和促进“源”—“库”运转。从而导致西瓜氮素利用率也随着有机肥施用比例的增加而提高，OF-25%、OF-50%、OF-75%、OF-100%处理的氮素利用率较单施化肥处理分别显著

表2 不同施肥处理的西瓜氮素运转与利用

Table 2 Nitrogen translocation and utilization in watermelon under different fertilizer treatments

处理 Treatment	坐果期 Fruit stage	成熟期 Mature stage		氮运转量 NTA/(kg·hm ⁻²)	氮运转率 NTR/%	氮利用率 NRE/%
	植株 Plant/ (kg·hm ⁻²)	植株 Plant/ (kg·hm ⁻²)	果实 Fruit/ (kg·hm ⁻²)			
对照 CK	19.14±0.51 c	13.52±0.98 c	21.03±1.99 d	5.62±1.47 e	29.36±7.01 c	-
OF-0%	42.71±4.21 b	26.25±2.50 ab	29.62±4.28 c	16.46±2.34 d	38.54±2.83 c	10.66±1.22 c
OF-25%	47.19±4.59 b	23.09±0.70 b	46.74±2.29 b	24.10±3.92 c	51.07±3.45 b	17.64±1.43 b
OF-50%	67.83±5.75 a	27.95±2.92 a	61.07±5.63 a	39.88±6.06 b	58.79±5.33 ab	27.24±3.05 a
OF-75%	72.19±5.06 a	25.49±1.27 ab	64.89±6.96 a	46.70±4.79 ab	64.69±2.66 a	27.92±3.61 a
OF-100%	81.97±17.82 a	28.66±3.48 a	64.23±3.66 a	53.30±5.16 a	65.02±7.12 a	29.17±2.30 a

提高了6.9%、16.5%、17.2%和18.5%。

2.5 化肥有机替代对砂田西瓜水分利用效率的影响

不同处理砂田0~120 cm土壤贮水量与西瓜生长及有机肥施用比例有密切关系(表3)。2016年西瓜成熟期,不施氮肥对照处理的土壤贮水量高于其他施氮处理,这主要是由于不施氮肥对照处理的西瓜茎叶生物量及产量较低,因此耗水量也较小。其余配施有机肥处理土壤贮水量均显著高于单施化肥处理,且随有机肥施用量的增加表现出先增加后降低的趋势,配施有机肥处理的西瓜生育期土壤耗水量均显著低于单施化肥处理,OF-25%、OF-50%、OF-75%、OF-100%处理较单施化肥OF-0%处理分别降低了28.43、34.46、35.29和27.29 mm。受西瓜产量与耗水量的共同影响,OF-25%、OF-50%、OF-

75%、OF-100%处理的水分利用效率较单施化肥OF-0%处理分别显著提高了59.4%、93.5%、106.1%和99.2%。2017年西瓜播种期,有机肥化肥配施处理的土壤贮水量仍高于单施化肥处理,其中有机肥提供50%~75%氮素处理较OF-0%处理显著提高了19.14~20.36 mm。由于2017年西瓜生育期降水量减少,导致成熟期0~120 cm土壤贮水量和耗水量均降低,但不同处理间变化趋势与2016年一致,即配施有机肥处理土壤贮水量均显著高于单施化肥处理,而西瓜生育期土壤耗水量均低于单施化肥处理,其中OF-25%、OF-50%、OF-75%、OF-100%处理较单施化肥OF-0%处理的土壤耗水量分别降低了17.11、12.01、16.88和7.20 mm,而水分利用效率分别显著提高了54.9%、108.5%、176.3%和170.1%。

表3 不同施肥处理的西瓜水分利用效率

Table 3 Water use efficiency in watermelon under different fertilizer treatments

年份 Year	处理 Treatment	土壤贮水量 Soil water storage/mm		贮水变化量 Variation of water storage/ mm	降水量 Precipitation/ mm	耗水量 Water consumption amount/mm	水分利用效率 Water use efficiency/ (kg·m ⁻³)
		播种期 Seeding stage	成熟期 Mature stage				
2016	对照 CK	207.12	202.72±24.99 a	4.40±24.99 c	154.80	159.20±24.99 c	13.43±2.91 d
	OF-0%	207.12	148.83±8.28 c	58.29±8.28 a	154.80	213.09±8.28 a	13.24±2.62 d
	OF-25%	207.12	184.12±18.54 ab	29.86±14.67 bc	154.80	184.66±14.67 bc	21.14±1.63 c
	OF-50%	207.12	183.29±6.20 ab	23.83±6.20 bc	154.80	178.63±6.20 bc	25.79±2.11 b
	OF-75%	207.12	177.26±14.67 ab	23.00±18.54 bc	154.80	177.80±18.54 bc	27.33±3.60 a
	OF-100%	207.12	176.12±7.16 b	31.00±7.16 b	154.80	185.80±7.16 b	26.52±0.55 ab
2017	对照 CK	180.09±10.79 ab	167.33±8.76 ab	12.76±2.96 c	120.00	132.76±2.96 c	9.14±2.29 d
	OF-0%	173.59±8.63 b	140.13±7.00 c	33.47±7.00 a	120.00	153.47±7.00 a	11.35±0.77 d
	OF-25%	187.75±5.31 ab	171.39±6.45 a	16.36±6.45 bc	120.00	136.36±6.45 bc	17.60±0.86 c
	OF-50%	193.95±9.45 a	172.49±10.20 a	21.46±7.33 bc	120.00	141.46±7.33 bc	23.66±1.70 b
	OF-75%	192.73±7.90 a	176.15±6.06 a	16.59±6.06 bc	120.00	136.59±6.06 bc	31.39±1.15 a
	OF-100%	183.40±16.34 ab	157.12±5.36 b	26.27±5.36 ab	120.00	146.27±5.36 ab	30.55±4.65 a

3 讨论

西瓜在我国西北砂田作为重要的经济作物已

被广泛栽培,然而随着生产的规模化,西瓜重茬现象日益普遍,其结果导致西瓜生长发育不良,病害蔓延且品质下降,甚至植株死亡而绝产,连作障碍

已经成为制约砂田西瓜生产发展的主要因素。已有研究表明,有机-无机肥配施能够有效改良西瓜连作地土壤环境,可有效抑制西瓜连作障碍^[16]。本研究结果表明增施有机肥可减轻砂田西瓜连作障碍,西瓜出苗率与成活率随有机肥施用量的增加而提高,其中有机肥提供50%及以上氮素养分处理的西瓜出苗率和成活率均显著高于单施化肥处理。这主要是由于西瓜病害多为真菌病害,施入有机肥料后(动物粪便和植物残体混合物),土壤中有利的细菌、放线菌数量显著增加,可有效地减少病原性真菌的数量,细菌、放线菌变为优势菌群,从而增强了连作西瓜抗性,减少病害的发生^[17]。

西瓜产量是确定西瓜经济效益的一项重要指标,可溶性糖、维生素C等是检测西瓜果实品质的重要指标。已有研究表明,与单施化肥相比,施用有机肥或有机无机肥配施可显著提高西瓜叶片光合性能和叶绿素含量,促进地上部干物质累积和根系活力,从而增加西瓜产量,提高了可溶性糖、维生素C含量等果实品质指标^[17-19],这与本研究结果相似。关于有机肥替代化肥比例,有研究表明,在施氮量相同条件下,施有机氮20%时,苋菜的根系活力最高,且品质较好,在施有机氮10%时,苋菜的产量最高^[20];化肥减量60%并配施40%有机肥对连续种植的蔬菜产量没有明显影响,但显著提高了蔬菜的品质^[21];有机肥氮在20%~40%,稻米产量最高,品质较佳^[22]。本研究结果表明,不同处理砂田西瓜产量2016年均高于2017年,这主要与当地西瓜生育期降雨量有关,西瓜整个生育期降雨量2016年为154.80 mm,2017年为120.00 mm。总体而言,较单施化肥,西瓜产量和品质均随着有机肥氮所占比例的增加而提高,且在西瓜连作第2年增加幅度更大,这主要有两方面原因:其一是由于降雨和连作原因导致2017年单施化肥处理西瓜产量较低;另外还与砂田西瓜栽培方式有关,砂田由于砂砾层覆盖,有机肥尤其是畜禽粪肥施入困难,因此,砂田自铺设之后很少补充有机肥,主要以化肥耨施为主,长期施用化肥造成砂田土壤物理结构变差^[23],有机碳含量下降^[24],养分比例失调,微量元素缺乏^[25],土壤微生物系统失衡^[26],最终导致土壤质量下降,西瓜连作障碍加重。西瓜连作障碍导致西瓜生长发育不良,品质下降,然而科学的施肥方式可以有效提高西瓜品质及抗病性,从而改善西瓜连作障碍引起的品质下降

问题^[27]。本试验选择20年老砂田作为研究对象,本文作者前期研究表明,15年及以上旱砂田土壤团聚体有机碳储量降至最低水平,且趋于稳定,因此,需加大对中、老旱砂田的土壤培肥工作^[24]。

谢军等^[8]研究表明有机肥氮替代部分化肥氮能够明显增加玉米籽粒中的氮素积累量,促进氮素向籽粒中的转运,从而提高氮素利用效率。本研究结果也表明,配施有机肥较单施化肥处理可显著提高砂田西瓜营养长期植株氮素积累量,促进营养器官氮素向果实的运转,进而提高果实氮素积累量和氮肥利用率,且随着有机肥施用量的增加表现出增加的趋势。以上原因除了受西瓜植株干物质积累与产量的影响外,还与氮素在土壤中的转化有关。首先是施肥方式不同,化肥采用传统机械耨施,对于砂田而言,为防止砂土混合,肥料仅施在砂层之下的土壤表面,而农家肥在扒开砂层后采用翻土深施,可减少氮肥的氮挥发损失,提高氮素利用率^[28]。其次,有机肥或有机肥与化肥配施通过改善土壤氮素转化关键酶活性与功能微生物数量,提高了土壤矿化势和潜在硝化势,较单施化肥相比显著增加了土壤全氮、矿质氮以及微生物量碳、氮含量^[29]。另外,有机肥氮替代部分化肥氮能够改善土壤中氮素的供应过程,使土壤养分能够平稳释放^[30]。

以肥调水、以水促肥、水肥协调是黄土高原干旱半干旱区提高水肥利用效率的关键措施,而提高作物养分利用效率的关键是通过养分科学管理实现作物对水分利用的调控。本研究结果表明,有机肥氮替代部分化肥氮在显著提高砂田西瓜氮素吸收与利用的同时,也显著提高了砂田土壤贮水量和水分利用效率,这与谢军红等^[11]研究结果一致。本试验条件下砂田土壤水分利用效率的提高主要受施肥方式与肥料种类两方面因素的影响。长期砂田由于砂土混合形成紧实的覆盖层,易造成地表径流,不易拦蓄降水,且易形成毛管孔,土壤水分蒸发增加^[15]。而通过施用有机肥可以达到砂层疏松和土壤深松的作用,以拦蓄降水,破坏毛管孔,降低土壤水分蒸发,且土壤深松能增强作物根系活力和促进根系下扎,有利于吸收深层土壤养分和水分^[32]。另外,增施有机肥能够改良土壤物理结构,从而增强土壤保水蓄水能力,并能提高作物对深层土壤水分的利用^[33]。李银坤等^[34]研究表明,与单施化肥对照相比,有机肥与化肥配施处理0~160 cm土层土壤贮

水量提高8.8%~10.5%,夏玉米水分利用效率显著提高7.4%。

4 结 论

黄土高原干旱半干旱区20 a老砂田,在200 kg·hm⁻²等氮量投入条件下,有机氮替代无机氮较单施化肥具有缓解西瓜连作障碍和抗旱增产提质作用。其中,50%~100%是较佳的替代水平,较单施化肥西瓜成活率显著提高了26.47%~34.16%,增产63.2%~156.6%,果实可溶性糖含量提高18.1%~27.1%,有效促进了氮素的积累和运转,氮素利用率显著提高了16.5%~18.5%,并通过增加西瓜生育期土壤贮水量和减少耗水量,水分利用效率提高了93.5%~176.3%。化学氮肥有机替代的增产和水肥资源高效利用效应在西瓜连作和降水量偏少的第2年表现更优。

参考文献 References:

- [1] 刘谦和,李志强. 砂田土壤的水蒸发特征和温度变化[J]. 甘肃农业科技,1993(8):26-28.
LIU Qianhe, LI Zhiqiang. Feature of soil water evaporation and temperature dynamics of gravel mulched soil [J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 1993(8): 26-28.
- [2] 许强,强力,吴宏亮,康建宏,李成军,赵燕,丁秀玲. 砂田水热及减尘效应研究[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2009,30(2):180-182.
XU Qiang, QIANG Li, WU Hongliang, KANG Jianhong, LI Chengjun, ZHAO Yan, DING Xiuling. Study on sandy-field ecosystem affection[J]. Journal of Ningxia University(Natural Science Edition), 2009, 30(2): 180-182.
- [3] QIU Y, XIE Z K, WANG Y J, SUKHDEV S MALHI, REN J L. Long-term effects of gravel sand mulch on soil organic carbon and nitrogen in the Loess Plateau of northwestern China[J]. Journal of Arid Land, 2015, 7(1): 46-53.
- [4] 王亚军,谢忠奎,张志山,魏兴斌,李凤琴. 甘肃砂田西瓜覆膜补灌效应研究[J]. 中国沙漠,2003,23(3):300-304.
WANG Yajun, XIE Zhongkui, ZHANG Zhishan, WEI Xinghu, LI Fengqin. Effects of rainwater harvesting for supplementary irrigation on watermelon in gravel and plastic mulched field in Gansu[J]. Journal of Desert Research, 2003, 23(3): 300-304.
- [5] 马忠明,杜少平,薛亮. 砂田西瓜水肥高效利用理论与技术[M]. 北京:科学出版社,2018.
MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang. Theory and technology of high-efficient use of water and fertilizer for watermelon and melon in gravel-mulched field[M]. Beijing: Science Press, 2018.
- [6] 姜灿烂,何园球,刘晓利,陈平帮,王艳玲. 长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构及稳定性的影响[J]. 土壤学报,2010,47(4):715-722.
JIANG Sanlan, HE Yuanqiu, LIU Xiaoli, CHEN Pingbang, WANG Yanling. Effect of long-term application of organic manure on structure and stability of aggregate in upland red soil [J]. Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(4): 715-722.
- [7] HUANG S, RUI W Y, PENG X X. Organic carbon fractions affected by long-term fertilization in a subtropical paddy soil [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2010, 86(1): 153-160.
- [8] 谢军,赵亚南,陈轩敬,李丹萍,徐春丽. 有机肥氮替代化肥氮提高玉米产量和氮素吸收利用效率[J]. 中国农业科学,2016,49(20):3934-3943.
XIE Jun, ZHAO Yanan, CHEN Xuanjing, LI Danping, XU Chunli. Nitrogen of organic manure replacing chemical nitrogenous fertilizer improve maize yield and nitrogen uptake and utilization efficiency[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2016, 49(20): 3934-3943.
- [9] 李恕艳,李吉进,张邦喜,李国学,李扬阳. 施用有机肥对番茄品质风味的影响[J]. 中国土壤与肥料,2017(2):114-119.
LI Shuyan, LI Jijing, ZHANG Bangxi, LI Guoxue, LI Yangyang. Effect of different organic fertilizers application on tomato quality and flavor[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2017(2): 114-119.
- [10] 杜少平,马忠明,薛亮. 氮磷钾配施对砂田西瓜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2016,22(2):468-475.
DU Shaoping, MA Zhongming, XUE Liang. Effects of combined application of N, P and K on yield and quality of watermelon in gravel-mulched fields[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2016, 22(2): 468-475.
- [11] 马忠明,杜少平,薛亮. 氮肥运筹对砂田西瓜产量、品质及氮素积累与转运的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(11):3353-3360.
MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang. Effects of nitrogen management on yield, quality, nitrogen accumulation and its transportation of watermelon in gravel-mulched field[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(11): 3353-3360.
- [12] 杜少平,马忠明,薛亮. 旱砂田补灌水氮互作对西瓜产量、品质及水氮利用的影响[J]. 应用生态学报,2015,26(12):3715-3722.
DU Shaoping, MA Zhongming, XUE Liang. Interactive impact of water and nitrogen on yield, quality of watermelon and use of water and nitrogen in gravel-mulched field[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(12): 3715-3722.
- [13] 郝建军. 植物生理学实验技术[M]. 沈阳:辽宁科学技术出版

- 社,2001.
- HAO Jianjun. Experimental technique in plant physiology[M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Press,2001.
- [14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- BAO Shidan. Soil and agricultural chemistry analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press,2000.
- [15] 马忠明,杜少平,薛亮. 覆砂年限对砂田砂层质量、土壤水热状况及西瓜生长的影响[J]. 中国沙漠,2013,33(5):1433-1439.
- MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang. Influences of sand-mulching years on soil temperature, water content, and growth and water use efficiency of watermelon[J]. Journal of Desert Research,2013,33(5): 1433-1439.
- [16] 朱盼盼. 不同前作下不同肥料对西瓜连作障碍的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013.
- ZHU Panpan. The effect of watermelon continuous cropping obstacle on different fertilizer under different preceding crop[D]. Yangling: Northwest Agricultural and Forestry University,2013.
- [17] 吕卫光,杨广超,沈其荣,张春兰,诸海焘. 有机肥对连作西瓜生长及土壤微生物区系的影响[J]. 上海农业学报,2006,22(4):96-98.
- LV Weiguang, YANG Guangchao, SHEN Qirong, ZHANG Chunlan, ZHU Haitao. Effects of organic fertilizers on continuous cropping watermelon growth and soil microflora[J]. Acta Agriculturae Shanghai,2006,22(4): 96-98.
- [18] 杜少平,马忠明,薛亮. 不同有机肥对砂田西瓜产量、品质和养分吸收的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(4):1269-1277.
- DU Shaoping, MA Zhongming, XUE Liang. Effects of different kinds of organic fertilizer on fruit yield, quality and nutrient uptake of watermelon in gravel-mulched field[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2019,30(4): 1269-1277.
- [19] 蒲瑶瑶,吕秀敏,邬梦成,王东升,李伟明. 熏蒸条件下有机肥部分替代化肥对西瓜生长及养分利用的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(6):306-311.
- PU Yaoyao, LV Xiumin, WU Mengcheng, WANG Dongsheng, LI Weiming. Effects of partial substitution for chemical fertilizer by organic manure on the growth and nutrient use of watermelon under fumigation condition[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2017,31(6): 306-311.
- [20] 龚浩如,韩永亮,张宇,周亮,陈英姿. 有机无机肥不同配比比例对莴菜的根系特性、产量与品质的影响[J]. 湖南农业科学,2012(17):68-69.
- GONG Haoru, HAN Yongliang, ZHANG Yu, ZHOU Liang, CHEN Yingzi. Effects of different ratios of combined application of organic and mineral[J]. Hunan Agricultural Sciences,2012(17): 68-69.
- [21] 王冰清,尹能文,郑棉海,黄运强,罗瑛琳. 化肥减量配施有机肥对蔬菜产量、品质的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(1):242-247.
- WANG Bingqing, YIN Nengwen, ZHENG Mianhai, HUANG Yunqing, LUO Yinglin. Effects of reduction of chemical fertilizer and organic manure supplement on vegetables yield and quality [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2012,28(1): 242-247.
- [22] 周江明. 有机-无机肥配施对水稻产量、品质及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2012,18(1):234-240.
- ZHOU Jiangming. Effect of combined application of organic and mineral fertilizers on yield, quality and nitrogen uptake of rice [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2012,18(1): 234-240.
- [23] 王菲,王建宇,贺婧,王幼奇,王超. 压砂瓜连作对土壤酶活性及理化性质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2015,33(5):108-114.
- WANG Fei, WANG Jianyu, HE Jing, WANG Youqi, WANG Chao. Investigation on the effects of continuous cropping of Xisha water melon on the soil enzyme activities and physicochemical properties[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2015,33(5): 108-114.
- [24] 杜少平,马忠明,薛亮. 不同年限旱砂田土壤团聚体及其有机碳分布特征[J]. 应用生态学报,2017,28(5):1619-1625.
- DU Shaoping, MA Zhongming, XUE Liang. Distribution characteristics of soil aggregates and associated organic carbon in gravel-mulched land with different cultivation years[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2017,28(5): 1619-1625.
- [25] 许强,吴宏亮,康建宏,强力. 旱区砂田肥力演变特征研究[J]. 干旱地区农业研究,2009,27(1):37-41.
- XU Qiang, WU Hongliang, KANG Jianhong, QIANG Li. Study on evolution characteristics of sandy-field in arid region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2009,27(1): 37-41.
- [26] 薛亮,马忠明,杜少平. 连作对砂田土壤质量及西瓜产量与品质的影响[J]. 甘肃农业科技,2011(6):5-8.
- XUE Liang, MA Zhongming, DU Shaoping. Effects of watermelon replanting on yield and quality and soil quality of Sandy Land [J]. Gansu Agricultural Science and Technology,2011(6): 5-8.
- [27] 贾云鹤. 不同施肥处理对大棚西瓜产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2010(5):47-48.
- JIA Yunhe. Effects of different fertilization treatments on yield and quality of watermelon in plastics greenhouse [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences,2010(5): 47-48.
- [28] 周丽平. 不同氮肥缓释化处理及施肥方式对夏玉米田间氨挥发和氮素利用的影响[D]. 北京:中国农业科学院,2016.
- ZHOU Liping. Effects of slow-released nitrogen fertilizers and urea placement on soil ammonia volatilization and nitrogen utili-

- zation of summer maize[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2016.
- [29] 陶瑞. 化肥减量有机替代下滴灌农田氮素转化与 N_2O 排放[D]. 石河子: 石河子大学, 2015.
- TAO Rui. Response of soil N transformation and nitrous oxide emission to organic fertilizer partial substitution for chemical fertilizer on drip irrigated cotton field[D]. Shihezi: Shihezi University, 2015.
- [30] 王艳博, 黄启为, 孟琳, 沈其荣. 有机无机肥料配施对盆栽菠菜生长和土壤供氮特性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2006, 29(3): 44-48.
- WANG Yanbo, HUANG Qiwei, MENG Lin, SHEN Qirong. Effects of combined application of organic and inorganic fertilization application on growth of spinach and soil nitrogen supply [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2006, 29(3): 44-48.
- [31] 谢军红, 柴强, 李玲玲, 张仁陟, 王林林. 有机氮替代无机氮对旱作全膜双垄沟播玉米产量和水氮利用效率的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(4): 1199-1206.
- XIE Junhong, CHAI Qiang, LI Lingling, ZHANG Renzhi, WANG Linlin. Effects of the substitution of inorganic nitrogen by organic nitrogen fertilizer on maize grain yield and water and nitrogen use efficiency under plastic film fully mulched ridge-furrow in semi-arid area[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(4): 1199-1206.
- [32] 李娟, 葛磊, 曹婷婷, 徐艳. 有机肥施用量和耕作方式对旱地土壤水分利用效率及作物生产力的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 121-127.
- LI Juan, GE Lei, CAO Tingting, XU Yan. Effects of organic fertilization and tillage on soil water use efficiency and crop yield in dryland[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(2): 121-127.
- [33] SHARMA K L, MANDAL U K, SRINIVAS K, VITTAL K P R, MANDAL B, GRACE J K, RAMESH V. Long-term soil management effects on crop yields and soil quality in a dryland Alfisol[J]. Soil and Tillage Research, 2005, 83(2): 246-259.
- [34] 李银坤, 梅旭荣, 夏旭, 陈敏鹏. 减氮配施有机肥对华北平原夏玉米土壤水分及水氮利用的影响[J]. 水土保持研究, 2018, 25(5): 54-60.
- LI Yinkun, MEI Xurong, XIA Xu, CHEN Minpeng. Effect of nitrogen reduction and combined application of organic fertilizer on soil water dynamics and water and nitrogen use efficiency of summer maize in North China Plain[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(5): 54-60.