文章编号:1000-7601(2025)05-0120-09 doi:10.7606/j.issn.1000-7601.2025.05.12

碳氮配施比例对残膜污染棉田棉花光合产物积累及产量的影响

王 事[1],吴凤全[1],吴浩玉[1],刘柯鑫[1],
刘晓伟[3],林 涛[2],高 岗[1],印彩霞[1],
陈柏青[1],段淯水[1],张 昊[1],汤秋香[1]

(1.新疆农业大学农学院/棉花教育部工程研究中心,新疆 乌鲁木齐 830052; 2.新疆农业科学院经济作物研究所/农业农村部荒漠绿洲作物生理生态与耕作重点实验室,新疆 乌鲁木齐 830091;
3.中国农业科学院西部农业研究中心,新疆 昌吉 831100)

摘 要:为了探究碳氮配施比例对残膜污染棉田棉花光合产物积累及产量的影响,于 2023—2024 年在新疆典型残膜污染地区进行了 2 年的大田试验,以‘中棉 113’为材料,采用牛厩腐熟肥(C∶N=12∶1)和无机肥(尿素),在等氮量(375 kg·hm^{-2})投入下配制 4 种不同碳氮比的肥料,分别是碳氮比为:0∶1(CF)、3∶1(OF1)、6∶1(OF2)、9∶1(OF3),并以不施氮肥(CK)为对照,分析不同碳氮比例对残膜污染棉田干物质积累与分配及产量形成的影响。两年研究结果表明,碳氮配施总体上对棉花长势、地上部干物质积累与分配有一定的促进作用,提高了棉花的单株结铃数和单铃质量,有利于棉花产量的提高。随着碳氮配施比例增加,棉花生育期内干物质积累量、向生殖器官干物质积累量和籽棉产量呈先显著上升后显著下降的趋势,均表现为 OF2>OF3>OF1>CF;与其他碳氮配施比例相比,碳氮比为 6∶1(OF2)的棉花平均株高、茎粗、叶片和果枝数较 CF 处理平均分别提高了 3.66%、1.07%、0.97%、1.22%,干物质快速积累速率较大,干物质积累量较 CF 和 CK 分别提高了 7.50%和 10.35%,且向生殖器官的分配比例较其他处理提高了 5.58%~15.63%,并且 OF2 的单株结铃数和单铃质量较 CF 处理平均分别提高了 9.41%和 5.52%,使得籽棉产量较其他处理分别提高了 9.93%~33.46%。由相关性分析可知,籽棉产量与干物质积累量、铃数、营养器官积累量和生殖器官积累量之间的相关性最为显著。这些结果表明碳氮比 6∶1 对棉花长势、地上部干物质积累与分配有一定的促进作用,提高了棉花的单株结铃数和单铃质量,有利于棉花产量的提高。

关键词:棉花;残膜污染棉田;碳氮配施比例;干物质积累;产量

中图分类号:S562 **文献标志码**:A

Effects of carbon and nitrogen application ratio on the accumulation of photosynthetic products and yield of cotton in residual film-contaminated cotton fields

WANG Shi[1], WU Fengquan[1], WU Haoyu[1], LIU Kexin[1], LIU Xiaowei[3],
LIN Tao[2], GAO Gang[1], YIN Caixia[1], CHEN Baiqing[1],
DUAN Yushui[1], ZHANG Hao[1], TANG Qiuxiang[1]

(1. *College of Agriculture, Xinjiang Agricultural University, Cotton Engineering Research Center of the Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang* 830052, *China*; 2. *Institute of Economic Crops, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology and Cultivation in Desert Oasis of the Ministry of Agriculture and Rural Areas, Urumqi, Xinjiang* 830091, *China*; 3. *Western Agricultural Research Center of the Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changji, Xinjiang* 831100, *China*)

Abstract: To investigate the effects of carbon-to-nitrogen application ratio on the accumulation of photosynthetic products and yield in cotton fields contaminated with residual plastic film, a two-year field trial was

收稿日期:2024-11-19 **修回日期**:2025-06-09

基金项目:国家自然科学基金(32260542);新疆维吾尔自治区重点研发专项(2022B02033-1);国家现代农业产业技术体系-棉花产业技术体系(CARS-15-13);新疆现代农业产业技术体系-棉花产业技术体系(XIARS-03);新疆“天山英才”培养计划青年拔尖人才项目(2023TSYCCX0019);新疆农业大学大学生创新项目(dxscx2023004)

作者简介:王事(1997-),男,新疆阿拉尔人,硕士研究生,研究方向为作物栽培学与耕作学。E-mail:1614373952@qq.com

通信作者:汤秋香(1980-),女,河南开封人,教授,博士,主要从事棉田生态环境研究。E-mail:790058828@qq.com

conducted in a typical residual film contaminated area of Xinjiang from 2023 to 2024. Using 'Zhongmian 113' as the experimental material, cow manure compost (C ∶ N = 12 ∶ 1) and inorganic fertilizer (urea) were employed. Under equal nitrogen application rate (375 kg · hm^{-2}), four different carbon-to-nitrogen ratio fertilizers were formulated.The ratios were 0 ∶ 1 (CF), 3 ∶ 1 (OF1), 6 ∶ 1 (OF2), and 9 ∶ 1 (OF3), with a control group receiving no nitrogen fertilizer (CK). The study analyzed the effects of different carbon-to-nitrogen ratios on dry matter accumulation, distribution, and yield formation in residual film-contaminated cotton fields. The research results of two years showed that different carbon-nitrogen application ratios have a certain promotional effect on cotton growth, above-ground dry matter accumulation and distribution, increasing the number of bolls per plant and boll quality, which was conducive to improving cotton yield. As the carbon-to-nitrogen ratio increases, the accumulation of dry matter during the cotton growth period, the accumulation of dry matter in reproductive organs, and lint yield exhibited a trend of first significantly increasing and then significantly decreasing, with all showing the pattern OF2 > OF3 > OF1 > CF. Compared with other carbon-to-nitrogen ratios, the average plant height, stem thickness, number of leaves, and number of fruit branches were on average 3.66%, 1.07%, 0.97%, and 1.22% higher than the CF treatment, respectively. The rapid accumulation rate of dry matter was higher, and the dry matter accumulation increased by 7.50% and 10.35%, respectively, compared with the 0 ∶ 1 (CF) treatment and no nitrogen fertilizer (CK) treatment. The distribution ratio to reproductive organs increased by 5.58% ~ 15.63% compared with other treatments, and the number of bolls per plant and single boll weight of OF2 increased by 9.41% and 5.52%, respectively, compared to the CF treatment, resulting in a 9.93% to 33.46% increase in lint yield compared to other treatments. Furthermore, correlation analysis revealed that the most significant correlations were observed between seed cotton yield and dry matter accumulation, boll number, accumulation in vegetative organs, and accumulation in reproductive organs. These results indicated that a carbon-to-nitrogen ratio of 6 ∶ 1 has a positive effect on cotton growth, above-ground dry matter accumulation and distribution, increasing the number of bolls per plant and boll weight, thereby contributing to higher cotton yields.

Keywords: cotton; residual film contamination of cotton fields; carbon-nitrogen application ratio; dry matter accumulation; yield

地膜具有增温、保墒、抑盐、防草等作用[1-2],但随着高强度的种植和覆膜年限延长,残膜会在土壤中不断蓄积,残留的地膜会导致土壤耕地质量下降、水肥利用效率、作物生产潜力下降等一系列问题[3-4]。在农业生产中,合理的碳氮配施比例能够改善土壤理化特性[5],提高作物干物质积累量、养分利用率和作物产量[6]。因此,在残膜污染棉田条件下,探究合理碳氮配施比例对棉花光合产物积累及产量形成的影响至关重要。前人研究发现地膜残留量的增加会降低土壤有机质和无机氮含量[7],减缓了植株的干物质积累速率,使得植株干物质积累量、根冠比和生殖器官干物质分配比例明显下降,阻碍了作物产量的提高[8]。配施适宜碳氮比例的肥料能够调节土壤 pH 值,改善土壤团聚体结构和稳定性,增加土壤微生物数量及微生物群落丰度[9],从而促进土壤养分的转化[10],提高土壤养分的有效性,进而促进了作物干物质的快速积累[11],提高了同化物和养分向生殖器官中的转运能力[12],进一步改善了作物的品质[13]。而在水分亏缺灌溉下,适宜的碳氮配施能够提高棉花干物质积累速率和茎叶氮素转移率,提高植株干物质和氮素积累量,促进干物质和氮素向生殖器官中的分配[14],缓解轻度水分亏缺对棉花根系生长和地上部物质积累产生的影响,较单施氮肥更有利于棉花根系形态发育、根系空间分布和根系活力提升,促进地上部干物质的积累并提高籽棉产量[15],并且碳氮配施能有效提高盛蕾期后棉花叶面积指数,提高植株光合性能,促进地上部干物质的积累并向生殖器官转运,有利于后期籽棉产量的形成[16]。然而,目前针对不同的碳氮比例对棉花光合产物积累及产量形成的研究尚不充分,其在典型残膜污染棉田中的影响更不明确。因此,本研究在典型残膜污染地区,通过调节外源肥料的碳氮比例,分析不同碳氮比例对棉花光合产物积累及产量形成的影响,以期为残膜污染地区建立合理的施肥措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

于 2023—2024 年在新疆昌吉(87°19′E,44°15′N;海拔 474 m)进行田间试验。该地区为典型的大陆性干旱气候,年日照时数 2 700 h,年平均气温 6.8℃,年均降水量 190 mm,年无霜期 160~190 d,≥10℃的年积温 3 450℃。2023 年和 2024 年棉花生长阶段的气温和降雨量如图 1 所示。播前采集 0~60 cm 土层的土壤样品测定理化性质,土壤 pH 值为 7.98,有机质含量 14.61 g·kg^{-1},全氮含量 0.65 g·kg^{-1},速效磷含量22.04 mg·kg^{-1},速效钾含量 296.00 mg·kg^{-1}。该地区为长期覆膜棉田,地膜残留量达到了 257.1 kg·hm^{-2}(表 1),远远超过国家农田地膜残留量的标准[3]。

1.2 试验设计

采用随机区组设计,施用牛厩腐熟肥(C∶N=12∶1)和无机肥(尿素),在等氮量(375 kg·hm^{-2})

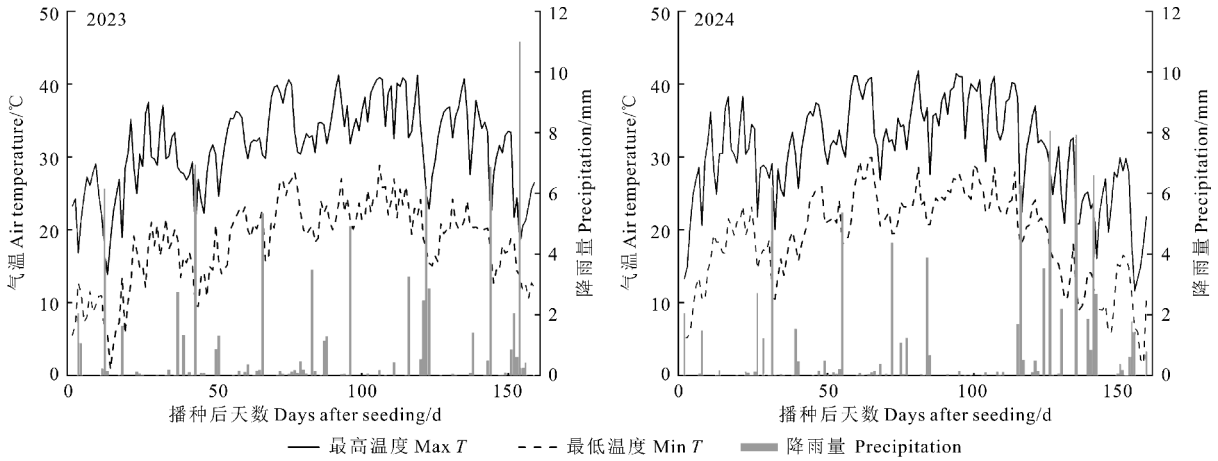


图 1 2023—2024 年棉花生育期气温和降雨量变化

Fig.1 Air temperature and precipitation of cotton growth period in 2023 and 2024

投入下配制 4 个不同碳氮比的肥料,分别是 0∶1(CF)、3∶1(OF1)、6∶1(OF2)、9∶1(OF3),并以不施氮肥(CK)为对照,具体的碳氮施入量如表 2 所示。每个处理 3 次重复,小区面积为 68.4 m^2(长 10 m×宽 6.84 m)。各处理(除 CK 外)的氮肥(N)、磷肥(P_2O_5)、钾肥(K_2O)用量一致,即纯氮量为 375 kg·hm^{-2},P_2O_5 225 kg·hm^{-2}、K_2O 185 kg·hm^{-2};其中无机肥为尿素(含 N 46%)、普通过磷酸钙(含 P_2O_5 12%)和硫酸钾(含 K_2O 50%),有机肥为牛厩腐熟肥(pH 值为 8.89,有机碳 36.51%、N 3.26%,P_2O_5 1.28%,K_2O 2.27%,C∶N=12∶1)。其中氮肥 20%基施、80%追施,磷肥、钾肥、有机肥全部基施。供试品种为‘中棉 113 号’,使用(66+10)cm 机采棉种植模式,理论种植密度为 27.7 万株·hm^{-2},生育期采用“一水一肥”灌溉施肥方式,追施 N 300 kg·hm^{-2},2023 年和 2024 年所有小区灌溉和施肥频率均为每 7 d 一次,6 月 5 日灌第一水,8 月 17 日结束灌溉。其余田间管理步骤与当地大田生产保持相同。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 农艺性状 在棉花关键生长阶段对棉花农艺性状进行调查,选取长势均匀的 10 株(中、边行各 5 株)

表 1 2023—2024 年不同土层残膜量分布

Table 1 Distribution of residual film at different depths of soil in 2023 and 2024

土层深度 Soil depth /cm	2023		2024	
	质量 Weight /(kg·hm^{-2})	比例 Percentage /%	质量 Weight /(kg·hm^{-2})	比例 Percentage /%
0~10	84.17	33.98	91.92	35.35
10~20	97.20	37.33	104.17	40.06
20~30	68.63	26.12	53.42	20.54
30~40	7.13	2.58	10.50	4.04
合计 Total	257.13	100.00	260.00	100.00

表 2 不同处理的施肥量和碳氮比

Table 2 Fertilization rates and carbon nitrogen ratios for different treatments

处理 Treatment	C∶N	有机碳 Organic carbon /(kg·hm^{-2})	全氮 Total N/(kg·hm^{-2})		
			有机肥 Organic fertilizer	无机肥 Inorganic fertilizer	总量 Total
CK		0	0	0	0
CF	0∶1	0	0	375	375
OF1	3∶1	1125	93.75	281.25	375
OF2	6∶1	2250	187.5	187.5	375
OF3	9∶1	3375	281.25	93.75	375

棉花进行定点测量株高、果枝数、叶片数、蕾铃、花数、铃数等生长指标。

1.3.2　干物质的积累　在棉花出苗后 37(苗期)、56(蕾期)、81(盛花期)、110(盛铃期)、129 d(吐絮期),选择长势均匀的植株 6 株(其中 3 株边行、3 株中行),将其分解成根、叶、茎、生殖器官,30 min 105℃杀青后 80℃烘干至恒重,称干质量,利用 Logistic 动态拟合曲线计算棉花生长速率[17]。

1.3.3　产量及其构成因素　在棉花收获期,每个小区内选取 66.7 m^2代表性样方(长 2.93 m,宽 2.28 m)测定收获株数及铃数,计算棉田产量,并在各小区选取连续的长势均匀的植株,调查下部(1~3 果枝)、中部(4~6 果枝)、上部(7 及以上果枝)的棉铃数,并按照相应部位摘取 30 朵棉铃,自然风干后称质量,计算单铃重和籽棉产量。

1.4　数据处理和统计分析

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据处理,用软件 DPS 7.05 进行数据差异性分析,采用最小显著法(LSD)检验试验数据的差异显著性水平(P<0.05)。采用 Origin 2021 软件进行绘图。

2　结果与分析

2.1　不同碳氮配比对残膜污染棉田棉花农艺性状的影响

综合两年数据分析,碳氮配施对棉花生长具有显著影响,由表 3 可知,碳氮配比能够显著提高棉花株高、茎粗、叶片数和果枝数,促进棉花的开花结铃。其中 OF2 处理花期两年平均株高、茎粗、叶片和果枝数较 CK 和 CF 处理分别提高了 12.54%、14.76%、13.54%、17.83%和 3.66%、1.07%、0.97%、

表 3　不同碳氮比对棉花农艺性状变化的影响

Table 3　Effects of C/N on changes in agronomic traits of cotton

年份 Year	生育时期 Reproductive period	处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/mm Stem thickness	叶片数 Number of blades	果枝台数 Number of fruit branches	蕾数 Number of Budding	花数 Number of flowers	铃数 Number of bells
2023	蕾期 Bud stage	CK	53.39b	6.98b	8.90c	3.67b	4.14b		
		CF	58.08a	7.55a	9.75a	4.75a	5.65a		
		OF1	56.58a	7.32ab	9.65ab	4.46a	5.26ab		
		OF2	56.47a	7.23ab	9.56ab	4.20ab	5.08ab		
		OF3	55.83ab	7.12ab	9.30bc	4.14ab	4.79ab		
	花期 Flowering stage	CK	83.97c	10.67c	10.52c	6.72c	7.34b	0.65b	0.90a
		CF	87.12bc	11.51b	11.25b	7.86b	8.29ab	0.99ab	1.12a
		OF1	91.11ab	12.03ab	11.51ab	7.99ab	8.47ab	1.02ab	1.15a
		OF2	92.01a	12.36a	11.70a	8.69a	8.98a	1.21a	1.13a
		OF3	90.67ab	11.59ab	11.31b	7.95b	8.43ab	0.96ab	1.05a
	铃期 Boll setting stage	CK					0.35a	0.17c	4.68b
		CF					0.53a	0.19bc	5.66ab
		OF1					0.67a	0.30ab	5.86ab
		OF2					0.92a	0.39a	6.14a
		OF3					0.61a	0.26bc	6.00a
2024	蕾期 Bud stage	CK	34.10d	5.79b	8.50d	3.38b	4.04b		
		CF	43.80a	6.51a	9.49a	4.51a	5.10a		
		OF1	38.32b	6.24ab	9.23ab	4.28a	4.88ab		
		OF2	36.91bc	5.82b	9.00bc	4.13a	4.75ab		
		OF3	35.86cd	5.92b	8.72cd	3.97a	4.60ab		
	花期 Flowering stage	CK	72.06b	9.51c	10.41b	7.83b	7.88b	1.61a	1.30b
		CF	80.52a	10.21bc	11.90a	8.29ab	9.48a	2.14a	2.07ab
		OF1	84.36a	10.47ab	12.17a	8.51ab	9.67a	2.19a	2.13a
		OF2	86.13a	11.30a	12.54a	9.00a	10.04a	2.31a	2.25a
		OF3	83.36a	10.36bc	12.07a	8.48ab	9.50a	2.16a	2.04ab
	铃期 Boll setting stage	CK					0.69c	0.69b	5.06c
		CF					0.86bc	1.10a	6.60b
		OF1					1.32ab	1.14a	6.76b
		OF2					1.60a	1.30a	7.77a
		OF3					1.25ab	1.15a	6.86b

注:同一列不同小写字母表示不同碳氮配施比例间差异显著(P<0.05),下同。

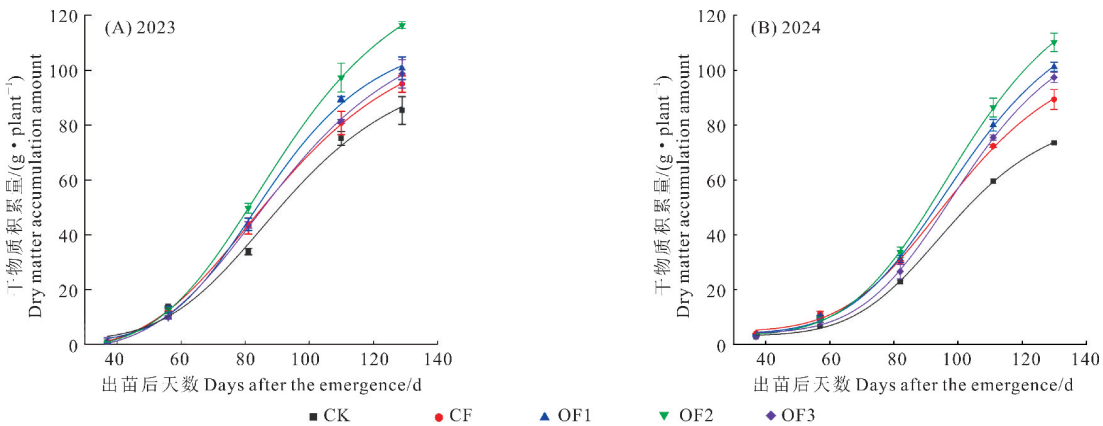
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among various carbon-nitrogen application ratios (P<0.05), the same below.

1.22%。同时,碳氮配比 6∶1(OF2)能够促进棉花的开花和结铃,其中在铃期 OF2 的结铃数最多,较 CK 和 CF 处理分别平均提高了 29.33%和 4.73%。因此,碳氮配施对棉花生长具有显著影响,碳氮配施比例 6∶1 能更好地促进棉花的开花结铃。

2.2 碳氮配比对残膜污染棉田棉花干物质动态积累的影响

碳氮配比能够促进棉花干物质的快速积累(图 2);不同碳氮比例对棉花干物质积累在 2023 年和 2024 年随生育进程的变化趋势相同,两年的干物质积累表现出 OF2 的干物质积累量较大,其中在出苗后 129 d,OF2 的干物质积累较 CK 和 CF 分别平均增加了 34.11%和 16.90%(图 2),在棉花整个生育进程中,干物质积累量呈现“缓增-快增-缓减”的变化趋势,其中 2023 年在出苗后 81 d OF2 处理干物质积累量较 CK 和 CF 显著增加 31.85%和 13.09%($P<0.05$);在出苗后 110 d OF2 处理干物质积累量较 CK 和 CF 分别显著增加 22.78%和 13.09%($P<0.05$);出苗后第 129 d 处理 OF1、OF2 和 OF3 干物质积累量较 CK 和 CF 分别增加 23.23%、33.61%、28.91%和5.66%、18.42%、12.64%。综上所述,碳氮配施有利于促进干物质的形成,且以 OF2 处理效果最好。

棉花生长阶段干物质积累速率呈单峰变化曲线(图 3),2023、2024 年 OF1 和 OF2 处理干物质积累速率较快。其中,在出苗后 84 d 前,干物质积累速率均为 OF2>OF1>CF>OF3>CK。在干物质最大积累速率及出现时间方面,2023 年 CK、CF 和 OF1 在出苗后 84 d 积累速率最快,分别为 1.48 、1.62 和 1.87g·plant^{-1}·d^{-1};OF2 在出苗后 86 d 积累速率最快,为 2.04 g·plant^{-1}·d^{-1},最大积累速率分别较 CK 和 CF 增加 27.45%和 20.59%,OF3 则在出苗后 94 d 积累速率最快。在出苗 84 d 后,CK 处理干物质积累速率明显较碳氮配施处理减慢。2024 年,CK 和 CF 在出苗后 96 d 积累速率最快,分别为 1.31 和 1.45 g·plant^{-1}·d^{-1},OF1 和 OF2 在出苗后 98 d 积累速率最快,分别为 1.74 和 1.93 g·plant^{-1}·d^{-1},OF3

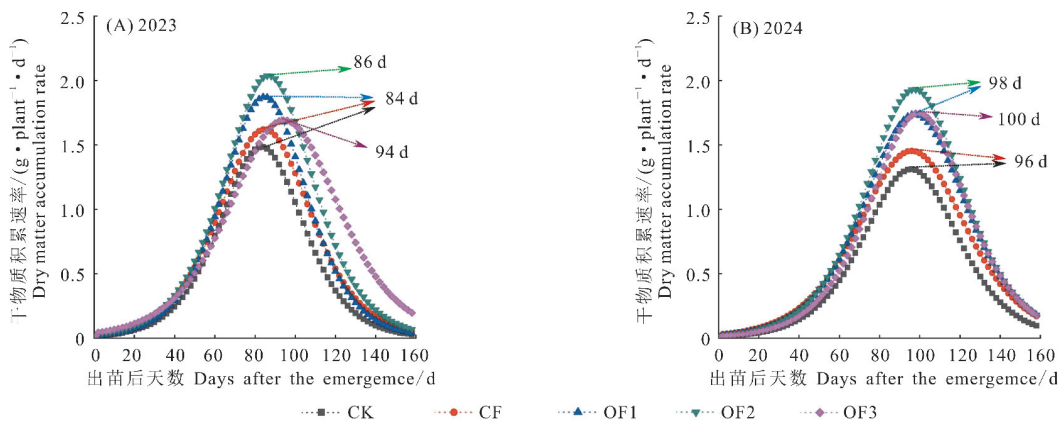


注:图中误差棒表示标准误差,下同。

Note: The error bar in the figure represent the standard error.The same below.

图 2 不同碳氮比对棉花干物质积累量的影响

Fig.2 Effects of C∶N ratio on dry matter accumulation in cotton



注:图中箭头指向为积累速率最快的出苗后天数。

Note: The arrow points to the days after emergence with the fastest accumulation rate.

图 3 不同碳氮比对棉花干物质积累速率的影响

Fig.3 Effects of C∶N ratio on dry matter accumulation rate in cotton

则在 100 d 达到最大积累速率。两年的表现说明碳氮配施可加快干物质积累速率,延迟最大积累速率出现时间,有利于干物质量的形成,为促进棉花增产奠定基础。

2.3　碳氮配施对残膜污染棉田棉花干物质分配的影响

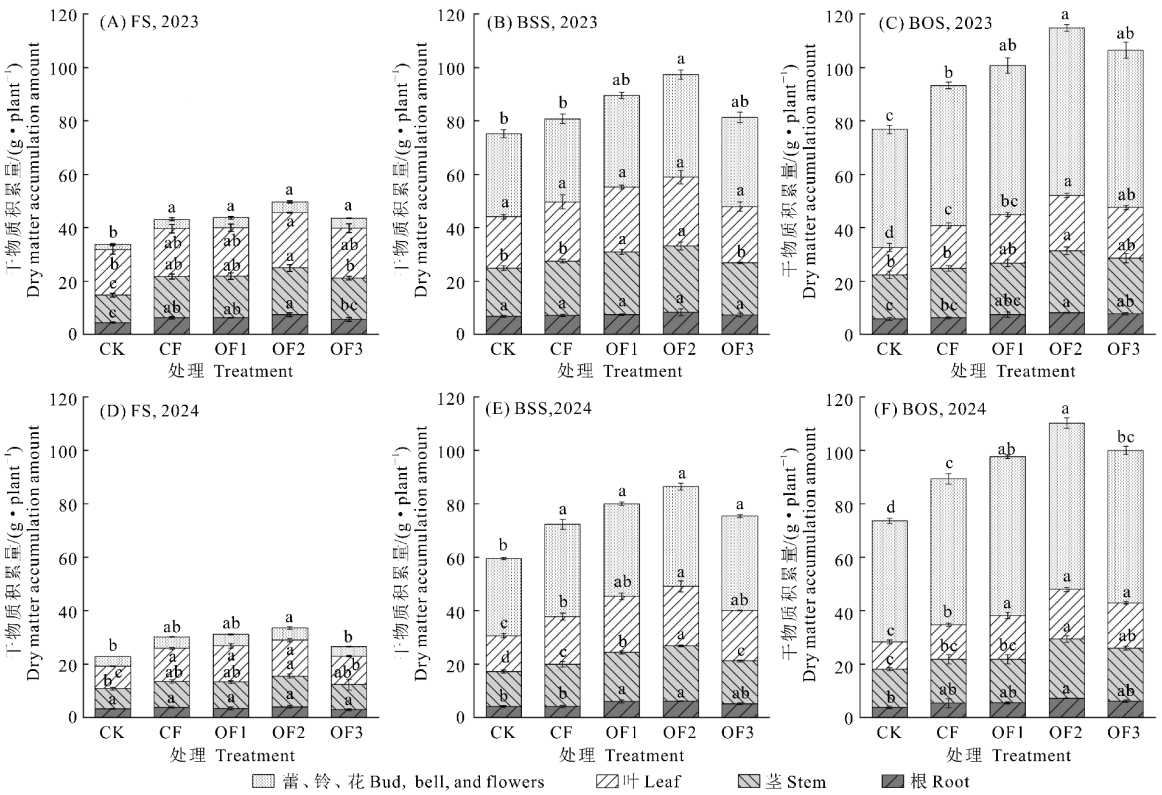
综合两年数据分析,随着棉花生育期的推进均表现为营养器官的分布比例逐渐减少,生殖器官的分布比例逐渐增加(图 4)。花期棉花营养、生殖生长同时进行,但此时干物质的增长仍以营养生长为主。其中 OF2 处理的生殖器官的干物质积累量最高,且生殖器官分配比例与 CF 无明显差异。在铃期棉株营养生长减缓、生殖生长加速;OF2 生殖器官干物质积累量较 CK 和 CF 平均分别提高 20.87%和13.24%,向生殖器官干物质转运量较 CK 和 CF 提高 20.92% 和 3.90%。在吐絮期生殖器官干物质积累量表现为 OF2 >OF3>OF1>CF>CK,其中 OF2 较 CK 和 CF 平均分别提高 33.33%和 19.69%,向生殖器官干物质转运量较 CK 和 CF 提高 28.39%和 14.36%,适当的增加碳氮比有利于铃期和吐絮期棉花干物质在生殖器官(蕾铃花)的积累。其中碳氮配比6∶1(OF2)能够协调营养器官和生殖器官的分配,促进棉花产量的形成。

2.4　碳氮配施对残膜污染棉田棉花产量及其构成因素的影响

由表 4 可知,碳氮配比能够提高棉花产量($P<0.05$)。在籽棉产量方面, OF2 的籽棉产量均达到最高,2 年平均为 7 134.28 kg · hm^{-2},较 CK 和 CF 分别提高了 33.46%和 16.16%。在产量构成因素方面,碳氮配比能够增加棉花的单株结铃数和单铃重,但对衣分均无显著影响。其中 OF2 的平均单株结铃数和平均单铃质量较 CK 和 CF 分别提高了 24.68%、10.35%和 9.41%、5.52%,使得棉花产量较其他处理提高了 9.93%~33.46%。因此,在残膜污染棉田中碳氮配比(6∶1)能够促进棉花产量的提高。

2.5　棉花生长特性与籽棉产量的相关性

棉花籽棉产量与干物质积累量、生长指标相关性分析结果显示(图 5),籽棉产量与铃数、干物质积累量、营养器官的积累量和生殖器官的积累量呈极显著正相关($P<0.01$);铃数与干物质积累量、营养器官的积累量和生殖器官的积累量呈极显著正相关($P<0.01$);干物质积累与营养器官的积累量和生殖器官的积累量呈极显著正相关($P<0.01$)。综上所述,籽棉产量与干物质积累量、铃数、营养器官的



注:不同小写字母表示相同指标下不同处理间差异显著($P<0.05$)。FS 表示花期,BSS 表示铃期,BOS 表示吐絮期。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments under the same index ($P<0.05$). FS is flowering stage, BSS is boll setting stage, BOS is boll opening stage.

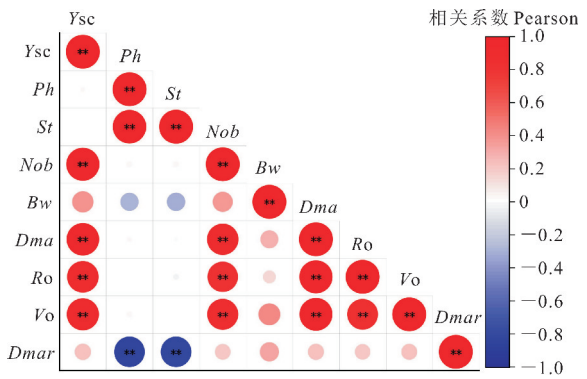
图 4　不同碳氮比对棉花干物质分配的影响

Fig.4　Effects of C∶N ratio on dry matter distribution in cotton

表 4 不同碳氮比对棉花产量及产量构成因素的影响

Table 4 Effects of C∶N ratio on yield and yield components of cotton

年份 Year	处理 Treatment	收获株数 Number of harvested plants/(10^4 plant·hm^{-2})	籽棉产量 Yield of seed cotton /(kg·hm^{-2})	单株结铃数 Number of bollsper per plant	单铃重 Boll weight /g	衣分 Lint percentage /%
2023	CK	20.81a	4736.00d	4.49c	5.07b	40.77a
	CF	21.11a	5964.75c	5.34b	5.30ab	41.07a
	OF1	21.11a	6402.00b	5.66ab	5.37a	41.14a
	OF2	21.15a	6980.25a	5.98a	5.52a	41.57a
	OF3	21.08a	6624.25b	5.80a	5.42a	41.19a
2024	CK	19.38a	4758.98d	4.97c	4.94c	41.76a
	CF	19.71a	5997.48c	5.92b	5.14bc	42.44a
	OF1	19.79a	6449.04b	6.06b	5.38ab	42.48a
	OF2	20.02a	7288.31a	6.58a	5.53a	42.82a
	OF3	19.95a	6691.33b	6.10ab	5.50a	42.67a



注：Ysc：籽棉产量；*Ph*：株高；*St*：茎粗；*Nob*：铃数；*Bw*：单铃重；*Dma*：干物质积累量；*Ro*：生殖器官积累量；*Vo*：营养器官积累量；*Dmar*：干物质积累速率。＊表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著，＊＊表示在 $P<0.01$ 水平上差异显著。

Note: Ysc: Yield of seed cotton; *Ph*: Plant height; *St*: Stem thickness; *Nob*: Number of bells; *Bw*: Boll weight; *Dma*: Dry matter accumulation; *Ro*: Reproductive organ accumulation; *Vo*: Nutrient organ accumulation; *Dmar*: Dry matter accumulation rate; ＊ means significant difference at the $P<0.05$ level, ＊＊ means significant difference at the $P<0.01$ level.

图 5 籽棉产量和干物质积累量与棉花生长指标相关性分析

Fig.5 Heat map of correlation between cotton seed yield and dry matter accumulation and growth index

积累量和生殖器官的积累量之间的相关性最为显著，这说明通过协调干物质积累量、铃数、营养器官积累量和生殖器官积累量能够促进籽棉产量的提高，是产量形成的关键因素。

3 讨 论

3.1 碳氮配施对残膜污染棉田棉花干物质积累与分配的影响

残膜会阻碍根系吸收养分和水分，对植株干物质的动态积累与分配带来了不利影响[18]。干物质积累与分配是作物产量形成的物质基础，合理施肥措施能够促进干物质的积累量向生殖器官转运，提高了作物产量[19]。本研究发现，适宜的碳氮配施比例能够促进棉花生长发育，其中 OF2 处理在花期两年平均株高、茎粗、叶片和果枝数较 CK 和 CF 处理平均分别提高了 12.54%、14.76%、13.54%、17.83%和 3.66%、1.07%、0.97%、1.22%，使得 OF2 的干物质积累量较 CK 和 CF 分别平均增加了 34.11%和 16.90%。刘彦伶等[20]研究指出，碳氮配施能够提高小麦光合产物的积累和同化物向生殖器官的转运能力，与本研究在残膜污染棉田中的研究结果一致。本研究得出，适宜的碳氮配施比例能够促进棉花干物质的积累和同化物向生殖器官的转运能力，在吐絮期生殖器官干物质积累量表现为 OF2>OF3>OF1>CF>CK，其中 OF2 较 CK 和 CF 平均分别提高 33.33% 和19.69%，向生殖器官转运量较 CK 和 CF 提高 28.39%和14.36%。崔红艳等[19]发现，不同的碳氮配施比例促进了胡麻对土壤水(肥)的吸收，有利于花前干物质的快速积累和花后干物质向生殖器官分配。本研究还发现 OF2 干物质最大积累速率分别较 CK 和 CF 增加 29.01%和 22.73%，最大积累速率出现时间延迟 2 d，两年的表现说明碳氮配施可加快干物质积累速率，延迟最大积累速率出现时间，有利于干物质量的形成。这有可能是碳氮配施能够调控土壤氮素的固持和释放，并为根系生长提供良好的土壤环境[21]，促进棉花产量形成关键期根系的生长发育和根系活力的提升[15]，同时碳氮配施减轻或延缓叶片衰老，在生育后期能够延长光合作用时间[16]，保证生长发育中后期干物质的积累并促进干物质向生殖器官的转运。

3.2 碳氮配施对残膜污染棉田棉花产量构成因素的影响

在不同生长条件下作物产量会随着碳氮配施比例的不同而发生变化[22]。申长卫等[23]对豫北冬

小麦研究表明,施用有机肥替代 20% 化肥氮能显著增加小麦产量,而有机肥比例为 40%时会出现减产;吕凤莲等[22]通过研究冬小麦-夏玉米轮作体系发现,有机肥替代 75% 无机肥能够显著提高作物产量,与单施有机肥相比冬小麦 - 夏玉米轮作体系会出现减产现象;白玲等[24]在长期连作棉田下的研究发现,碳氮配施能够显著增加棉花的产量。本研究在残膜污染棉田中,OF2 的单株结铃数和单铃质量较 CK 和 CF 平均分别提高了 24.68%、10.35%和 9.41%、5.52%,使得棉花产量较其他处理提高了 9.93%~33.46%,而 OF1 籽棉产量较 CF 增产幅度较低,这与王宁等[9]在减量灌溉条件下配施 50% 有机肥的研究结果一致。原因可能是通过碳氮配施改善土壤理化性质,协调土壤养分供给[25-26],保证棉花生长发育后期干物质的积累和同化物向生殖器官转运,促进了棉花产量的提高[27]。但由于土壤养分的矿化分解受水分影响较大,而新疆水资源短缺,因此在亏缺灌溉下不同碳氮配施比例对残膜污染棉田土壤养分的转化吸收利用还需进一步研究。通过改善土壤肥力和促进棉花生长实现了产量的提升,这不仅有助于减少氮肥的过量施用,降低环境风险,还能为农民带来更高的收益。

4　结　论

综上所述,不同碳氮配施对棉花长势、地上部干物质积累与分配有一定的促进作用,提高了棉花的单株结铃数和单铃质量,有利于棉花产量的提高。在新疆典型残膜污染条件下,本研究各碳氮配施处理中碳氮配施比例为 6∶1 能够提高棉花的干物质积累效率,促进同化物向生殖器官分配,有利于生殖器官分配比例的提高,从而进一步提高了棉花产量。

参 考 文 献:

[1] 张金瑞, 任思洋, 戴吉照, 等. 地膜对农业生产的影响及其污染控制[J]. 中国农业科学, 2022, 55(20): 3983-3996.
ZHANG J R, REN S Y, DAI J Z, et al. Influence of plastic film on agricultural production and its pollution control [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(20): 3983-3996.

[2] 徐菊祯, 张梦璐, 何文清, 等. 中国马铃薯地膜覆盖增产效应及其影响因素的 Meta 分析[J]. 中国农业科学, 2023, 56(15): 2895-2906.
XU J Z, ZHANG M L, HE W Q, et al. Yield-increasing effects under plastic film mulching of potato in China based on meta-analysis[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(15): 2895-2906.

[3] 严昌荣, 梅旭荣, 何文清, 等. 农用地膜残留污染的现状与防治[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 269-272.
YAN C R, MEI X R, HE W Q, et al. Present situation of residue pollution of mulching plastic film and controlling measures[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2006, 22(11): 269-272.

[4] 祁虹, 赵贵元, 王燕, 等. 我国棉田残膜污染危害与治理措施研究进展[J]. 棉花学报, 2021, 33(2): 169-179.
QI H, ZHAO G Y, WANG Y, et al. Research progress on pollution hazards and prevention measures of residual film in cotton field in China[J]. Cotton Science, 2021, 33(2): 169-179.

[5] 闵迪, 王增红, 李援农, 等. 不同灌水和施氮水平对河西春玉米水氮利用效率和经济效益的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2020, 38(5): 153-160.
MIN D, WANG Z H, LI Y N, et al. Effects of different irrigation and nitrogen application levels on the yield and water and nitrogen use efficiency of spring maize[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2020, 38(5): 153-160.

[6] 段晨骁, 李佳蓓, 吴淑芳, 等. 有机无机肥配施对西北地区不同土壤类型氮素矿化影响[J]. 农业机械学报, 2024, 55(5): 344-355.
DUAN C X, LI J B, WU S F, et al. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on nitrogen mineralization in different-soil types in northwest China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, 55(5): 344-355.

[7] 张丹, 刘宏斌, 马忠明, 等. 残膜对农田土壤养分含量及微生物特征的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(2): 310-319.
ZHANG D, LIU H B, MA Z M, et al. Effect of residual plastic film on Soil nutrient contents and microbial characteristics in the farmland[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(2): 310-319.

[8] 王亮, 林涛, 田立文, 等. 残膜对棉田耗水特性及干物质积累与分配的影响[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(3): 547-556.
WANG L, LIN T, TIAN L W, et al. Effects of plastic film residue on water consumption characteristics and biomass accumulation and distribution in drip irrigation of cotton[J]. Journal of agro-environment science, 2017, 36(3): 547-556.

[9] 王宁, 南宏宇, 冯克云. 化肥减量配施有机肥对棉田土壤微生物生物量、酶活性和棉花产量的影响[J]. 应用生态学报, 2020, 31(1): 173-181.
WANG N, NAN H Y, FENG K Y. Effects of reduced chemical fertilizer with organic fertilizer application on soil microbial biomass, enzyme activity and cotton yield[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2020, 31(1): 173-181.

[10] 王亮, 林涛, 严昌荣, 等. 不同残膜量和灌溉定额对棉花养分和水分利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 122-133.
WANG L, LIN T, YAN C R, et al. Effects of different film residue and irrigation quota on nutrient and water use efficiency of cotton under drip irrigation[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(1): 122-133.

[11] 季凌飞, 杨亦扬, 倪康, 等. 长期不同有机肥替代比例对茶园土壤养分动态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2024, 30(3): 605-614.
JI L F, YANG Y Y, NI K, et al. Effects of long-term different substitution rates of organic fertilizers on soil nutrient dynamics in tea plantations[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2024, 30(3): 605-614.

[12] 刘红江, 陈虞雯, 孙国峰, 等. 有机肥-无机肥不同配施比例对水

稻产量和农田养分流失的影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36(2): 405-412.
LIU H J, CHEN Y W, SUN G F, et al. Effects of different organic-inorganic fertilizer combination ratios on rice yield and nutrient loss with surface runoff[J]. Chinese Journal of Ecology, 2017, 36(2): 405-412.

[13] 王子腾, 耿元波, 梁涛, 等. 减施化肥和配施有机肥对茶园土壤养分及茶叶产量和品质的影响[J]. 生态环境学报, 2018, 27(12): 2243-2251.
WANG ZI T, GENG Y B, LIANG T, et al. Effects of reducing chemical fertilizer and organic fertilizer combination on tea gardensoil and tea yield and quality[J]. Ecology and Environment Sciences, 2018, 27(12): 2243-2251.

[14] 王宁, 冯克云, 南宏宇, 等. 水分亏缺下有机无机肥配施比例对棉花水氮利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2023, 56(8): 1531-1546.
WANG N, FENG K Y, NAN H Y, et al. Effects of combined application of organic manure and chemical fertilizer ratio on water and nitrogen use efficiency of cotton under water deficit[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2023, 56(8): 1531-1546.

[15] 王宁, 冯克云, 南宏宇, 等. 不同水分条件下有机无机肥配施对棉花根系特征及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2022, 55(11): 2187-2201.
WANG N, FENG K Y, NAN H Y, et al. Effects of combined applicationof organic fertilizer and chemical fertilizer on root characteristicsand yield of cotton under different water conditions[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(11): 2187-2201.

[16] 冯克云, 王宁, 南宏宇, 等. 水分亏缺下化肥减量配施有机肥对棉花光合特性与产量的影响[J]. 作物学报, 2021, 47(1): 125-137.
FENG K Y, WANG N, NAN H Y, et al. Effects of chemical fertilizer reduction with organic fertilizer application under water deficit on photosynthetic characteristics and yield of cotton [J]. Acta Agronomica Sinica, 2021, 47(1): 125-137.

[17] 王亮, 郭仁松, 吾买尔江·库尔班, 等. 深松深度对南疆滴灌棉田水分利用效率与产量的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(20): 144-152.
WANG L, GUO R S, WUMAIERJIANG K E B, et al. Effects of subsoiling depth on water use efficiency and yield of cotton field under drip irrigation in South Xinjiang, China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(20): 144-152.

[18] 林涛, 汤秋香, 郝卫平, 等. 地膜残留量对棉田土壤水分分布及棉花根系构型的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(19): 117-125.
LIN T, TANG Q X, HAO W P, et al. Effects of plastic film residues on soil moisture distribution and cotton root configuration in cotton field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(19): 117-125.

[19] 崔红艳, 胡发龙, 方子森, 等. 有机无机肥配施对胡麻的耗水特性和干物质积累与分配的影响[J]. 水土保持学报, 2015, 29(3): 282-288.
CUI H Y, HU F L, FANG Z S, et al. Effects of combined application of chemical fertilizers and manure on water consumption characteristics and dry matter accumulation and allocation of oil flax [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(3): 282-288.

[20] 刘彦伶, 李渝, 白怡婧, 等. 长期不同施肥对水稻干物质和磷素积累与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(7): 1146-1156.
LIU Y L, LI Y, BAI Y J, et al. Effect of long-term fertilization patterns on dry matter and phosphorus accumulation and translocation in rice[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2019, 25(7): 1146-1156.

[21] 柳开楼, 张会民, 韩天富, 等. 长期化肥和有机肥施用对双季稻根茬生物量及养分积累特征的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(18): 3540-3548.
LIU K L, ZHANG H M, HAN T F, et al. Effects oflong-term application of chemical and organic fertilizers on root biomass and nutrient in double cropping rice system[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(18): 3540-3548.

[22] 吕凤莲, 侯苗苗, 张弘弢, 等. 塿土冬小麦-夏玉米轮作体系有机肥替代化肥比例研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 22-32.
LV F L, HOU M M, ZHANG H T, et al. Replacement ratio of chemical fertilizer nitrogen with manure under the winter wheat - summer maize rotation system in Lou soil[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2018, 24(1): 22-32.

[23] 申长卫, 袁敬平, 李新华, 等. 有机肥氮替代20%化肥氮提高豫北冬小麦氮肥利用率和土壤肥力[J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26(8): 1395-1406.
SHEN C W, YUAN J P, LI X H, et al. Improving winter wheat N utilization efficiency and soil fertility through replacement of chemical N by 20% organic manure[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2020, 26(8): 1395-1406.

[24] 白玲, 李俊华, 褚贵新, 等. 有机无机肥配施对棉花养分吸收及氮素效率的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(5): 143-148.
BAI L, LI J H, CHU G X, et al. Effects of organic manure application combined withchemical fertilizers on nutrients absorption and nitrogen efficiency of cotton in Xinjiang, China[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2014, 32(5): 143-148.

[25] 王艳丽, 吴鹏年, 李培富, 等. 有机肥配施氮肥对滴灌春玉米产量及土壤肥力状况的影响[J]. 作物学报, 2019, 45(8): 1230-1237.
WANG Y L, WU P N, LI P F, et al. Effects of organic manure combined with nitrogen fertilizer on spring maize yield and soil fertility under drip irrigation[J]. Acta Agronomica Sinica, 2019, 45(8): 1230-1237.

[26] 杨生茂, 李凤民, 索东让, 等. 长期施肥对绿洲农田土壤生产力及土壤硝态氮积累的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(10): 2043-2052.
YANG S M, LI F M, SUO D R, et al. Effect of Long-term fertilization on soil productivity and nitrate accumulation in Gansu oasis[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2005, 38(10): 2043-2052.

[27] 孙桂兰, 冯克云, 赵欣欣, 等. 有机肥替代化肥对棉花生长发育和产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2020, 57(4): 762-769.
SUN G L, FENG K Y, ZHAO X X, et al. Effects of organic manure replacing chemical fertilizer on cotton growth, development and yield [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2020, 57(4): 762-769.