

氮肥优化施用对花生氮素运筹、干物质积累与分配及氮肥利用率的影响

赵 跃¹, 王园园², 李美君¹, 吕永超¹, 宋兆锋¹, 孙日丹¹, 陈小姝^{1*}, 高华援^{1*}, 张志民¹, 李春雨¹

(1. 吉林省农业科学院(中国农业科技东北创新中心), 吉林 公主岭 136100; 2. 吉林省科学技术信息研究所, 长春 130033)

摘 要:为探讨减氮施肥对花生氮肥利用及干物质积累及分配的影响,以吉花 25 为试验材料,设置 0、112.5、90、78.8、159、225 kg/hm²(N0、N1、N2、N3、N4、N5)6 个氮肥水平,研究不同氮肥水平对花生各部分氮含量、干物质分配及积累的影响。结果表明,减施氮肥 20%(90 kg/hm²)显著提高后期花生荚果和单株氮含量,与传统施肥 112.5 kg/hm²相比,减施氮肥 20% 饱果成熟期根干重、茎干重和果干重占总干重比例较 N1 分别相对提高 6.52%、6.86% 和 5.89%,叶干重占总干重的比例相对降低 8.09%;果干物重提高 4.02%,总干物重提高 0.55%。氮肥施用量在 90 kg/hm²时,有利于提高花生氮肥利用效率,生育中后期促进干物质向荚果分配,显著提高氮农学效率和氮偏生产力。综合考虑干物质分配、氮肥利用效率和产量,最适施氮量为纯氮 90 kg/hm²。

关键词:花生;氮素运筹;氮肥利用率;干物质积累与分配

中图分类号:S565.2

文献标识码:A

文章编号:2096-5877(2026)04-0071-06

Effects of Optimized Nitrogen Application on Nitrogen Allocation, Dry Matter Accumulation and Distribution, and Nitrogen Use Efficiency in Peanut

ZHAO Yue¹, WANG Yuanyuan², LI Meijun¹, LYU Yongchao¹, SONG Zhaofeng¹, SUN Ridan¹, CHEN Xiaoshu^{1*}, GAO Huayuan^{1*}, ZHANG Zhimin¹, LI Chunyu¹

(1. Jilin Academy of Agricultural Sciences(Northeast Agricultural Research Center of China), Gongzhuling 136100; 2. Institute of Science and Technology Information of Jilin Province, Changchun 130033, China)

Abstract: To investigate the effects of reduced nitrogen application on nitrogen allocation, dry matter accumulation and distribution, and nitrogen use efficiency in peanut, peanut cultivar ‘Jihua 25’ was used as the experimental material. Six nitrogen application rates 0, 112.5, 90, 78.8, 159 and 225 kg/ha were tested and designated N0, N1, N2, N3, N4 and N5, respectively. The effects of nitrogen application rate on nitrogen concentrations in different plant organs, dry matter accumulation and dry matter distribution were evaluated. The results showed that a 20% reduction in nitrogen application, corresponding to 90 kg/ha, significantly increased nitrogen concentrations in pods and whole plants during the late growth stage. Compared with the conventional nitrogen application rate of 112.5 kg/ha, the 20% reduction in nitrogen application increased the proportions of root, stem and pod dry weight to total dry weight at the pod-filling maturity stage by 6.52%, 6.86%, and 5.89%, respectively, while the proportion of leaf dry weight to total dry weight decreased by 8.09%. Pod dry weight and total dry weight increased by 4.02% and 0.55%, respectively. Applying 90 kg/ha improved nitrogen use efficiency, promoted dry matter allocation to pods during the middle and late growth stages, and significantly increased agronomic nitrogen-use efficiency and nitrogen partial factor productivity. Considering dry matter distribution, nitrogen use efficiency and yield, the optimal nitrogen application rate under the conditions of this experiment was 90 kg/ha.

收稿日期:2025-12-26

基金项目:国家重点研发计划项目(2022YFD2300100)

作者简介:赵 跃(1990-),男,助理研究员,硕士,从事花生高产栽培生理。

通信作者:陈小姝,E-mail: 13944940275@163.com

高华援,E-mail: ghy6413@163.com

Key words: Peanut; Nitrogen allocation; Nitrogen use efficiency; Dry matter accumulation and distribution

花生是我国重要的经济作物和油料作物,2022年全国花生播种面积达468万 hm^2 ,在油料作物中排第二位,全国总产为1 832.95万t,占油料作物总产量的47.44%。花生在确保油料作物安全中具有举足轻重的地位。吉林省是重要的花生产区之一,花生种植面积21.38万 hm^2 。花生作为豆科作物,本身具有根瘤固氮的能力,但根瘤的固氮量不能满足其生长发育的需求,必须有外源氮肥作为补充。氮肥是我国常用的肥料之一,是影响花生生长发育和产量的重要因素。适宜的氮肥施用量能直接或间接地影响农作物的生长和光合作用等方面,从而显著提高花生产量^[1-2]。为追求高产,生产中通常过量施用氮肥,其增产作用有限,还会抑制花生的根瘤固氮作用,造成土壤酸化板结^[3-4]、水体富营养化^[5]、大气污染^[6]等问题,氮肥的合理使用受到不同作物、不同土壤和气候条件影响,在解决不同氮源^[7]、施用量^[8]、施用时期及不同时期的分配比例^[9]等问题,核心在于施肥量的控制^[10]。目前,针对不同氮源、施氮时期和肥料配施对花生生长发育和产量的影响研究较多,而针对吉林产区优化施氮条件下对花生氮肥利用率、干物质分配和积累的研究较少。本试验研究6种不同施氮水平对花生干物质分配及积累、氮肥利用效率和产量及构成因素的影响,探讨在优化氮肥施用量的情况下,是否可通过减施氮肥保证花生生长发育,旨在为花生不同地区高产高效栽培提供理论与基础。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

试验于2022年在吉林省农业科学院花生研究所试验站进行。供试土壤为吉林省农业科学院花生研究所试验田(0~30 cm)土层的土壤,土壤类型为黑钙土,有机质22.31 g/kg、碱解氮115.99 mg/kg、速效磷12.67 mg/kg、速效钾151.63 mg/kg、pH值5.88。供试花生品种为吉花25,由吉林省农业科学院花生研究所选育。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,设氮肥(尿素,总氮 $\geq 46.2\%$)为6个施肥水平:不施氮肥对照处理(N0)、传统施肥(N1)、减氮施肥20%(N2)、减氮施肥30%(N3)、增氮施肥40%(N4)、增氮施肥100%(N5),分别为施用纯氮0、112.5、90、78.8、159、225 kg/hm^2 ;磷钾按照当地常规用量施用,为 P_2O_5 (五氧化二磷,17%)

90 kg/hm^2 、 K_2O (硫酸钾,60%)45 kg/hm^2 ,所有肥料作基肥一次施入。于5月10日播种,每小区4垄、垄长30 m,株距14 cm、垄距60 cm,小区面积18 m^2 ,4次重复,其他管理措施与常规田间管理相同。分别于始苗期、开花下针期、结荚期和饱果成熟期取样。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 花生植株氮素分配测定

各处理选取有代表性的植株10株,分别取下叶(含落叶)、茎(含大叶柄)、根(包括根胚轴)、果针(含荚果摘除的果柄)和荚果(饱果、秕果、幼果)5部分装入牛皮纸袋,先105 $^{\circ}\text{C}$ 下杀青0.5~1 h,降至80 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重称重,粉碎过筛,采用凯氏法,通过 K_2SO_4 - CuSO_4 -Se催化剂催化,浓硫酸密封消煮,用FOSS公司生产的Kjeltec 2300测定植株各部分全氮含量。

1.3.2 各部分干物质测定

各器官干物质的测定方法为先在105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青0.5 h,75 $^{\circ}\text{C}$ 烘至恒重称重。

1.3.3 产量及其构成因素的测定

在花生收获期各处理分别选取3个有代表性的田块2 m^2 ,测定公斤果数、百果重、百仁重、出仁率和产量。

1.3.4 氮肥利用效率测定

氮肥的偏生产力(PFP)=单位面积施氮区产量/施氮量;

氮的农学效率(AE)=(单位面积施氮肥区产量-单位面积空白区产量)/施氮量;

氮肥产量贡献率=(单位面积施肥区产量-单位面积空白区产量)/单位面积施肥区产量 $\times 100\%$ 。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2019进行数据处理及绘图,采用DPS 9.5软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同氮肥施用量对花生各部分氮含量的影响

如表1所示,不同氮肥处理的根氮含量随着施氮量的增加呈先增加后减小的趋势,N1和N2处理根氮含量显著高于其他氮肥处理。施用氮肥处理间茎氮含量,均显著高于对照。各处理间叶氮含量差异不显著,N2和N5处理荚果部分氮含量显著高于其他氮肥处理,N2处理单株氮含量最高,N5次之。

2.2 不同氮肥施用量对花生营养器官干物质积累的影响

由图1可知,随着生育进程推进,花生干物质

表1 不同施氮水平对花生各部分氮含量的影响 mg/株
Table 1 Effects of different nitrogen application levels on nitrogen content in different parts of peanut

处理	根氮含量	茎氮含量	叶氮含量	荚果氮含量	单株氮含量
Treatment	Root nitrogen content	Stem nitrogen content	Leaf nitrogen content	Pods nitrogen content	Nitrogen content per plant
N0	21.49±3.26b	135.50±6.75c	261.11±9.24a	325.91±7.64bc	744.01±8.91c
N1	33.71±3.65a	179.15±8.19ab	262.84±10.75a	294.31±7.62c	770.01±10.14bc
N2	31.12±2.95a	179.30±8.88ab	277.08±11.27a	396.01±9.21a	883.52±8.83a
N3	26.71±3.24b	171.82±14.93a	268.67±12.24a	335.42±12.29bc	802.62±10.15b
N4	26.90±2.70c	174.33±10.45a	277.77±12.37a	323.01±9.38bc	802.01±12.25b
N5	22.31±1.78b	171.06±9.24b	252.32±11.56a	365.37±8.12a	811.06±9.13b

注:小写字母表示在0.05水平上差异显著,下同。
Note: Lowercase letters denote significant differences at the 0.05 level respectively, the same below.

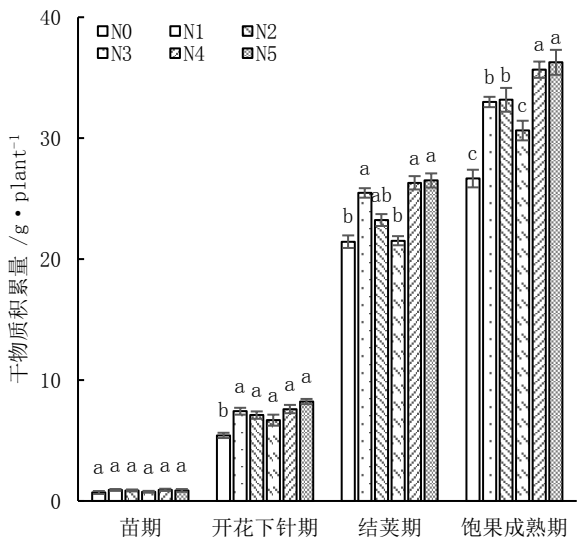


图1 不同施氮水平对花生干物质积累量的影响
Fig. 1 Effects of different nitrogen application levels on dry matter accumulation in peanut

积累量呈逐渐增加的趋势,至饱果成熟期达到最大值。苗期时,不同处理干物质积累量差异不显著;开花下针期时,N0处理的干物质积累量显著

低于其他氮肥处理,施肥处理间干物质积累量差异不显著;结荚期N1、N4和N5处理干物质积累量显著高于N0和N3处理,N2处理干物质积累量与其他施肥处理差异不显著;饱果成熟期时N1和N2处理干物质积累量显著高于N0和N3处理。

如表2所示,苗期除不施氮肥外不同处理的根干重差异不显著,但N4和N5处理根干重所占比例较低,分别为23.91%和24.14%,茎干重所占比例较高,分别为40.22%和41.38%,且N4和N5处理显著高于N2和N3处理,N0的叶干重占比较低,为34.29%,且低于N2、N4和N5;开花下针期时,当施氮量超过90 kg/hm²时,茎干重所占比例超过37%,叶干重所占比例在53.16%~53.77%,其茎和叶干重均显著高于N0处理;在结荚期和饱果成熟期时,N5处理根干重显著低于其他处理,其荚果干重占比例最高,分别为26.30%和44.39%,过量施用氮肥,导致植株营养生长过旺,群体内荚果发育极不均匀,幼果/秕果多易脱落,使其果干重变幅较大。

表2 不同施氮水平下花生营养器官干物质积累的影响 g/株
Table 2 Effects of different nitrogen application levels on dry matter accumulation in peanut vegetative organs

取样时期	处理	根	茎	叶	果
Sampling period	Treatment	Root	Stem	Leaf	Pod
苗期	N0	0.19±0.06b	0.27±0.10b	0.24±0.20b	—
	N1	0.25±0.04a	0.35±0.07a	0.31±0.12a	—
	N2	0.25±0.05a	0.30±0.07b	0.32±0.12a	—
	N3	0.21±0.04a	0.28±0.06b	0.27±0.12ab	—
	N4	0.22±0.04a	0.37±0.10a	0.33±0.13a	—
	N5	0.21±0.08a	0.36±0.11a	0.30±0.15a	—

续表 2
Table 2 continued

取样时期	处理	根	茎	叶	果
Sampling period	Treatment	Root	Stem	Leaf	Pod
开花下针期	N0	0.70±0.12a	1.92±0.13b	2.80±0.40b	—
	N1	0.66±0.14a	2.80±0.28a	3.96±0.43a	—
	N2	0.66±0.07a	2.66±0.31a	3.78±0.54ab	—
	N3	0.68±0.12a	2.38±0.44ab	3.62±0.81ab	—
	N4	0.64±0.12a	2.92±0.33a	4.04±0.58a	—
	N5	0.64±0.07a	3.16±0.29a	4.42±0.29a	—
结荚期	N0	1.63±0.66a	7.42±1.13b	7.02±1.16b	5.37±1.22a
	N1	1.39±0.40a	8.98±0.91a	8.53±0.67ab	6.57±1.16a
	N2	1.46±0.37a	7.94±0.98ab	7.70±0.98ab	6.13±1.61a
	N3	1.56±0.42a	7.51±0.73ab	7.04±0.76b	5.41±1.11a
	N4	1.30±0.41a	9.14±1.31a	9.06±1.22a	6.81±1.47a
	N5	0.80±0.26b	9.45±0.60a	9.28±0.73a	6.97±3.11a
饱果成熟期	N0	1.73±0.40a	7.43±1.14b	7.40±0.57b	10.10±0.81b
	N1	1.51±0.27a	9.25±0.37a	9.06±0.31a	13.17±0.75a
	N2	1.58±0.53a	9.71±1.06a	8.18±0.8ab	13.70±1.55a
	N3	1.60±0.39a	8.94±0.81a	7.99±0.71b	12.10±1.34b
	N4	1.35±0.24a	9.41±0.78a	9.20±0.83a	15.70±0.85a
	N5	0.86±0.27b	9.83±0.67a	9.48±0.60a	16.10±2.58a

2.3 不同氮肥施用量对花生产量及其构成因素的影响

由表 3 可知,N3 的公斤果数最低,显著低于 N2、N4 和 N5,百果重大小排序为 N0>N2>N1>N5>N3>N4,除对照外,其他氮肥处理差异不显著。N1 的出仁率最高,为 68.28%,与施用氮肥处理差

异不显著,N0 处理百果重最高,但百仁重较低,致使出仁率较低。百仁重大小排序为 N2>N1>N3>N5>N0>N4。N2 处理百仁重最高,百果重和出仁率较高,公斤果数低,果大且饱满,单株生产力较高。N4 和 N5 处理氮肥施用量增加,花生出现氮素阻抑效应,使产量和百仁重低于 N2。

表 3 不同氮肥施用量对花生产量及其构成因素的影响
Table 3 Effects of different nitrogen application rates on yield and its components

处理	公斤果数/个	百果重/g	百仁重/g	出仁率/%	产量/kg·667 m ⁻²
Treatment	Kilogram pods number	100-pods weight	100-kernel weight	Kernel rate	Yield
N0	486.00±26.21c	225.67±1.51a	72.71±1.26c	62.27±2.72c	335.37±8.47b
N1	516.50±34.84bc	204.75±3.01b	77.94±3.87ab	68.28±1.74a	358.51±6.36ab
N2	510.00±58.75ab	215.5±4.21b	80.13±1.58a	65.16±2.14ab	375.12±4.17a
N3	482.67±18.94c	197.71±4.07b	74.08±4.27bc	67.58±0.79a	368.18±2.52a
N4	570.29±51.45a	195.57±3.71c	69.88±6.21c	63.85±2.68b	362.18±4.54ab
N5	542.00±17.20b	198.71±2.25c	73.67±5.00c	67.07±2.45ab	353.32±5.46ab

2.4 不同氮肥施用量对氮肥利用效率的影响

如表 4 所示,氮肥农学效率的大小为 N2>N3>N1>N4>N5,N2 处理分别是 N1、N4 和 N5 的 2.15 倍、2.62 倍和 5.53 倍,N4 和 N5 的氮肥农学效率显著低于 N2 和 N3。氮肥偏生产力和氮肥贡献率随着氮肥施用量的增加呈先增加后降低的趋势,N2

的氮肥偏生产力显著高于除 N3 外其他氮肥处理,N2 和 N3 的氮肥产量贡献率显著高于其他处理,N2 的氮肥产量贡献率最高,为 13.43%。氮肥利用率方面,N2 显著高于其他处理,与 N1 相比增幅为 65.32%,由此可知,N2 处理产量和氮肥利用率均较高,为适宜的施氮水平。

表4 不同氮肥施用量对氮肥利用效率的影响
Table 4 Effects of different nitrogen application rates on nitrogen use efficiency

处理	氮肥农学效率/ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	氮肥偏生产力/ $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$	氮肥产量贡献率/%	氮肥利用率/%
Treatment	N agronomic efficiency	N partial productivity	Contribution rate of N fertilizer output	Nitrogen use efficiency
N0	—	—	—	—
N1	3.09±1.02b	47.8±5.09b	11.98±0.67b	37.54±3.07c
N2	6.63±1.72a	62.52±4.65a	13.43±0.44a	62.06±1.89a
N3	6.25±0.59a	70.09±6.30ab	12.68±0.22a	58.04±1.60b
N4	2.53±0.39b	34.17±8.22b	10.28±0.50b	28.97±4.34c
N5	1.20±0.43b	23.55±5.77c	7.41±0.77c	20.96±3.13c

3 讨论与结论

氮肥能为植株提供营养,促进花生植株建成,通过干物质积累和分配对产量的形成起到至关重要的作用^[11-12]。已有研究表明,不同花生品种达到最高干物质积累量的需氮量存在差异^[13],同时施氮量不同也会影响植株各部分的分配比例^[14-15],适宜的氮肥施用量在花生生育后期能提高生殖器官干物质的分配比例,提高花生产量^[16];过量施用氮肥会使植株徒长,生育后期营养器官干物质分配比例较高,使荚果干物质中的比例降低,造成花生减产^[17-18]。本研究表明,施用氮肥能够提高花生荚果和单株的氮含量,提高花生营养器官和荚果的干物质积累量,但过量施用氮肥时,生育中后期的叶干重的分配显著增加,使得叶片繁茂,叶片间相互遮蔽,降低了群体透光率,各器官分配比例失调,公斤果数较多,但产生的荚果多却不成熟,百果重、百仁重和出仁率均有所降低,与前人研究一致^[19]。同时,在一定的施氮量范畴内,花生产量随施氮量的递增呈现出典型的抛物线形变化态势,实现最高产量时的最优施氮量因花生品种的差异而有所不同^[20]。

N0处理公斤果数较低,由于不施氮肥导致花生前期营养生长不足,单株结果数显著减少,且百仁重和出仁率均为各处理最低,总生物量和经济产量均较低。表明单果重并不直接反映花生产量高低,结果数、出仁率与单果重的协同提高才能提高产量。

本研究发现,减施氮肥20%(N2)反而显著提高了荚果和单株氮含量,由于适量减氮解除了高氮对根瘤固氮的抑制作用,促进根瘤发育和固氮酶活性,增加了生物固氮量;减氮处理下花生营养器官中的氮素向荚果转运的速率加快,减少了营养器官的氮素滞留;过量施氮易导致氮素通过淋溶、挥发等途径损失,90 kg/hm²的施氮量与花生需

氮规律更匹配,提高了氮素的吸收利用率。

N4、N5处理出现的“氮阻遏”现象,过量氮素促进生长素和细胞分裂素合成,导致植株徒长、茎秆细弱、倒伏风险增加,光合产物大量分配到茎、叶等营养器官;高氮条件下植株优先吸收土壤无机氮,根瘤形成和固氮活性显著下降,生物固氮贡献降低;群体遮荫导致中下部叶片光照不足,光合速率降低,呼吸消耗增加,最终可用于荚果发育的光合产物减少。

过量的氮肥并未提高氮肥的农学效率,降低了氮肥偏生产力和氮肥产量贡献率。氮肥不足时,根和茎干重在生育前期所占比例较大,抑制了根系生长,使叶干物质导致叶片干物质积累量降低,影响花生氮的吸收与利用,使生育后期果干物质积累量降低,导致产量较低。N2处理整个生育期各部分干物质分配合理,果干重维持在较高比例,氮肥的利用率高,综合考虑干物质分配和氮肥利用效率,本试验条件下适宜的施氮量为纯氮90 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 张翔, 张新友, 毛家伟, 等. 施氮水平对不同花生品种产量与品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1417-1423. ZHANG X, ZHANG X Y, MAO J W, et al. Effects of nitrogen fertilization on yield and quality of different peanut cultivars[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(6): 1417-1423. (in Chinese)
- [2] WANG C B, ZHENG Y M, SHEN P, et al. Determining N supplied sources and n use efficiency for peanut under applications of four forms of n fertilizers labeled by isotope (15)N[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2016, 15(2): 432-439.
- [3] 姜勇, 徐柱文, 王汝振, 等. 长期施肥和增水对半干旱草地土壤性质和植物性状的影响[J]. 应用生态学报, 2019, 30(7): 2470-2480. JIANG Y, XU Z W, WANG R Z, et al. Effects of long-term fertilization and water addition on soil properties and plant community characteristics in a semiarid grassland[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2019, 30(7): 2470-2480. (in Chinese)
- [4] 刘培, 邵宇婷, 王志国, 等. 减氮对华南地区甜玉米/大豆间作系统产量稳定性的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),

- 2019, 27(9): 1332-1343.
- LIU P, SHAO Y T, WANG Z G, et al. Effect of nitrogen reduction on yield stability of sweet maize/soybean intercropping system in south China[J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2019, 27(9): 1332-1343. (in Chinese)
- [5] GALLOWAY N J, ABER D J, ERISMAN J W, et al. The nitrogen cascade[J]. BioScience, 2003, 53(4): 341-356.
- [6] ZHANG W F, DOU Z X, HE P, et al. New technologies reduce greenhouse gas emissions from nitrogenous fertilizer in China[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2013, 110(21): 8375-8380.
- [7] 孙联合, 许海涛, 马红珍, 等. 控释氮肥与普通氮肥配施对连作夏玉米氮素积累、氮肥利用效率及产量的影响[J]. 东北农业科学, 2024, 49(4): 25-30.
- SUN L H, XU H T, MA H Z, et al. Effects of controlled release nitrogen fertilizer combined with conventional nitrogen fertilizer on nitrogen accumulation, nitrogen use efficiency and yield of continuous summer maize[J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2024, 49(4): 25-30. (in Chinese)
- [8] 胡桐, 王志勇, 翟争光, 等. 施氮量与种植密度对烤烟群体透光率及产质量的互作效应[J]. 东北农业科学, 2023, 48(2): 32-37.
- HU T, WANG Z Y, ZHAI Z G, et al. The interactive effect of nitrogen application rate and planting density on the light transmittance and yield and quality of flue-cured tobacco population [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2023, 48(2): 32-37. (in Chinese)
- [9] 孔丽丽, 李前, 侯云鹏, 等. 半干旱区覆膜玉米的氮肥运筹及干物质积累特性[J]. 吉林农业科学, 2015, 40(4): 30-33.
- KONG L L, LI Q, HOU Y P, et al. Nitrogen fertilizer management and dry matter accumulation characteristics of maize in semi-arid region under plastic mulching[J]. Journal of Jilin Agricultural Sciences, 2015, 40(4): 30-33. (in Chinese)
- [10] 王春晓, 王世福, 鹿泽启, 等. 生化肥减施途径与潜力[J]. 花生学报, 2019, 48(3): 71-75.
- WANG C X, WANG S F, LU Z Q, et al. Route and potential of chemical fertilizer reduction for peanut[J]. Journal of Peanut Science, 2019, 48(3): 71-75. (in Chinese)
- [11] 陈志德, 沈一, 刘惠惠. 花生光合作用特性研究进展[J]. 农业科学与技术(英文版), 2014, 15(6): 922-925.
- CHEN Z D, SHEN Y, LIU Y H. Advances in photosynthetic characteristics of peanut[J]. Agricultural Science & Technology, 2014, 15(6): 922-925. (in Chinese)
- [12] 张艳艳, 李文金, 陈建生, 等. 麦后直播花生施氮对根瘤生长发育、荚果产量和氮素利用的影响[J]. 花生学报, 2015, 44(1): 18-22.
- ZHANG Y Y, LI W J, CHEN J S, et al. Effects of nitrogen application rate on nodule growth, pod yield and N utilization of peanuts planted after wheat harvest[J]. Journal of Peanut Science, 2015, 44(1): 18-22. (in Chinese)
- [13] 司贤宗, 张翔, 索炎炎, 等. 砂姜黑土区不同品种花生干物质积累和氮磷钾养分需求的差异[J]. 山西农业科学, 2020, 48(1): 87-91, 95.
- SI X Z, ZHANG X, SUO Y Y, et al. Differences of dry matter accumulation and requirement in nitrogen, phosphorus and potassium of different varieties peanut in vertisol soil[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2020, 48(1): 87-91, 95. (in Chinese)
- [14] 孟维伟, 张正, 徐杰, 等. 不同施氮量对玉米花生间作下茬小麦干物质积累及产量构成的影响[J]. 华北农学报, 2018, 33(4): 175-180.
- MENG W W, ZHANG Z, XU J, et al. Effects of nitrogen fertilization on dry matter accumulation and yield components of following wheat which planted after maize peanut intercropping[J]. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2018, 33(4): 175-180. (in Chinese)
- [15] 张磊, 杨建, 侯云鹏, 等. 控释氮肥与速效氮肥配施对玉米氮素吸收及利用的影响[J]. 东北农业科学, 2017, 42(1): 24-27.
- ZHANG L, YANG J, HOU Y P, et al. Effect of combined application of controlled-release nitrogen fertilizer and fast-release nitrogen fertilizer on nitrogen absorption and utilization of maize [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2017, 42(1): 24-27. (in Chinese)
- [16] 安霞, 张海军, 蒋方山, 等. 施氮量对小麦鲁原502干物质积累、转运及产量的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(7): 112-115.
- AN X, ZHANG H J, JIANG F S, et al. Effect of nitrogen fertilizer rate on dry matter accumulation, translocation and yield of Luyuan 502[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(7): 112-115. (in Chinese)
- [17] 戴良香, 张智猛, 张冠初, 等. 氮肥用量对花生氮素吸收与分配的影响[J]. 核农学报, 2020, 34(2): 370-375.
- DAI L X, ZHANG Z M, ZHANG G C, et al. Effects of nitrogen application on nitrogen uptake and distribution in peanut[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(2): 370-375. (in Chinese)
- [18] 于海燕, 付乃鑫, 万勇善, 等. 不同施氮量对花生生理特性和产量的影响[J]. 山东农业科学, 2018, 50(6): 145-149.
- YU H Y, FU N X, WAN Y S, et al. Effects of different nitrogen rates on physiological characteristics and yield of peanut[J]. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(6): 145-149. (in Chinese)
- [19] 孙虎, 王月福, 王铭伦, 等. 施氮量对不同类型花生品种衰老特性和产量的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(10): 2671-2677.
- SUN H, WANG Y F, WANG M L, et al. Effects of nitrogen fertilizer rate on senescence characteristics and yield of different peanut(*Arachis hypogaea* L.) cultivars[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(10): 2671-2677. (in Chinese)
- [20] 王海江, 崔静, 侯振安, 等. 膜下滴灌棉花水氮耦合对其干物质和水分利用效率的影响[J]. 西北农业学报, 2010, 19(3): 76-80.
- WANG H J, CUI J, HOU Z A, et al. Impact of coupling of water and nitrogen on dry matter and water use efficiency of cotton under plastic mulching by drip irrigation[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2010, 19(3): 76-80. (in Chinese)

(责任编辑:王 昱)