

施氮量对半矮秆油菜产量、干物质积累及氮素吸收利用的影响

严红梅¹, 汤维群¹, 李虹桥¹, 谢露瑶¹, 彭霄¹, 胡跃¹, 郭世星¹, 吴永成^{1,2,3}

(1. 四川农业大学 农学院, 四川 成都 611130; 2. 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130; 3. 作物生理生态及栽培四川省重点实验室, 四川 成都 611130)

摘要:为了探明甘蓝型半矮秆油菜的干物质和氮素积累特点以及高产高效栽培的适宜施氮量,以半矮秆油菜佳油 JS-1 为材料,研究施氮量(0~360 kg/hm²)对半矮秆油菜籽粒产量、植株干物质积累以及氮素吸收利用的影响。结果表明:施氮量对半矮秆油菜籽粒产量、植株氮素积累量以及氮肥利用率均有显著影响。半矮秆油菜籽粒产量、植株氮素积累量以及氮肥农学利用率随着施氮量增加(90~360 kg/hm²)均呈现出先升后降的趋势,在施氮量 270 kg/hm² 时达到最大值;而氮肥偏生产力随着施氮量加大而降低。不同施氮水平下,半矮秆油菜干物质快速积累的起始时间和终止时间均晚于氮素快速积累的起始时间和终止时间。在合理施氮量(180~270 kg/hm²)下,半矮秆油菜干物质积累最大速率出现时间延后,干物质及氮素快速积累的终止时间推迟、持续时间延长。在四川盆地稻油轮作系统下,半矮秆油菜直播栽培的合理施氮量为 180~270 kg/hm²,可较好地协同实现高产与氮肥高效利用。

关键词:半矮秆油菜;产量;干物质积累;氮素吸收;氮肥利用率

中图分类号:S143.1 文献标识码:A 文章编号:1000-7091(2020)增刊-0250-06

doi:10.7668/hbxb.20191557



Effects of Nitrogen Applied Rates on Yield, Dry Matter Accumulation and Nitrogen Absorption and Utilization in Semi-dwarf Oilseed Rape

YAN Hongmei¹, TANG Weiqun¹, LI Hongqiao¹, XIE Luyao¹, PENG Xiao¹,
HU Yue¹, GUO Shixing¹, WU Yongcheng^{1,2,3}

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China; 2. Key Laboratory of Crop Eco-physiology and Farming System in Southwest China, Chengdu 611130, China; 3. Crop Ecophysiology and Cultivation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to explore the characteristics of dry matter and nitrogen accumulation and find out the appropriate nitrogen application amount for high yield and high efficiency in semi-dwarf oilseed rape, the semi-dwarf rapeseed Jiayou JS-1 was used as the material to study the nitrogen application rate(0-360 kg/ha) on semi-dwarf rapeseed yield, plant dry matter accumulation and nitrogen absorption and utilization. The results indicated that plant height, nitrogen application had significant effects on seed yield, nitrogen accumulation and nitrogen utilization rate of semi-dwarf rapeseed. The grain yield, plant nitrogen accumulation and agronomic nitrogen utilization of semi dwarf rape all increased first and then decreased with the increase of nitrogen application(90-360 kg/ha), reaching the maximum value when the nitrogen application was 270 kg/ha, while the partial nitrogen production decreased with the increase of nitrogen application. Under different nitrogen application levels, the start time and end time of rapid dry matter accumulation in semi dwarf rape were later than that of rapid nitrogen accumulation. Under the reasonable nitrogen application(180-270 kg/ha), the maximum rate of dry matter accumulation in semi-dwarf rape had been delayed, and the termination time for the rapid accumulation of dry matter and nitrogen had been delayed and prolonged. Under the rice-rapeseed rotation system in Sichuan basin, the reasonable nitrogen application

收稿日期:2020-07-10

基金项目:四川省农作物育种攻关栽培课题(2016NYZ0051);国家现代农业产业技术体系四川油菜创新团队(sccxt2020-03)

作者简介:严红梅(1994-),女,四川江油人,硕士,主要从事油菜高产高效栽培研究。

吴永成(1973-),男,四川成都人,教授,博士,主要从事油菜高产高效栽培及生态农业技术研究。

amount of direct-seeding semi-dwarf rapeseed was 180 – 270 kg/ha, which could achieve high yield and high use efficiency of nitrogen fertilizer.

Key words: Semi-dwarf rapeseed; Yield; Dry matter accumulation; Nitrogen absorption; Nitrogen fertilizer use efficiency

油菜 (*Brassica napus* L.) 是中国第一大油料作物, 占油料作物总产量的 2/3 左右, 对国民经济发展起着举足轻重的作用^[1]。目前, 长江流域是我国冬油菜主产区, 其产量和种植面积约占全国的 90%。然而, 与发达国家相比, 长期以来, 长江流域直播油菜种植密度低、人工成本高以及机械化程度低等问题, 使得油菜种植成本高、经济效益低, 从而导致农民种植积极性低, 种植面积和总产量长时间徘徊^[2-3]。为解决这些问题, 实现轻简化栽培, 降低种植成本, 提高经济效益, 实行油菜高密度直播机收栽培是油菜生产的必由之路。矮秆或半矮秆油菜具有耐密抗倒, 适应机械化生产等优势, 但国内外有关矮秆或半矮秆油菜栽培利用的研究较少^[4-5]。油菜作为需肥量较大 (尤其是氮肥) 的作物, 施用氮肥是提高油菜产量的重要途径^[6-7]。有研究指出, 施氮显著提高了直播油菜的籽粒产量, 但当施氮量大于 180 kg/hm² 时, 氮肥的增产效果不显著^[8]。唐瑶等^[9]研究表明, 施氮量为 278 kg/hm² 时, 直播油菜可获得高产。王锐等^[10]研究指出, 直播油菜 (华杂 9 号) 施氮量为 360 kg/hm² 时可获得高产。刘士山等^[11]研究表明, 在成都平原地区, 直播油菜 (川油 36) 施氮量为 135 ~ 180 kg/hm² 时可获得高产。刘宝林等^[12]研究指出, 在 150 ~ 180 kg/hm² 施氮范围内, 江西省早熟迟直播油菜可获得高产。可见, 直播油菜在不同研究地区及不同试验条件 (品种、播种期、密度等) 下的高产施氮量不尽一致。同时, 有关直播油菜干物质和氮素积累特点的研究较少^[13-14]。特别是上述研究大多数采用当地普通株高的油菜品种, 尚未见到半矮秆油菜干物质和氮素积累特点及其高产高效施氮量的报道。为此, 本研究选用四川省审定的第一个半矮秆油菜新品种佳油 JS-1, 在四川稻油轮作体系下, 研究了不同施氮水平对半矮秆油菜产量、干物质与氮素积累以及氮肥利用率的影响, 以期对半矮秆油菜高产高效栽培的合理施氮管理提供科学参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

佳油 JS-1 是四川省审定的第一个机收油菜半矮秆新品种, 由四川科乐油菜研究开发有限公司提供。

1.2 试验设计

试验采用单因素随机区组试验设计, 设置 5 种施氮水平, 即 0, 90, 180, 270, 360 kg/hm², 分别记为 N0、N6、N12、N18、N24, 共 5 个处理, 每个处理 3 次重复, 合计 15 个小区, 每个小区面积为 24 m²。试验于 2018 – 2019 年在四川省广安市崇州市白头镇李偃村进行, 前茬为水稻, 系成都平原冲积性水稻土。采用精量联合直播机进行浅旋条播, 五叶期后匀苗补苗, 留苗密度 30 万株/hm²。氮肥的 50% 作底肥, 其余的 50% 作追肥, 磷肥 (P₂O₅ 60 kg/hm²)、钾肥 (K₂O 90 kg/hm²) 以及硼肥 (15 kg/hm²) 全部作底肥一次施入。2018 年 9 月 30 日播种, 2018 年 11 月 9 日匀苗补苗, 2018 年 12 月 6 日追施氮肥, 2019 年 3 月 11 日开花, 5 月 8 日成熟收获。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 植株干物质及全氮含量的测定 试验于半矮秆油菜苗期 (11 月 22 日)、蕾薹期 (2 月 14 日)、初花期 (2 月 27 日)、盛花期 (3 月 11 日)、终花期 (3 月 26 日)、角果发育期 (4 月 12 日)、成熟期 (5 月 8 日) 在每个小区进行随机取样, 每个小区取 6 株长势均匀一致的植株, 按不同器官分样, 将上述不同器官的样品放置在 105 °C 烘箱杀青 30 min, 然后在 80 °C 条件下恒温烘干, 分别测定不同器官的干物质及氮含量。植株样品全氮含量采用全自动凯氏定氮仪 (FOSS 8400) 测定。

1.3.2 考种测产 在收获期前, 每小区选取 6 株长势均匀一致的植株, 测定每株植株的单株角果数和千粒质量; 同时单打单收晒干测定半矮秆油菜的籽粒产量。

1.4 数据处理及计算方法

1.4.1 氮肥利用率的计算 氮肥农学利用率 (Agronomic use efficiency of applied N, AEN, kg/kg) = (施氮区作物产量 – 不施氮区作物产量) / 施氮量。

氮肥表观利用率 (Apparent recovery efficiency of applied N, REN, %) = (施氮肥区作物吸氮量 – 不施氮肥区作物吸氮量) / 施肥投入的氮素量 × 100。

氮肥偏生产力 (Partial factor productivity of applied N, PFPN, kg/kg) = 施氮区籽粒产量 / 施肥投入的氮素量。

1.4.2 数据处理与统计分析 试验数据采用 Excel

2013 进行整理、SPSS 19.0 进行统计分析以及 Curve Expert Professional 2.6.5 软件进行干物质拟合。

2 结果与分析

2.1 施氮量对半矮秆油菜产量及其构成因素的影响

如表 1 所示,施氮量对半矮秆油菜籽粒产量、单

株角果数和每角果籽粒数有显著影响,但对千粒质量并无显著影响。各施氮处理(N6、N12、N18、N24)的籽粒产量以及单株角果数均显著高于不施氮处理(N0)。半矮秆油菜的籽粒产量、单株角果数和每角果籽粒数均随施氮量的增加表现为先升、后降趋势,在 N18 处理时达到最大值。

表 1 施氮量对半矮秆油菜产量及其构成因素的影响

Tab.1 Effects of nitrogen application on semi-dwarf rapeseed yield and its constituent factors

处理 Treatment	籽粒产量/(kg/hm ²) Seed yield	单株角果数 Pods per plant	每角果籽粒数 Seeds per pod	千粒质量/g 1000-seed weight
N0	1 413.10 ± 163.30d	142.46 ± 4.74d	19.15 ± 0.70c	4.05 ± 0.10a
N6	1 737.07 ± 141.42c	180.77 ± 7.50c	19.18 ± 0.13c	4.37 ± 0.04a
N12	2 201.97 ± 180.28b	219.67 ± 36.02bc	20.14 ± 0.66b	4.33 ± 0.49a
N18	2 815.01 ± 200.00a	284.07 ± 39.40a	21.98 ± 0.46a	4.35 ± 0.41a
N24	2 680.34 ± 300.00a	248.55 ± 47.91ab	20.85 ± 0.30b	4.37 ± 0.33a

注:同列数据中的字母表示差异显著水平为 5%。表 2 同。

Note: Letters in the same column indicate a significant difference level of 5%. The same as Tab. 2.

2.2 施氮量对半矮秆油菜氮素吸收利用的影响

由表 2 可知,施氮量对半矮秆油菜植株氮素积累量和氮肥利用率有显著影响。随着施氮量增加(90 ~ 360 kg/hm²),半矮秆油菜氮肥农学利用率和

植株氮素积累均表现为先升、后降趋势,而氮肥偏生产力逐渐下降。N18 处理的氮肥表观利用率显著高于其他施氮处理(N6、N12、N24)。

表 2 施氮量对半矮秆油菜氮素吸收利用的影响

Tab.2 Effect of nitrogen application rate on nitrogen uptake and utilization in semi-dwarf rapeseed

处理 Treatment	植株氮素积累量/(kg/hm ²) Nitrogen accumulation in plants	氮肥偏生产力/(kg/kg) PFPN	氮肥表观利用率/% REN	氮肥农学利用率/(kg/kg) AEN
N0	72.38 ± 1.41c	-	-	-
N6	93.87 ± 1.69b	19.30 ± 1.92a	23.88 ± 1.87cb	3.60 ± 0.09c
N12	108.68 ± 4.83ab	12.23 ± 1.00b	20.16 ± 2.68c	4.38 ± 0.28b
N18	144.45 ± 19.96a	10.43 ± 0.74b	26.69 ± 0.16a	5.19 ± 0.60a
N24	133.14 ± 12.04ab	7.45 ± 0.17c	16.88 ± 0.34d	3.52 ± 0.23c

2.3 施氮量对半矮秆油菜植株干物质及氮素积累速率的影响

不同施氮水平下,半矮秆油菜的植株干物质及氮素积累,均可用 Logistic 生长函数进行拟合(表 3, 4)。与不施氮相比,增施氮肥使得半矮秆油菜干物质快速积累的起始时间(t₁)稍有提前(N18 处理除外)、终止时间(t₂)推迟,干物质快速积累持续期

(Δt)延长、干物质积累的最大速率出现时间(t₀, 出苗后天数)推迟。半矮秆油菜干物质积累最大速率出现的时间(t₀)、干物质快速增长的起始时间(t₁)、终止时间(t₂)以及快速积累持续期(Δt)随着施氮量的增加均表现为先增加、后降低趋势,在施氮量 270 kg/hm²时达最大值。

表 3 半矮秆油菜植株干物质 Logistic 模型及其特征值

Tab.3 Logistic model and its eigenvalues of dry matter accumulation in semi-dwarf rapeseed

处理 Treatment	干物质积累模型方程 Dry matter accumulation model equation	R ²	t ₀	t ₁	t ₂	Δt
N0	y = 24.13 / (1 + 807.688.44e ^{-0.0987t})	0.945	137	124	151	26
N6	y = 39.71 / (1 + 52.887.79e ^{-0.0774t})	0.942	140	123	157	34
N12	y = 48.97 / (1 + 8.738.12e ^{-0.0628t})	0.945	144	123	165	41
N18	y = 61.91 / (1 + 5.844.77e ^{-0.0585t})	0.931	148	126	171	45
N24	y = 49.57 / (1 + 46.391.07e ^{-0.0776t})	0.961	138	121	155	33

注:t, 油菜出苗后的天数(d); y, 油菜植株干物质积累量(g/株); t₀, 干物质积累速率最大时刻; t₁ 和 t₂, Logistic 生长函数的 2 个拐点; Δt = t₂ - t₁, 油菜植株干物质快速积累持续期。

Note: t, The number of days after emergence of rapeseed (d); y, The dry matter accumulation of rapeseed plant (g/plant); t₀, The maximum moment of dry matter accumulation; t₁ and t₂, The two inflection points of Logistic growth function; Δt = t₂ - t₁, A vigorous growth period of plant dry matter accumulation in rapeseed.

表 4 半矮秆油菜植株氮素积累 Logistic 模型及其特征值

Tab. 4 Logistic model and its eigenvalues of nitrogen accumulation in semi-dwarf rapeseed

处理 Treatment	氮素积累模型方程 Nitrogen accumulation model equation	R^2	t_0	t_1	t_2	Δt
N0	$y = 0.34 / (1 + 379\ 557\ 584.69e^{-0.159\ 9t})$	0.727	123	115	131	16
N6	$y = 0.59 / (1 + 2\ 500\ 709\ 686.42e^{-0.171\ 2t})$	0.893	126	118	134	15
N12	$y = 0.69 / (1 + 2\ 261\ 797.06e^{-0.118\ 0t})$	0.913	123	112	135	22
N18	$y = 0.96 / (1 + 35\ 519.87e^{-0.082\ 3t})$	0.951	127	111	143	32
N24	$y = 0.89 / (1 + 368\ 653\ 744.90e^{-0.158\ 6t})$	0.921	124	116	132	16

注: t . 油菜出苗后的天数(d); y . 植株氮素积累量(g/株); t_0 . 氮素积累速率最大时刻; t_1 和 t_2 . Logistic 生长函数的 2 个拐点; $\Delta t = t_2 - t_1$. 油菜植株氮素快速积累持续期。

Note: t . The number of days after emergence of rapeseed (d); y . The nitrogen accumulation of rapeseed plant (g/plant); t_0 . The maximum moment of nitrogen accumulation; t_1 and t_2 . The two inflection points of Logistic growth function; $\Delta t = t_2 - t_1$. Vigorous growth period of plant nitrogen accumulation in rapeseed.

在植株氮素积累方面,各施氮处理与 N0 处理相比,氮素积累最大速率出现时间(t_0 , 出苗后天数)相同或有所推迟,氮素快速积累的起始时间(t_1)则有早(N12、N18 处理)有迟(N6、N24 处理)、终止时间(t_2)延后,氮素快速积累持续期(Δt)也相近(N6、N24 处理)或有所延长(N12、N18 处理)。随着施氮量的增加,植株氮素积累快速增长的起始时间(t_1)表现为先降低、后增加趋势,氮素积累快速增长的终止时间(t_2)和快速积累持续期(Δt)均表现为先增加、后降低趋势。可见,适宜的施氮量有利于提早植株氮素快速积累的起始时间(t_1),延长氮素快速积累持续期(Δt),为植株形态建成和干物质积累提供充足养分基础。

3 讨论与结论

本试验结果表明,高密度直播条件下,增施氮肥显著增加半矮秆油菜籽粒产量,与已有研究结果一致^[15]。随着施氮量的增加(90~270 kg/hm²),半矮秆油菜的产量呈显著增加趋势,但当施氮量超过 270 kg/hm²时,籽粒产量呈下降趋势。可见,高密度直播条件下半矮秆油菜获得高产的施氮量 180~270 kg/hm²,与 Clarke 等^[5]研究结果相近,该研究指出在高莫索普、罗斯曼德和特灵顿地区,半矮秆油菜(PR45D03)获得最佳产量的氮肥施用量分别为 255, 223, 257 kg/hm²。但高于吴永成等^[16]有关成都平原地区高密度直播油菜获得高产的氮肥用量,这可能与(半)矮秆油菜更加耐肥耐密有关^[17]。本研究还表明,当施氮量为 270 kg/hm²时,半矮秆油菜植株氮素积累量、氮肥农学利用率以及氮肥表观利用率均获得最高值。可见,在密度直播条件下半矮秆油菜获得较高氮肥利用率的施氮量为 180~270 kg/hm²。综上所述,高密度直播条件下半矮秆油菜施氮用量 180~270 kg/hm²能较好地实现油菜高效生产与氮肥合理利用。

大量研究表明,作物干物质积累是产量形成的前提,也是作物营养状况的表现;调控施氮量实质上是调节供给与作物需求的关系,改变作物干物质和氮素积累特征,最终影响作物产量^[13,18-19]。Logistic 模型广泛运用于玉米、小麦以及水稻等作物干物质及氮素积累的研究,直观地反映了干物质和氮素积累的生育动态,对指导氮素合理施用、减少氮素损失具有重要的意义;但其在油菜高产高效氮肥技术的研究中运用极少^[13-14]。本试验中,不同施氮水平下,半矮秆油菜的植株干物质及氮素积累,均可用 Logistic 生长函数进行拟合,但两者 Logistic 模型的参数及特征值具有差异,并受施氮量影响明显。有关研究指出,作物氮素快速积累的起始时间早于干物质快速积累的起始时间,可以为作物干物质积累提供充足的氮素^[20-21]。本试验中,半矮秆油菜干物质及氮素积累特点也表现为,氮素快速积累的起始时间和终止时间均早于干物质快速积累的起始时间和终止时间,为植株形态建成和干物质积累提供充足养分基础。也有研究认为,适宜地施氮量有利于干物质及氮素积累快速积累持续期延长,进而有利于获得高产^[14,22-23]。本试验结果也表明,合理施氮量(180~270 kg/hm²)使得半矮秆油菜干物质及氮素快速积累持续期延长,主要是由于干物质和氮素快速积累的终止时间推迟,并且干物质积累最大速率出现时间推迟,与已有相关研究^[14,24-25]比较一致。

参考文献:

- [1] 王汉中. 我国油菜产业发展的历史回顾与展望[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(2): 300-302.
Wang H Z. Historical review and prospect of the development of rapeseed industry in China[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2010, 32(2): 300-302.
- [2] 蒯婕, 王积军, 左青松, 陈红琳, 高建芹, 汪波, 周广生, 傅廷栋. 长江流域直播油菜密植效应及其机理研究进展[J]. 中国农业科学, 2018, 51(24): 4625-4632. doi: 10.3321/j.issn:1007-9084.2009.02.029.

- Kuai J, Wang J Q, Zuo Q S, Chen H L, Gao J Q, Wang B, Zhou G S, Fu T D. Effects and mechanism of higher plant density on directly-sown rapeseed in the Yangtze River Basin of China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(24): 4625 - 4632.
- [3] 殷艳, 王汉中, 廖星. 2009年我国油菜产业发展形势分析及对策建议[J]. *中国油料作物学报*, 2009, 31(2): 259 - 262. doi:10.3321/j.issn:1007-9084.2009.02.029.
- Yin Y, Wang H Z, Liao X. Analysis on the development situation of rapeseed industry in China in 2009 and countermeasures[J]. *Journal of the Chinese Oil Crops*, 2009, 31(2): 259 - 262.
- [4] Miersch S, Gertz A, Breuer F, Schierholt A, Becker H C. Influence of the semi-dwarf growth type on nitrogen use efficiency in winter oilseed rape[J]. *Crop Science*, 2016, 56(6): 2952 - 2961. doi:10.2135/cropsci2016.01.0044.
- [5] Clarke S M, Berry P M, Roques S. A comparison of semi-dwarf and standard height oilseed rape varieties on N use efficiency and its components[J]. *Aspects of Applied Biology*, 2010(105): 115 - 123.
- [6] 鲁剑巍. 中国油菜生产的高产高效氮素管理[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(18): 3504 - 3505. doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2016.18.004.
- Lu J W. High-yield and efficient nitrogen management in rapeseed production in China [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(18): 3504 - 3505.
- [7] 任涛, 鲁剑巍. 中国冬油菜氮素养分管理策略[J]. *中国农业科学*, 2016, 49(18): 3506 - 3521. doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2016.18.005.
- Ren T, Lu J W. Strategies for nitrogen nutrient management of winter rapeseed in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(18): 3506 - 3521.
- [8] 刘宝林, 邹小云, 宋来强, 官春云. 氮肥用量对迟直播早熟油菜产量及氮素利用效率的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2015, 37(6): 852 - 861. doi:10.7505/j.issn.1007-9084.2015.06.017.
- Liu B L, Zou X Y, Song L Q, Guan C Y. Effects of nitrogen fertilizer application on yield and nitrogen use efficiency of late-seeded early-maturing rapeseed[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2015, 37(6): 852 - 861.
- [9] 唐瑶, 左青松, 冷锁虎, 刘荣, 葛云龙, 徐泼, 李苗苗, 胡宇杰. 施氮对稻茬直播油菜扬油6号氮素吸收与利用的影响[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(20): 10390 - 10392. doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2012.20.012.
- Tang Y, Zuo Q S, Leng S H, Liu R, Ge Y L, Xu B, Li M M, Hu Y J. Effects of nitrogen application on nitrogen uptake and utilization by direct seeding rapeseed Yangyou No. 6[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2012, 40(20): 10390 - 10392.
- [10] 王锐, 吴位仙, 郑卫东, 吴艳花, 陈小磊. 氮素水平与品种对直播冬油菜农艺性状、产量及其构成因子的影响[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(14): 77 - 81. doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.14.018.
- Wang R, Wu W X, Zheng W D, Wu Y H, Chen X L. Effects of nitrogen levels and varieties on agronomic characteristics, yield and constituent factors of direct-seeded winter rapeseed [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(14): 77 - 81.
- [11] 刘士山, 张余红, 廖方全, 吴永成, 蒲晓斌. 冬油菜机直播高产优质栽培的氮肥运筹研究[J]. *华北农学报*, 2017, 32(S1): 279 - 282. doi:10.7668/hbxb.2017.S1.048.
- Liu S S, Zhang Y H, Liao F Q, Wu Y C, Pu X B. Research on nitrogen fertilizer operation of high-yield and high-quality cultivation of winter rapeseed by direct seeding[J]. *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2017, 32(S1): 279 - 282.
- [12] 刘宝林, 邹小云, 宋来强, 官春云. 氮肥用量对迟直播早熟油菜产量及氮素利用效率的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2015, 37(6): 852 - 861. doi:10.7505/j.issn.1007-9084.2015.06.017.
- Liu B L, Zou X Y, Song L Q, Guan C Y. Effects of nitrogen fertilizer application on yield and nitrogen use efficiency of late-seeded early-maturing rapeseed[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2015, 37(6): 852 - 861.
- [13] 刘晓伟, 鲁剑巍, 李小坤, 卜容燕, 刘波, 次旦. 直播冬油菜干物质积累及氮磷钾养分的吸收利用[J]. *中国农业科学*, 2011, 44(23): 4823 - 4832. doi:10.3864/j.issn.0578-1752.2011.23.008.
- Liu X W, Lu J W, Li X K, Bu R Y, Liu B, Ci D. Dry matter accumulation in winter rapeseed and absorption and utilization of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(23): 4823 - 4832.
- [14] 廖桂平, 官春云. 甘蓝型冬油菜干物质积累, 分配与转移的特性研究[J]. *作物学报*, 2002, 28(1): 52 - 58. doi:10.3321/j.issn:0496-3490.2002.01.010.
- Liao G P, Guan C Y. Study on dry matter accumulation, distribution and transfer characteristics of *Brassica napus* [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2002, 28(1): 52 - 58.
- [15] 刘士山, 张余红, 刘前禄, 廖方全, 杨云飞, 吴永成. 甘蓝型早熟油菜直播高产栽培的适宜施氮量和密度研究[J]. *作物研究*, 2017, 31(5): 494 - 497. doi:10.16848/j.cnki.issn.1001-5280.2017.05.09.
- Liu S S, Zhang Y H, Liu Q L, Liao F Q, Yang Y F, Wu Y C. Study on the appropriate nitrogen application rate and density for high-yield cultivation of early-seeded rapeseed[J]. *Crop Research*, 2017, 31(5): 494 - 497.
- [16] 吴永成, 陈天才, 彭海浪, 张旭, 邹正, 牛应泽. 施氮量和种植密度对迟直播油菜产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. *西南农业学报*, 2012, 25(4): 1320 - 1325. doi:10.16213/j.cnki.scjas.2012.04.049.
- Wu Y C, Chen T C, Peng H L, Zhang X, Zou Z, Niu Y Z. Effects of nitrogen application and planting density on the yield, quality and nitrogen fertilizer utilization of late sowing rape[J]. *Southwest Agricultural Journal*, 2012, 25(4): 1320 - 1325.
- [17] 段秋宇. 种植密度和施氮对矮秆油菜生长、产量和氮素利用的影响[D]. 成都: 四川农业大学, 2017.
- Duan Q Y. Effects of planting density and nitrogen application on growth, yield and nitrogen utilization of dwarf rapeseed[D]. Chengdu: *Sichuan Agricultural University*, 2017.
- [18] 黄中文, 赵团结, 盖钧镒. 大豆不同产量水平生物量积累与分配的动态分析[J]. *作物学报*, 2009, 35(8): 1483 - 1490. doi:10.3724/SP.J.1006.2009.01483.
- Huang Z W, Zhao T J, Gai J Y. Dynamic analysis of bio-

- mass accumulation and distribution of soybean at different yield levels [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35 (8): 1483 - 1490.
- [19] 王雪蓉, 张润芝, 李淑敏, 许宁, 牟尧, 张春怡. 不同供氮水平下玉米/大豆间作体系干物质积累和氮素吸收动态模拟 [J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2019, 27(9): 1354 - 1363. doi: 10.13930/j.cnki.cjea.190075.
- Wang X R, Zhang R Z, Li S M, Xu N, Mou Y, Zhang C Y. Dynamic simulation of dry matter accumulation and nitrogen absorption in corn/soybean intercropping system under different nitrogen supply levels [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture (Chinese and English)*, 2019, 27 (9): 1354 - 1363.
- [20] 高志英, 陈梅, 樊蕾, 杨习文. 不同氮肥用量下设施秋冬茬番茄干物质及氮素的积累动态 [J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2019, 39(6): 62 - 70. doi: 10.13842/j.cnki.issn1671-8151.201903059.
- Gao Z Y, Chen M, Fan L, Yang X W. Dynamics of dry matter and nitrogen accumulation in tomato in autumn and winter under different nitrogen fertilizer applications [J]. *Journal of Shanxi Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2019, 39(6): 62 - 70.
- [21] 徐海江, 田立文, 林涛, 崔健平, 郭仁松, 苏秀娟, 朱家辉. 施氮量对南疆膜下滴灌陆地棉干物质积累与分配的影响 [J]. *新疆农业科学*, 2012, 49(10): 1765 - 1772. doi: 10.6048/j.issn.1001-4330.2012.10.001.
- Xu H J, Tian L W, Lin T, Guo R S, Su X J, Zhu J H. Effects of nitrogen application rate on dry matter accumulation and distribution in upland cotton under drip irrigation in southern Xinjiang [J]. *Xinjiang Agricultural Science*, 2012, 49(10): 1765 - 1772.
- [22] 刘佳, 陈静蕊, 谢杰, 秦文婧, 刘晖, 王惠明, 项兴佳, 张杰, 徐昌旭, 杨成春. 不同施氮时期对红壤旱地花生生物量和氮素累积的影响 [J]. *中国油料作物学报*, 2017, 39(4): 515 - 523. doi: 10.7505/j.issn.1007-9084.2017.04.013.
- Liu J, Chen J R, Xie J, Qin W J, Liu H, Wang H M, Xiang X J, Zhang J, Xu C X, Yang C C. Effects of different nitrogen application periods on peanut biomass and nitrogen accumulation in red soil upland [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2017, 39 (4): 515 - 523.
- [23] 赵双印. 施氮对棉花养分吸收规律及产量品质影响的研究 [D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2009. doi: 10.7666/d.y1506379.
- Zhao S Y. Effect of nitrogen application on nutrient absorption and yield and quality of cotton [D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2009.
- [24] 宋海星, 官春云, 刘强, 刘代平, 荣湘民, 陈社员. 施氮对"双低"油菜吸氮特性及氮素生理效率的影响 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(4): 106 - 109. doi: 10.13870/j.cnki.stbxb.2006.04.025.
- Song H X, Guan C Y, Liu Q, Liu D P, Rong X M, Chen S Y. Effects of nitrogen application on nitrogen absorption characteristics and nitrogen physiological efficiency of "double low" rape [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(4): 106 - 109.
- [25] 刘其, 刁明, 王江丽, 王新. 施氮对滴灌春小麦干物质、氮素积累和产量的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2013, 33(4): 722 - 726. doi: 10.7606/j.issn.1009-1041.2013.04.017.
- Liu Q, Diao M, Wang J L, Wang X. Effect of nitrogen application on dry matter, nitrogen accumulation and yield of spring wheat under drip irrigation [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2013, 33(4): 722 - 726.