

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2026.55037

高产高油高油酸花生品种的生长发育及干物质生产特征

金欣欣 宋亚辉 苏 俏 杨永庆 王 瑾*

河北省农林科学院粮油作物研究所 / 河北省作物遗传育种重点实验室, 河北石家庄 050035

摘 要: 连续 2 年对冀花 915、冀花 19 号、冀花 521 共 3 个高油酸花生品种的生长发育、干物质积累、产量构成、油脂积累等物质生产特征进行系统比较研究, 旨在为解析花生高产高油高油酸的形成机制提供理论依据。结果表明, 3 个品种的产量表现为冀花 915>冀花 19 号>冀花 521。冀花 915 植株高度较矮(<40 cm), 叶面积指数峰值适宜(约 5.6), 地上部群体结构合理; 荚果形成后, 群体生长率、净同化速率、荚果生长率以及荚果生物量的分配比例(48.75%)均显著高于其他 2 个品种。冀花 521 在生育期内叶面积指数峰值大, 光合势高, 但群体结构过大导致干物质积累向荚果分配比例小造成产量较低。冀花 19 号各项指标居中。油分、油酸含量表现为冀花 915≈冀花 19 号>冀花 521。冀花 915 和冀花 19 号的油分、油酸最大积累速率显著高于冀花 521, 但快速积累期持续时间相对较短。总之, 冀花 915 具有群体质量优、干物质积累向荚果分配多、油分及油酸积累速率高等突出优势, 是其高产高油高油酸的重要原因。本研究结果可为花生新品种培育及制定高产高效栽培技术提供理论依据。

关键词: 高油酸; 花生; 产量; 干物质积累; 油分积累

Growth and dry matter production characteristics of high-yielding, high-oil, and high oleic acid peanut varieties

Jin Xin-Xin, Song Ya-Hui, Su Qiao, Yang Yong-Qing, and Wang Jin *

Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences / Hebei Key Laboratory of Crop Genetics and Breeding, Shijiazhuang 050035, Hebei, China

Abstract: This study compared the growth dynamics, dry matter accumulation, yield components, and oil accumulation characteristics of three high-oleic-acid peanut varieties—Jihua 915, Jihua 19, and Jihua 521—during the 2023 and 2024 growing seasons. The aim was to provide a theoretical basis for understanding the mechanisms underlying high yield, high oil content, and high oleic acid levels. Results showed that yield followed the order: Jihua 915 > Jihua 19 > Jihua 521. Jihua 915 exhibited a shorter plant height (< 40 cm), an optimal peak leaf area index (about 5.6), and a well-structured above-ground canopy. After pod initiation, Jihua 915 also demonstrated significantly higher crop growth rate, net assimilation rate, pod growth rate, and pod dry matter distribution ratio (48.75%) compared to the other two varieties. Although Jihua 521 had a large leaf area index and high photosynthetic potential during the growth period, its excessively dense canopy structure resulted in a lower allocation of dry matter to pods and reduced yield. Jihua 19 showed intermediate performance across all traits. In terms of oil and oleic acid content, Jihua 915 and Jihua 19 were comparable and both superior to Jihua 521. The peak accumulation rates of oil and oleic acid in Jihua 915 and Jihua 19 were significantly higher than those in Jihua 521, although their accumulation periods were relatively short. The superior performance of Jihua 915—characterized by optimal canopy architecture, efficient dry matter allocation to pods, and

本研究由财政部和农业农村部国家现代农业产业技术体系建设专项(CARS-13), 河北省现代农业产业技术体系建设专项(HBCT2024040101, HBCT2024040204), 河北省花生现代种业科技创新团队项目(21326316D)和河北省农林科学院创新工程项目(2022KJCXZX-LYS-11)资助。This study was supported by the China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-13), the Hebei Agriculture Research System (HBCT2024040101, HBCT2024040204), the Science and Technology Innovation Team of Modern Peanut Seed Industry (21326316D), and the Talents Construction Project of Science and Technology Innovation of Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences (2022KJCXZX-LYS-11).

* 通信作者(Corresponding author): 王瑾, E-mail: wangjinnky@163.com

第一作者联系方式: E-mail: jinxinxin1984@163.com

Received (收稿日期): 2025-06-19; Accepted (接受日期): 2025-09-10; Published online (网络出版日期): 2025-09-18.

URL: <https://link.cnki.net/urlid/11.1809.S.20250918.1341.002>

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

rapid accumulation of oil and oleic acid—was a key contributor to its high yield and quality. The results can provide theoretical basis for breeding new peanut varieties and formulating cultivation technique.

Keywords: high oleic acid; peanut; yield; dry matter accumulation; oil accumulation

花生是我国重要的油料作物和经济作物,对于保障我国油脂安全具有重要作用。2023 年我国花生总产量和种植面积分别达 1923.07 万吨和 479.78 万公顷^[1], 分别居世界第 1 位和第 2 位。在大宗油料作物中,花生单位面积产油量最高,约是油菜的 2 倍,大豆的 4 倍,年产油量约占总植物油产量的 25%以上^[2-3]。近年来,全国花生单产逐年增加,由 2016 年 3678 kg hm⁻² 增长至 2023 年 4008 kg hm⁻²^[1],但年均增幅仅为 1.2%。由于我国耕地面积紧张,同时要避免与粮棉争地,因此提高单产仍是花生总产增加的重点。

花生产油量取决于其经济产量和含油量^[4]。作物经济产量与其生物学产量、经济系数有关,但三者的关系因品种类型、种植地区、栽培技术的不同而有所差异^[5-7]。构建合理的群体结构,提高光合产物积累量是挖掘作物高产潜力的重要环节。已有研究表明,提高花后群体光合积累量是作物群体质量的核心指标,而库容量、茎蘖成穗率、适宜叶面积指数(LAI)、粒叶比等与群体质量密切相关^[8]。增加种植密度,提高光合势在生育后期的分配比例和花后净同化率,是玉米高产的重要途径^[9-10]。水稻超高产具有干物质积累前小-中稳-后高的群体优势,并且生育后期茎鞘物质输出率较高^[11-12]。一般认为,株型紧凑,株高适中,单株结果数多,群体光合效率高以及合理的物质分配,是花生高产的生理基础^[13]。王才斌等^[14]和吴正峰等^[15]研究表明, LAI 峰值持续时间长,干物质生产速率峰值高,后期下降速度慢,营养体的干物质转移率高,是花生超高产群体的显著特征。王建国等^[16]和张佳蕾等^[17]研究发现,单粒精播有利于促进个体健壮和改善群体质量,形成强源-畅流-壮库的优势,提高荚果产量和收获指数,实现花生高产高效。

花生等油料作物光合代谢产物积累与油分积累关系密切,前期的物质积累可为后期种子脂肪酸合成提供大量碳源和能量,进而影响荚果发育状况和品质形成过程^[18]。花生油分积累随着籽仁发育进程逐渐增加,积累速率呈现先增加后降低的趋势^[19-21]。花生油分等品质性状主要取决于品种(或基因型),但易受栽培措施等环境因素影响^[22]。花生油脂主要由

油酸、亚油酸、棕榈酸等脂肪酸组成,其中油酸是决定花生油氧化稳定性和营养价值的重要品质指标^[23]。油酸的积累与油分的积累规律大体一致,早期积累迅速,后期增加缓慢,而且高油酸花生品种油酸积累速率、积累峰值均显著高于普通品种^[24-25]。

近年来,为进一步挖掘花生高产潜力,高产攻关已使花生单位面积的产量突破 12,000 kg hm⁻²^[26]。同时为提高花生新品种在未来发展中的竞争力,国内外育种者已将提高含油量、油酸含量作为花生品质改良的重要方向,并且成功培育出一批兼具高产、高油($\geq 55\%$)、高油酸($\geq 75\%$)等优良综合性状的花生品种^[27]。目前对于花生高产和物质生产的研究,多集中在栽培技术上^[26,28],对于提高油分含量和油酸含量,主要集中在遗传改良途径上^[29],而围绕代表性品种的群体特征、干物质积累分配、光合特性、产量构成及油分积累特征等方面的研究报道并不多。本研究立足于河北省高油酸花生快速发展的生产实际,对近 5 年大面积推广的高产、高油、高油酸花生品种的生长发育与群体特征、干物质积累与分配、产量构成、油脂积累规律等进行比较分析,进而揭示花生高产、高油、高油酸的形成机制,旨在为花生新品种培育和高产高效优质栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料选用河北省农林科学院粮油作物研究所培育的冀花 915、冀花 19 号、冀花 521,均为直立、疏枝、普通型高油酸花生品种。冀花 915 是以开农 65 为母本、P08-1 为父本,通过杂交培育的高产高油高油酸品种,品种登记号为 GPD 花生(2020)130136,生育期 130 d,含油量 55.63%,油酸含量 81.90%,在 2023 年和 2024 年连续 2 年创河北省高产记录,高产田荚果产量达到 9900 kg hm⁻²。冀花 19 号是以冀花 6 号为母本、开选 01-6 为父本,通过杂交培育的高产高油高油酸品种,品种登记号为 GPD 花生(2018)130077,生育期 129 d,含油量 55.08%,油酸含量 79.80%,连续 5 年(2021—2025)被推介为河北省主导品种,参加河北省区域试验,

荚果产量达到 5400 kg hm⁻²。冀花 521 是以 0607-19 为母本、冀花甜 1 号为父本, 通过杂交培育的低油高油酸特色花生品种, 品种登记号为 GPD 花生 (2022)130141, 生育期 125 d, 含油量 40.74%, 油酸含量 76.70%, 多点试验荚果产量达 5100 kg hm⁻², 本试验将其作为对照品种。

1.2 试验设计

试验于 2023 年、2024 年在河北省农林科学院粮油作物研究所际华园林农场进行。土壤质地为沙壤土, 0~20 cm 耕层土壤采用扩散法测定碱解氮, 含量为 72.43 mg kg⁻¹; 采用比色法测定有效磷, 含量为 10.77 mg kg⁻¹; 采用火焰光度计法测定速效钾, 含量为 163.00 mg kg⁻¹。试验采用起垄不覆膜的种植方式, 设 3 次重复, 随机区组排列, 小区面积 12.0 m × 5.6 m = 67.20 m², 每个小区 30 行, 行距 40 cm, 株距 16.5 cm, 种植密度 15 × 10⁴ 穴 hm⁻², 每穴 2 粒。2023 年 5 月 7 日播种, 9 月 4 日收获。2024 年 5 月 7 日播种, 8 月 28 日收获。播前进行整地、施肥, 施肥量按尿素 300 kg hm⁻²、磷酸二铵 450 kg hm⁻²、硝酸钙 750 kg hm⁻² 计算。其余灌溉、病虫害防控等栽培措施同常规大田生产管理。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 农艺性状及干物质积累量 自播种后 35 d 开始, 每隔 5 d 随机选取各小区长势一致的花生植株 3 穴(6 株), 分别测量主茎高(main stem height, SH)、侧枝长(branch length, BL)、总分枝数(total branching number, TBN)。随后按照根、茎、叶、荚果、果针分开, 置于烘箱内 105℃ 杀青 30 min, 然后 75℃ 烘干至恒重, 测定干物质积累量。叶片在烘干之前, 采用打孔法测定叶面积并计算叶面积指数(leaf area index, LAI) [4]。每个小区固定连续的 5 穴(10 株)花生, 开花期记录每天的开花量。在 2024 年, 为了更好地展示各品种单株开花量的趋势, 在出苗后, 每穴只留 1 株花生调查开花量, 故单株生长更为旺盛, 开花量更大。

1.3.2 群体生长参数 利用干物质积累量(dry matter weight, W, kg hm⁻²)、叶面积(leaf area, L, m² hm⁻²), 参照其他大田作物的研究方法[5], 计算群体生长率(crop growth rate, CGR, kg hm⁻² d⁻¹)、光合势(leaf area duration, LAD, m² d hm⁻²)、净同化率(net assimilation rate, NAR, g m⁻² d⁻¹)、荚果生长率(pod growth rate, PGR, kg hm⁻² d⁻¹)。

$$\text{CGR} = (W_2 - W_1) / (T_2 - T_1) \quad (1)$$

$$\text{LAD} = (L_1 + L_2) / 2 \times (T_2 - T_1) \quad (2)$$

$$\text{NAR} = [(\ln L_2 - \ln L_1) / (L_2 - L_1)] \times [(W_2 - W_1) / (T_2 - T_1)] \quad (3)$$

$$\text{PGR} = (P_2 - P_1) / (T_2 - T_1) \quad (4)$$

式中, W₁ 和 W₂ 分别为 T₁ 和 T₂ 时间测定的总干物质积累量; L₁ 和 L₂ 分别为 T₁ 和 T₂ 时间测定的总叶面积; P₁ 和 P₂ 为 T₁ 和 T₂ 时间测定的荚果干物质量; T₁ 和 T₂ 为前后测定时间(d)。

1.3.3 产量及产量构成 成熟后全小区进行收获, 自然晒干后测定产量(yield, Y, kg hm⁻²)以及产量构成指标, 如百果质量(100-pod weight, PW, g)、百仁质量(100-seed weight, SW, g)、出米率(seed production rate, SPR, %)等。

1.3.4 油分积累特征 自荚果形成后, 每次选取发育阶段大小一致的花生种子, 带回试验室检测籽仁的油分含量(oil content, OC)和油酸含量(oleic acid, OA), 每个指标测定 3 次重复。采用核磁共振仪(Minispecmq-20, 德国)测定油分含量, 采用气相色谱分析法测定油酸含量。利用 Logistic 生长方程 $A = a / (1 + b \times e^{-kx})$ 对花生籽仁油分、油酸积累过程进行拟合[5,20]。根据公式计算得到增长曲线的最大增长速率 $R_{\max} = (k \times a) / 4$; 最大增长速率出现时间 $T_{\max} = (\ln b) / k$; 快速积累期起始时间 $t_1 = -1/k \ln [(2 + \sqrt{3}) / b]$; 快速积累期终止时间 $t_2 = -1/k \ln [(2 - \sqrt{3}) / b]$; 快速积累期的持续时间长短 $\Delta t = t_2 - t_1$ 。

1.4 数据处理及分析

采用 Microsoft Excel 软件和 SPSS 25 对试验数据进行整理和统计分析, 采用 Duncan 法进行显著性检验($P < 0.05$), 利用 Origin 2018 软件拟合籽仁油分的积累动态。

2 结果与分析

2.1 不同高油酸花生的产量及其构成因素

由表 1 可见, 花生荚果产量及其构成因素在年际和品种间的差异均显著。2 年的产量结果表明, 冀花 915 产量最高, 分别达到 4947.73 kg hm⁻² (2023 年) 和 5520.16 kg hm⁻² (2024 年), 冀花 19 号次之, 冀花 521 最低。2023 年, 冀花 915 的百果重、百仁重、出米率、产量、单株果数、饱果率最高, 分别比冀花 19 号高 14.72%、17.36%、7.42%、6.64%、4.89%、6.30%, 比冀花 521 高 10.57%、14.16%、7.96%、21.81%、38.12%、5.23%。2024 年各品种的上述测定指标值较 2023 年均有所提升(约 1.60%~8.80%), 但总体趋势一致。说明无论是欠收年(2023 年)还是丰

表 1 不同高油酸花生品种产量及产量构成因素
Table 1 Yield and yield components of high-oleic acid peanut varieties

年份 Year	品种 Variety	百果重 100-pod weight (g)	百仁重 100-seed weight (g)	千克果数 Pods per kg	千克仁数 Seeds per kg
2023	冀花 521 Jihua 521	218.21±3.05 b	84.83±2.89b	651±53 b	1560±168 ab
	冀花 915 Jihua 915	241.28±0.41 a	96.85±0.79a	640±18 b	1368±60 b
	冀花 19 号 Jihua 19	210.32±5.18 c	82.52±3.48b	753±39 a	1670±42 a
2024	冀花 521 Jihua 521	233.19±1.81 b	87.11±0.51 b	605±5 b	1530±14 a
	冀花 915 Jihua 915	244.31±2.17 a	101.42±1.84 a	555±15 c	1288±16 c
	冀花 19 号 Jihua 19	219.17±2.70 c	89.15±2.62 b	644±2 a	1458±14 b
变异来源 Source of variance	年份 Year (Y)	42.03**	17.23**	35.21**	9.09*
	品种 Variety (V)	139.73**	66.52**	19.68**	18.08**
	年份 × 品种 Y × V	6.24*	1.35 ^{ns}	1.85 ^{ns}	2.32 ^{ns}

年份 Year	品种 Variety	出米率 Seed production rate (%)	产量 Yield (kg hm ⁻²)	单株果数 Pods per plant	饱果率 Full pod rate (%)
2023	冀花 521 Jihua 521	64.39±0.91 b	4061.83±35.02 b	10.10±0.50 b	69.10±1.02 b
	冀花 915 Jihua 915	69.52±0.32 a	4947.73±129.56 a	13.95±0.05 a	72.72±0.37 a
	冀花 19 号 Jihua 19	64.71±1.82 b	4639.59±297.63 a	13.30±050 a	68.41±0.80 b
2024	冀花 521 Jihua 521	69.73±0.52 b	4378.99±18.79 c	10.60±0.70 b	70.10±1.90 b
	冀花 915 Jihua 915	74.50±0.49 a	5520.16±268.04 a	14.56±0.45 a	73.23±0.97 a
	冀花 19 号 Jihua 19	70.82±0.72 b	4951.66±231.74 b	14.17±0.30 a	70.25±0.95 b
变异来源 Source of variance	年份 Year (Y)	153.00**	18.63**	9.16*	3.02 ^{ns}
	品种 Variety (V)	48.76**	40.01**	126.13**	18.79**
	年份 × 品种 Y × V	0.56 ^{ns}	0.86 ^{ns}	0.25 ^{ns}	0.51 ^{ns}

同一列不同小写字母表示同一年份品种间在 0.05 水平差异显著。*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ^{ns}表示差异不显著。
Different lowercase letters within the same column indicate significant differences ($P < 0.05$) among varieties in the same year. *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ^{ns} means no significant differences.

产年(2024 年), 冀花 915 产量及其构成因素的稳定性相对较好。

2.2 不同高油酸花生的农艺性状

3 个花生品种的主茎高、侧枝长、单株叶面积、LAI 均随着生育期的推进逐渐增加, 花针期之前增加缓慢, 花针期至结荚期快速增加, 结荚期至成熟期缓慢增加至最终值(表 2)。不同生育期 3 个品种间各项农艺指标存在显著差异, 2024 年多数指标值高于 2023 年。从 2 年的平均值来看, 冀花 915 成熟期的主茎高和侧枝长分别为 35.30 cm、37.44 cm, 冀花 19 号比其分别增加 29.38%、38.59%, 冀花 521 比其分别增加 42.25%、48.00%。冀花 915 成熟期的单株叶面积与冀花 19 号无显著差异, 平均为 1837.95 cm² 株⁻¹, 冀花 521 的单株叶面积比其高 21.02%。冀花 521 的 LAI 在开花期和成熟期分别达到 3.49 和 6.67, 而冀花 19 号为 2.77 和 5.39, 冀花 915 为 3.02 和 5.64。各花生品种的总分枝数在开花期基本达到稳定, 冀花 19 号的总分枝数约是 8.25 条, 而冀花 521、冀花

915 的总分枝相对较多, 约 10.12 条。以上结果表明, 在 3 个品种中, 冀花 521 植株最高, 分枝数较多, 单株叶面积最大, LAI 最高; 冀花 19 号植株较矮、分枝数少、单株叶面积和 LAI 较小; 冀花 915 植株最矮, 分枝数较多, 单株叶面积和 LAI 较小。

2.3 不同高油酸花生干物质积累与分配

2.3.1 各生育阶段干物质生产特征 由表 3 可知(2 年数据的平均值), 花生各生育期干物质积累量及占比表现为开花期至结荚期>结荚期至成熟期>苗期至开花期>苗期。苗期花生植株群体干物质积累量及其占总生物学产量的比例在 3 个品种之间无显著差异, 平均为 1942.47 kg hm⁻²、12.80%。苗期至开花期, 干物质积累量及占生物学产量的比例均以冀花 521 最高, 达到 2799.50 kg hm⁻²、18.40%。冀花 19 号和冀花 915 的干物质积累量及其占比无显著差异, 平均为 2072.63 kg hm⁻²、14.64%。开花期至结荚期, 干物质积累量仍以冀花 521 最大(7042.17 kg hm⁻²), 分别比冀花 19 号和冀花 915 高 5.14%、15.25%。冀花

表 2 不同高油酸花生品种的农艺性状
Table 2 Agronomic traits of high-oleic acid peanut varieties

指标 Index	年份 Year	品种 Variety	苗期 Seeding stage	开花期 Anthesis stage	结荚期 Pod setting stage	成熟期 Pod maturity stage
主茎高 SH (cm)	2023	冀花 521 Jihua 521	6.56±0.25 b	14.67±1.17 a	37.28±2.07 a	45.83±2.69 a
		冀花 915 Jihua 915	7.69±1.13 a	13.28±1.92 ab	29.00±3.09 b	33.22±1.68 c
		冀花 19 号 Jihua 19	6.25±1.24 b	12.78±1.71 b	34.00±1.00 a	39.41±2.36 b
	2024	冀花 521 Jihua 521	10.33±0.88 b	19.39±1.00 a	45.28±1.17 b	54.61±1.71 a
		冀花 915 Jihua 915	11.56±0.86 ab	17.72±1.07 b	36.83±3.09 c	37.39±2.39 c
		冀花 19 号 Jihua 19	12.33±0.17 a	20.90±2.56 a	50.00±3.12 a	51.94±4.43 b
侧枝长 BL (cm)	2023	冀花 521 Jihua 521	6.75±0.63 b	15.06±0.95 a	40.89±1.95 a	48.72±0.96 a
		冀花 915 Jihua 915	8.44±1.43 a	14.39±2.55 a	31.44±2.04 c	35.00±0.44 b
		冀花 19 号 Jihua 19	6.94±1.29 b	14.44±1.71 a	35.94±1.42 b	45.95±4.02 a
	2024	冀花 521 Jihua 521	12.31±0.43 b	21.72±0.63 b	53.56±3.20 a	62.11±1.21 a
		冀花 915 Jihua 915	13.17±0.76 b	21.28±0.92 b	41.06±1.67 b	39.89±0.59 c
		冀花 19 号 Jihua 19	14.61±0.25 a	23.63±2.14 a	52.33±6.26 a	57.83±5.54 b
分枝数 TBN	2023	冀花 521 Jihua 521	6.11±0.95 a	10.44±0.38 a	10.06±0.35 a	10.52±1.13 a
		冀花 915 Jihua 915	6.50±0.73 a	9.72±0.10 a	10.28±0.48 a	10.22±0.82 a
		冀花 19 号 Jihua 19	5.72±0.69 a	8.50±0.93 b	8.83±0.76 b	8.78±0.25 b
	2024	冀花 521 Jihua 521	8.39±0.42 a	10.39±0.42 a	10.06±0.51 a	9.56±0.42 a
		冀花 915 Jihua 915	7.83±0.33 a	10.17±0.44 a	10.00±0.01 a	10.17±0.17 a
		冀花 19 号 Jihua 19	6.72±0.25 b	7.64±0.20 b	7.78±0.25 b	7.72±0.35 b
单株叶面积 LA (cm ² plant ⁻¹)	2023	冀花 521 Jihua 521	331.29±30.32 a	1099.95±111.74 a	2022.48±227.31 a	2171.12±81.70 a
		冀花 915 Jihua 915	329.61±76.05 a	914.68±51.84 a	1558.16±77.18 b	1699.89±84.33 b
		冀花 19 号 Jihua 19	270.51±73.33 b	788.34±89.41 b	1645.21±121.58 b	1653.24±238.63 b
	2024	冀花 521 Jihua 521	775.98±75.79 a	1223.64±116.45 a	2153.56±125.21 a	2277.37±248.77 a
		冀花 915 Jihua 915	807.46±2.10 a	1097.53±80.71 a	1731.51±101.45 b	2060.26±176.95 a
		冀花 19 号 Jihua 19	726.96±54.87 a	1057.24±52.67 a	1814.92±96.67 b	1938.41±84.68 a
叶面积指数 LAI	2023	冀花 521 Jihua 521	0.99±0.09 a	3.30±0.34 a	6.07±0.68 a	6.51±0.25 a
		冀花 915 Jihua 915	0.99±0.23 a	2.74±0.16 b	4.67±0.23 b	5.10±0.25 b
		冀花 19 号 Jihua 19	0.81±0.22 b	2.37±0.27 b	4.94±0.36 b	4.96±0.72 b
	2024	冀花 521 Jihua 521	1.86±0.23 a	3.67±0.35 a	6.46±0.38 a	6.83±0.75 a
		冀花 915 Jihua 915	1.94±0.01 a	3.29±0.24 a	5.19±0.30 b	6.18±0.53 ab
		冀花 19 号 Jihua 19	1.74±0.16 a	3.17±0.16 a	5.44±0.29 b	5.82±0.25 b

同一列不同小写字母表示同一年份品种间在 0.05 水平差异显著。
SH: main stem height; BL: branch length; TBN: total branching number; LA: leaf area per plant; LAI: leaf area index. Different lowercase letters within a column indicate significant differences ($P < 0.05$) among varieties in the same year.

19 号的干物质积累量占生物学产量的比例(48.37%)稍高于冀花 521 (45.89%)、冀花 915 (41.72%)。结荚期至成熟期, 冀花 915 的干物质积累量及占生物学产量的比例最高, 达到 4461.01 kg hm⁻²、30.53%, 比其他 2

个品种显著高 26.64%~33.38%、25.48%~32.42%。总生物学产量表现为冀花 521 ($15,373.80 \text{ kg hm}^{-2}$) > 冀花 915 ($14,678.01 \text{ kg hm}^{-2}$) > 冀花 19 号 ($13,899.14 \text{ kg hm}^{-2}$)。就群体生长率、光合势和净同化率而言, 苗期、苗期至开花期以冀花 521 群体居高。开花期至结荚期, 冀花 521 的群体生长率、光合势最高, 而冀花 19 号的

净同化速率最高。结荚期至成熟期, 光合势仍以冀花 521 最高, 但冀花 915 的群体生长率 ($168.48 \text{ kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)、净同化速率 ($3.20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) 显著高于冀花 521 和冀花 19 号, 分别是其他 2 个品种的 1.27~1.33 倍, 1.34~1.56 倍。自荚果形成后, 冀花 915 的荚果生长率显著高, 约是冀花 19 号的 1.29 倍、冀花 521 的 1.54 倍。

表 3 不同高油酸花生品种各生育阶段干物质生产特征

Table 3 Characteristics of photosynthate accumulation in different high-oleic acid peanut varieties

生育阶段 Development phase	光合物质生产指标 Index of production of dry matter	冀花 19 号 Jihua 19	冀花 521 Jihua 521	冀花 915 Jihua 915
苗期 Seeding stage	积累量 Biomass (kg hm^{-2})	1808.83±607.17 a	2009.50±570.99 a	2009.08±585.78 a
	占生物学产量的比例 RBSM (%)	12.44±3.28 a	12.65±2.75 a	13.31±3.21 a
	群体生长率 CGR ($\text{kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	50.93±13.62 b	57.10±12.04 a	57.01±12.49 a
	光合势 LAD ($\times 10^4 \text{ m}^2 \text{ d hm}^{-2}$)	13.40±5.17 b	14.78±5.18 ab	15.21±5.51 a
	净同化速率 NAR ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	4.94±0.34 a	5.00±0.42 a	4.90±0.44 a
苗期至开花期 Seeding stage to anthesis stage	积累量 Biomass (kg hm^{-2})	2047.67±170.41 b	2799.50±39.36 a	2097.58±102.88 b
	占生物学产量的比例 RBSM (%)	14.85±1.37 b	18.40±2.54 a	14.43±2.39 b
	群体生长率 CGR ($\text{kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	118.16±37.32 b	160.24±39.95 a	119.17±22.37 b
	光合势 LAD ($\times 10^4 \text{ m}^2 \text{ d hm}^{-2}$)	36.75±4.80 b	45.04±0.07 a	41.03±2.59 ab
	净同化速率 NAR ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	5.89±0.60 b	6.63±0.34 a	5.39±0.88 b
开花期至结荚期 Anthesis stage to pod setting stage	荚果生长率 PGR ($\text{kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	6.81±2.41 b	4.93±1.69 c	8.89±2.29 a
	积累量 Biomass (kg hm^{-2})	6698.05±887.12 ab	7042.17±911.70 a	6110.33±483.66 b
	占生物学产量的比例 RBSM (%)	48.37±2.09 a	45.89±1.04 b	41.72±1.60 c
	群体生长率 CGR ($\text{kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	226.76±24.64 a	238.42±25.19 a	206.99±11.43 b
	光合势 LAD ($\times 10^4 \text{ m}^2 \text{ d hm}^{-2}$)	117.55±16.54 b	143.90±11.42 a	117.44±13.96 b
结荚期至成熟期 Pod setting stage to maturity stage	净同化速率 NAR ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	5.90±0.13 a	5.02±0.24 b	5.32±0.24 ab
	荚果生长率 PGR ($\text{kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	94.32±16.26 b	75.94±15.60 c	117.25±13.57 a
	积累量 Biomass (kg hm^{-2})	3344.59±161.72 b	3522.63±241.69 b	4461.01±168.78 a
	占生物学产量的比例 RBSM (%)	24.33±3.10 b	23.06±1.93 b	30.53±2.43 a
	群体生长率 CGR ($\text{kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	126.34±9.47 b	133.10±12.67 b	168.48±10.86 a
	光合势 LAD ($\times 10^4 \text{ m}^2 \text{ d hm}^{-2}$)	139.98±9.05 b	171.32±2.10 a	139.91±11.26 b
	净同化速率 NAR ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	2.36±0.04 b	2.06±0.12 b	3.20±0.13 a
	荚果生长率 PGR ($\text{kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	100.72±29.37 b	104.31±14.30 b	133.88±1.22 a

同一行不同小写字母表示品种间在 0.05 水平差异显著。

Different lowercase letters within the same row indicate significant differences at the 0.05 probability level. RBSM: ratio to biomass at maturity; CGR: crop growth rate; LAD: leaf area duration; NAR: net assimilation rate; PGR: pod growth rate.

2.3.2 干物质积累在各器官中的分配 花生干物质积累量在各器官的分配如图 1 所示。营养器官茎、叶和根的生物量分配比例随生育期的改变逐渐下降 (2 年数据的平均值), 自苗期的 38.37%、51.53%、10.11% 分别降至 25.18%、28.67%、3.35%; 荚果分配比例逐渐上升, 自 2.19% 逐渐增加至 40.30%。果针占比较小, 为 2.49%~3.08%。3 个品种之间比较, 成熟期荚果生物量的分配比例表现为冀花 915 (48.75%) > 冀花 19 号 (39.39%) > 冀花 521 (32.77%),

营养器官生物量 (根、茎、叶) 的分配比例表现为冀花 521 (65.93%) > 冀花 19 号 (57.02%) > 冀花 915 (48.66%), 果针生物量的分配比例表现为冀花 19 号 (3.60%) > 冀花 915 (2.59%) > 冀花 521 (1.30%)。由上可知, 冀花 915 自荚果形成后, 营养器官生物量分配比例降低, 使更多的干物质积累向荚果分配, 提高收获指数, 从而有利于产量增加, 而冀花 521 则与之相反, 导致产量降低。

此外, 2023 年冀花 915、冀花 19 号的单株开花

量分别为 50.8 朵、61.2 朵, 显著高于冀花 521 (仅 22.4 朵)。2024 年各品种开花量高于 2023 年, 但品种间趋势一致(图 2)。冀花 521 开花主要集中在播种

后 31~40 d, 而冀花 915、冀花 19 号在播种后 41~60 d 仍有许多花开放。冀花 521 开花数量少直接影响结果数, 这也是最终产量较低的原因之一。

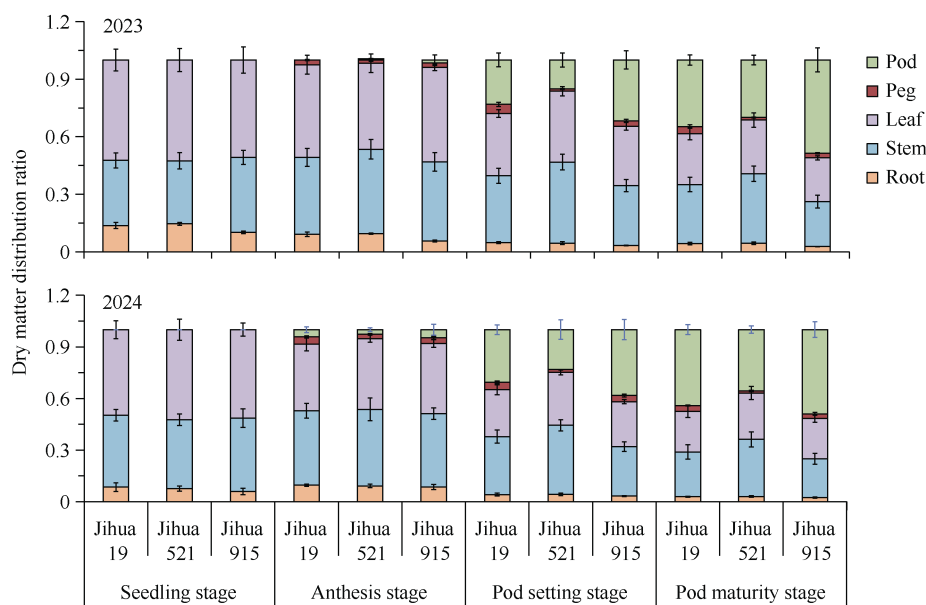


图 1 不同高油酸花生品种干物质积累在各器官的分配比例

Fig. 1 Distribution of dry matter accumulation among plant organs in different high-oleic acid peanut varieties

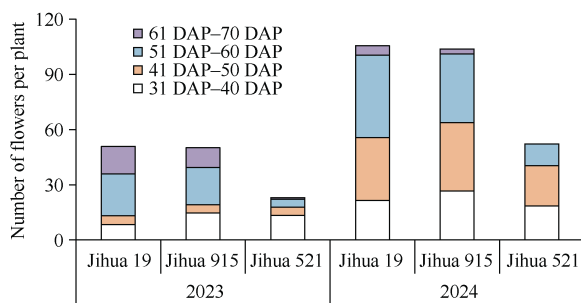
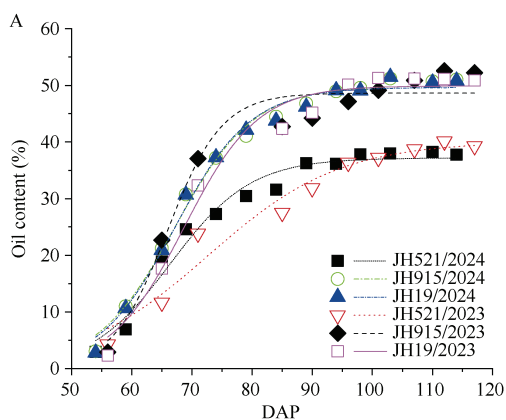


图 2 不同高油酸花生品种单株开花量

Fig. 2 Number of flowers per plant in different high oleic acid peanut varieties

DAP: 播种后天数。DAP: days after planting.



2.4 不同高油酸花生籽仁油分积累特性

3 个品种 2 年油分积累趋势基本一致, 呈现慢-快-慢的变化规律。随着生育期的推进, 冀花 19 号、冀花 915 的油分含量积累逐渐高于冀花 521 (图 3-A)。收获时冀花 915、冀花 19 号的含油量无显著差异, 分别为 51.62%、50.83%, 而冀花 521 的含油量为 38.52%。油酸积累同样表现为前期积累快、后期缓慢的趋势(图 3-B)。冀花 521 的油酸积累比其他 2 个品种相对缓慢, 但 3 个品种间的油酸积累差异比油分积累小。收获时冀花 915、冀花 19 号、

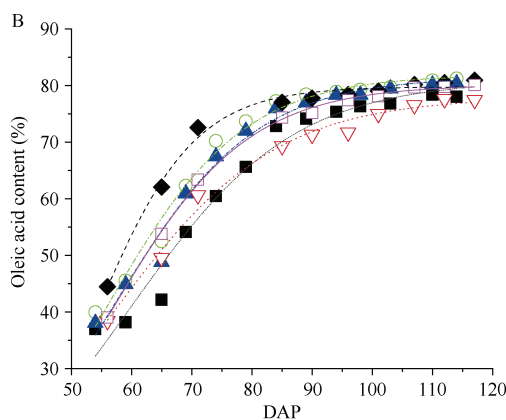


图 3 不同高油酸花生的油分积累和油酸积累

Fig. 3 Oil and oleic acid accumulation in different high-oleic acid peanut varieties

DAP: 播种后的天数。DAP: days after planting.

冀花 521 的油酸含量分别达到 81.08%、80.23%、77.74%。油分、油酸在播种后 90 d 左右基本接近最大值。

利用 Logistic 拟合方程描述籽仁油分、油酸积累动态, 相关系数均大于 0.95 (图 3 和表 4)。从 2 年平均值来看, 冀花 915 的最大油分增长速率为 2.29% d⁻¹, 而冀花 19 号和冀花 521 的最大油分增长速率分别是冀花 915 的 87.34%、50.44%。冀花 915 达到最大油分增长速率的时间、快速积累期持续时间均最短, 分别为 67 d、15 d, 而冀花 521 的最大油分增长速率的时间、快速积累期持续时间分别比冀花 915 长 3 d、8 d。冀花 19 号与冀花 915

的油分积累特征相差不大。油酸的积累特征与油分积累相似, 冀花 915 最大油酸增长速率达到 2.45% d⁻¹, 而冀花 19 号和冀花 521 的最大油酸增长速率分别是冀花 915 的 71.84%、58.37%。冀花 915 达到最大油酸增长速率的时间、快速积累期持续时间均最短, 分别为 55 d、26 d。由上可知, 冀花 915 和冀花 19 号的油分、油酸积累增长速率高、快增期较短, 而冀花 521 的油分、油酸积累快增期长, 但增长速率显著降低, 导致三者油分和油酸出现差异。此外, 油酸达到最大增长速率的时间约比油分早 10 d, 且油酸快速积累期持续时间比油分长约 10 d。

表 4 不同高油酸花生油分、油酸积累方程的特征参数
Table 4 Characteristic parameters of oil and oleic acid accumulation equations in different high-oleic acid peanut varieties

指标 Index	年份 Year	品种 Variety	相关系数 Correlation coefficient	最大增长速率 Maximum growth rate (% d ⁻¹)	到达最大增长速率时间 Time of maximum growth rate (d)
油分积累 Oil accumulation	2023	冀花 19 号 Jihua 19	0.973	2.04	69
		冀花 521 Jihua 521	0.953	0.92	73
		冀花 915 Jihua 915	0.952	2.68	66
	2024	冀花 19 号 Jihua 19	0.989	1.96	67
		冀花 521 Jihua 521	0.973	1.39	66
		冀花 915 Jihua 915	0.990	1.90	67
油酸积累 Oleic acid accumulation	2023	冀花 19 号 Jihua 19	0.998	1.76	57
		冀花 521 Jihua 521	0.988	1.43	56
		冀花 915 Jihua 915	0.990	2.45	54
	2024	冀花 19 号 Jihua 19	0.980	1.73	57
		冀花 521 Jihua 521	0.968	1.49	60
		冀花 915 Jihua 915	0.984	1.82	56
指标 Index	年份 Year	品种 Variety	快速积累起始时间 Initial time of fast accumulation t_1 (d)	快速积累终止时间 End time of fast accumulation t_2 (d)	快速积累期的持续时间 Duration of fast accumulation Δt (d)
油分积累 Oil accumulation	2023	冀花 19 号 Jihua 19	61	77	16
		冀花 521 Jihua 521	58	87	29
		冀花 915 Jihua 915	60	72	12
	2024	冀花 19 号 Jihua 19	59	75	17
		冀花 521 Jihua 521	58	75	18
		冀花 915 Jihua 915	59	76	17
油酸积累 Oleic acid accumulation	2023	冀花 19 号 Jihua 19	42	72	30
		冀花 521 Jihua 521	38	74	36
		冀花 915 Jihua 915	43	65	21
	2024	冀花 19 号 Jihua 19	41	72	31
		冀花 521 Jihua 521	42	77	36
		冀花 915 Jihua 915	41	71	30

3 讨论

品种的优劣取决于农艺性状、群体质量、产量构成因素等各种优良性状的综合表现, 最终表现为高产。合理株型是花生高质量群体构建的基础。高产攻关实践表明, 高产群体主茎高和侧枝长均不超过 45 cm, 分枝数为 10~12 条, 叶面积系数大于 3.0 的持续天数不小于 60 d, 花生群体适宜的叶面积系数峰值约为 5.5^[14,30]。株高过高和 LAI 峰值过大使花生易出现倒伏, 从而导致产量和品质下降。本研究中, 冀花 915 株高小于 40 cm, 分枝数约 10 条, 叶面积指数峰值约 5.6, 符合高产群体的株型特征; 而冀花 521 株高超过 50 cm, LAI 峰值达到 6.67 且持续时间长, 虽有利于光合物质生产但群体过大影响透光率和光能利用率, 群体质量不高。冀花 19 号的各项农艺指标在 3 个品种中居中, 更接近冀花 915。花生开花习性与产量形成密切相关, 生产中多存在花多不结实、果多不整齐的问题。花生盛花期通常出现在播种后 30~45 d^[13]。本研究 3 个品种中, 冀花 915 和冀花 19 号开花较多且持续时间长, 但成果率仅约 21%、16%, 而冀花 521 开花少且集中, 成果率约 44%。因此, 在实际生产中, 应根据品种特性和开花习性, 进行追肥保墒、迎针培土、喷施植物生长调节剂等栽培措施, 增加开花数量和下针率, 控制后期无效花, 提高饱果率, 为产量形成提供保障。

作物经济产量的提高依赖于生物学产量或经济系数的提高, 或者两者同时提高^[11]。经济系数本质是调控源库关系, 强源增库畅流是作物高产的基础。光合物质积累是高产的前提, 但最终能否获得高产还取决于干物质在不同器官的分配比例。许多研究表明, 在一定范围内, 合理增施氮肥、钙肥、单粒精播等措施均可以提高花生干物质积累量及荚果分配比例, 为高产提供物质基础^[17,31]。本研究中, 花生不同生育阶段干物质积累量及其占比、积累速率以结荚期最高, 这与其他研究结果一致^[4,16]。冀花 521 全生育期均保持较高的干物质积累, 尤其是结荚期前群体生长率、光合势以及净同化率均最高, 但由于群体太大且生长旺盛, 干物质多集中在营养器官中, 荚果分配比例少, 不利于后期荚果充实以致产量不高。而高产品种冀花 915, 前期构建合理的群体结构, 自荚果形成后, 群体净同化速率、荚果生长速率、荚果分配比例显著增高, 这些正是高产花生光合性能的显著特点, 故其荚果整齐且产量水平

最高。由上可知, 花生前期光合势大的品种, 产量不一定增加; 中后期应防止营养体即源的冗余生长, 促使干物质合理分配, 从而优化库容促进源库协调, 是保障花生产量提高的重要环节。

花生油脂的形成与干物质积累密切相关, 籽仁油分积累速率与干物质积累速率、含油量呈显著正相关^[4]。花生籽仁油分积累速率受基因型和环境的影响, 油分积累时间和积累速率决定了花生种子含油量^[20]。本研究 3 个高油酸花生品种中, 冀花 915 的油分和油酸的积累速率较高, 能够充分利用结荚期的光热及养分资源, 从而获得较高的含油量和油酸含量, 但其快速积累阶段相对集中且持续天数相对较短。冀花 521 的油分积累速率较慢, 快速积累持续时间虽然长, 但对提升含油量的贡献有限, 故油分含量较低, 这与品种本身基因型(低油高糖型)有关。在油用型花生育种中, 可以考虑在不降低籽仁油分积累速率的前提下, 适当延长油分积累时间, 充分挖掘品种的高油潜力, 这对于进一步提高花生含油量具有重要意义。因此, 结合生产实际, 根据花生品种物质生产和油脂积累特征的差异, 通过调整或优化栽培措施, 比如调整种植密度、保证荚果快速增长长期的水肥供应等, 为产量提高和品质形成提供充足的物质储备, 以达到增产提质的目标。

4 结论

3 个高油酸花生品种在物质生产、产量构成、油脂合成方面存在差异。冀花 915 具有株高矮(<40 cm)、叶面积峰值适宜(约 5.6)、群体质量优、干物质积累多、生育后期荚果分配比例高(48.75%)、荚果增长速率高($133.88 \text{ kg hm}^{-2} \text{ d}^{-1}$)、油分积累速率($2.29\% \text{ d}^{-1}$)和油酸积累速率($2.45\% \text{ d}^{-1}$)较大等突出优势, 是其高产高油高油酸的重要原因。冀花 19 号各项指标居中。冀花 521 产量低与其营养体生长旺盛, 生物产量虽高但荚果分配比低有关。本研究结果可为解析花生高产高油高油酸的形成机制和制定高产高效栽培技术提供理论依据。

References

- [1] 中华人民共和国国家统计局. [2025-03-01], <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01>. National Bureau of Statistics, the People's Republic of China. [2025-03-01], <https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01> (in Chinese).
- [2] 鲁清, 刘浩, 李海芬, 等. 花生含油量全基因组选择及近红外光谱筛选的育种技术探究. 作物学报, 2024, 50: 969–980.

- Lu Q, Liu H, Li H F, et al. Research on oil content screen with genomic selection and near infrared ray in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Acta Agron Sin*, 2024, 50: 969–980 (in Chinese with English abstract).
- [3] 廖伯寿. 我国花生生产发展现状与潜力分析. *中国油料作物学报*, 2020, 42(2): 161–166.
- Liao B S. A review on progress and prospects of peanut industry in China. *Chin J Oil Crop Sci*, 2020, 42(2): 161–166 (in Chinese with English abstract).
- [4] 陈四龙, 程增书, 宋亚辉, 等. 高产高油花生品种的光合与物质生产特征. *作物学报*, 2019, 45: 276–288.
- Chen S L, Cheng Z S, Song Y H, et al. Leaf photosynthesis and matter production dynamic characteristics of peanut varieties with high yield and high oil content. *Acta Agron Sin*, 2019, 45: 276–288 (in Chinese with English abstract).
- [5] 辛明华, 秘雅迪, 王国平, 等. 行距配置和种植密度对棉花干物质生产及产量的影响. *作物学报*, 2025, 51: 221–232.
- Xin M H, Mi Y D, Wang G P, et al. Effect of row spacing configuration and density regulation on dry matter production and yield in cotton. *Acta Agron Sin*, 2025, 51: 221–232 (in Chinese with English abstract).
- [6] 李利利, 张吉旺, 董树亭, 等. 不同株高夏玉米品种同化物积累转运与分配特性. *作物学报*, 2012, 38: 1080–1087.
- Li L L, Zhang J W, Dong S T, et al. Characteristics of accumulation, transition and distribution of assimilate in summer maize varieties with different plant height. *Acta Agron Sin*, 2012, 38: 1080–1087 (in Chinese with English abstract).
- [7] 陈鸽, 谷雨, 文炯, 等. 冬闲杂草还田对水稻光合物质生产和产量的影响. *中国农业科学*, 2025, 58: 647–659.
- Chen G, Gu Y, Wen J, et al. Effects of fallow weeds returning to the field on photosynthetic matter production and yield of rice. *Sci Agric Sin*, 2025, 58: 647–659 (in Chinese with English abstract).
- [8] 魏海燕, 凌启鸿, 张洪程, 等. 作物群体质量及其关键调控技术. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2018, 39(2): 1–9.
- Wei H Y, Ling Q H, Zhang H C, et al. The quality of crop population and its key regulation technology. *J Yangzhou Univ (Agric Life Sci Edn)*, 2018, 39(2): 1–9 (in Chinese with English abstract).
- [9] 陈传永, 侯玉虹, 孙锐, 等. 密植对不同玉米品种产量性能的影响及其耐密性分析. *作物学报*, 2010, 36: 1153–1160.
- Chen C Y, Hou Y H, Sun R, et al. Effects of planting density on yield performance and density-tolerance analysis for maize hybrids. *Acta Agron Sin*, 2010, 36: 1153–1160 (in Chinese with English abstract).
- [10] 王志刚, 高聚林, 张宝林, 等. 内蒙古平原灌区高产春玉米 (15 t hm^{-2} 以上)产量性能及增产途径. *作物学报*, 2012, 38: 1318–1327.
- Wang Z G, Gao J L, Zhang B L, et al. Productivity performance of high-yield spring maize and approaches to increase grain yield (above 15 t hm^{-2}) in irrigated plain of Inner Mongolia. *Acta Agron Sin*, 2012, 38: 1318–1327 (in Chinese with English abstract).
- [11] 吴桂成, 张洪程, 戴其根, 等. 南方粳型超级稻物质生产积累及超高产特征的研究. *作物学报*, 2010, 36: 1921–1930.
- Wu G C, Zhang H C, Dai Q G, et al. Characteristics of dry matter production and accumulation and super-high yield of japonica super rice in South China. *Acta Agron Sin*, 2010, 36: 1921–1930 (in Chinese with English abstract).
- [12] 杨建昌, 杜永, 吴长付, 等. 超高产粳型水稻生长发育特性的研究. *中国农业科学*, 2006, 39: 1336–1345.
- Yang J C, Du Y, Wu C F, et al. Growth and development characteristics of super-high-yielding mid-season Japonica rice. *Sci Agric Sin*, 2006, 39: 1336–1345 (in Chinese with English abstract).
- [13] 李国卫, 秦圣豪, 刘译阳, 等. 花生株型相关性状研究进展. *中国油料作物学报*, 2020, 42: 934–939.
- Li G W, Qin S H, Liu Y Y, et al. Advances in plant architecture studies of peanut. *Chin J Oil Crop Sci*, 2020, 42: 934–939 (in Chinese with English abstract).
- [14] 王才斌, 郑亚萍, 成波, 等. 花生超高产群体特征与光能利用研究. *华北农学报*, 2004, 19(2): 40–43.
- Wang C B, Zheng Y P, Cheng B, et al. The canopy characters and efficiency for solar energy utilization of super high yielding peanut. *Acta Agric Boreali-Sin*, 2004, 19(2): 40–43 (in Chinese with English abstract).
- [15] 吴正锋, 王才斌, 刘俊华, 等. 不同产量水平花生群体特征研究. *花生学报*, 2013, 42(4): 7–13.
- Wu Z F, Wang C B, Liu J H, et al. The population characteristics of peanut with different yield levels. *J Peanut Sci*, 2013, 42(4): 7–13 (in Chinese with English abstract).
- [16] 王建国, 耿耘, 杨佃卿, 等. 单粒精播对中、高产旱地花生群体质量及养分利用的影响. *作物学报*, 2022, 48: 2866–2878.
- Wang J G, Geng Y, Yang D Q, et al. Effects of single seed precision sowing on population quality, nutrient utilization of peanut in medium and high yield drylands. *Acta Agron Sin*, 2022, 48: 2866–2878 (in Chinese with English abstract).
- [17] 张佳蕾, 郭峰, 杨佃卿, 等. 单粒精播对超高产花生群体结构和产量的影响. *中国农业科学*, 2015, 48: 3757–3766.
- Zhang J L, Guo F, Yang D Q, et al. Effects of single-seed precision sowing on population structure and yield of peanuts with super-high yield cultivation. *Sci Agric Sin*, 2015, 48: 3757–3766 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王小纯, 马新明, 常思敏, 等. 不同花生品种荚果发育及有机物积累动态研究. *中国油料作物学报*, 2003, 25: 37–40.
- Wang X C, Ma X M, Chang S M, et al. Effects of electric field treatment on seed germination and enzyme activities under drought stress in oil sunflower seeds. *Chin J Oil Crop Sci*, 2003, 25: 37–40 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张佳蕾, 顾学花, 杨传婷, 等. 不同品质类型花生籽仁脂肪酸积累规律研究. *花生学报*, 2016, 45(2): 33–37.
- Zhang J L, Gu X H, Yang C T, et al. Regularity of fatty acids accumulation in different quality types of peanut seed kernel. *J Peanut Sci*, 2016, 45(2): 33–37 (in Chinese with English abstract).
- [20] 陈四龙, 李玉荣, 徐桂真, 等. 不同高油花生品种(系)油分积累特性的模拟研究. *作物学报*, 2008, 34: 142–149.
- Chen S L, Li Y R, Xu G Z, et al. Simulation on oil accumulation characteristics in different high oil peanut varieties. *Acta Agron Sin*, 2008, 34: 142–149 (in Chinese with English abstract).
- [21] 迟晓元, 郝翠翠, 潘丽娟, 等. 不同花生品种脂肪酸组成及其积累规律的研究. *花生学报*, 2016, 45(3): 32–36.
- Chi X Y, Hao C C, Pan L J, et al. Fatty acid accumulation pattern in different types of peanut. *J Peanut Sci*, 2016, 45(3): 32–36 (in Chinese with English abstract).

- Chinese with English abstract).
- [22] 梁煜莹, 张加羽, 姜骁, 等. 花生品质与气候环境的关系研究. 植物遗传资源学报, 2024, 25: 227–244.
Liang Y Y, Zhang J Y, Jiang X, et al. Study on the relationship between peanut quality and climatic environments. J Plant Genet Resour, 2024, 25: 227–244 (in Chinese with English abstract).
- [23] 李丽, 崔顺立, 穆国俊, 等. 高油酸花生遗传改良研究进展. 中国油料作物学报, 2019, 41: 986–997.
Li L, Cui S L, Mu G J, et al. Research progress of peanut breeding with high oleic acid. Chin J Oil Crop Sci, 2019, 41: 986–997 (in Chinese with English abstract).
- [24] 高伟, 吕登宇, 苗利娟, 等. 高油酸花生品种脂肪及脂肪酸积累动态分析. 中国油料作物学报, 2023, 45: 629–636.
Gao W, Lyu D Y, Miao L J, et al. Dynamic analysis of fat and fatty acid accumulation in peanut varieties with high oleic acid. Chin J Oil Crop Sci, 2023, 45: 629–636 (in Chinese with English abstract).
- [25] 苏俏, 杨永庆, 李玉荣, 等. 高油酸花生籽仁发育过程中脂肪酸动态变化分析. 河北农业大学学报, 2023, 46(4): 1–7.
Su Q, Yang Y Q, Li Y R, et al. Dynamic changes of fatty acid during kernel development in high oleic acid peanut. J Hebei Agric Univ, 2023, 46(4): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- [26] 张佳蕾, 王建国, 李元高, 等. 花生高产攻关实收单产 12,982 kg hm⁻² 技术分析. 中国油料作物学报, 2024, 46: 443–449.
Zhang J L, Wang J G, Li Y G, et al. Technical analysis of peanut high-yield development tackling with 12,982 kg hm⁻². Chin J Oil Crop Sci, 2024, 46: 443–449 (in Chinese with English abstract).
- [27] 邓陈威, 雷亚柯, 张建航, 等. 高油酸花生育种研究进展. 安徽农业科学, 2024, 52(13): 15–18.
Deng C W, Lei Y K, Zhang J H, et al. Research progress in peanut breeding with high oleic acid. J Anhui Agric Sci, 2024, 52(13): 15–18 (in Chinese with English abstract).
- [28] 丁迪, 刘涵, 汪江涛, 等. 间作、轮作对连作花生植株生长、产量及品质的改善效应. 华北农学报, 2024, 39(6): 115–124.
Ding D, Liu H, Wang J T, et al. Improving effects of intercropping and rotation on plant growth, yield and quality of continuous cropping peanut. Acta Agric Boreali-Sin, 2024, 39(6): 115–124 (in Chinese with English abstract).
- [29] 张月, 王志慧, 淮东欣, 等. 花生含油量的遗传基础与 QTL 定位研究进展. 作物学报, 2024, 50: 529–542.
Zhang Y, Wang Z H, Huai D X, et al. Research progress on genetic basis and QTL mapping of oil content in peanut seed. Acta Agron Sin, 2024, 50: 529–542 (in Chinese with English abstract).
- [30] 郑亚萍, 孔显民, 成波, 等. 花生高产群体特征研究. 花生学报, 2003, 32(2): 21–25.
Zheng Y P, Kong X M, Cheng B, et al. Characters of high yielding peanut canopy. J Peanut Sci, 2003, 32(2): 21–25 (in Chinese with English abstract).
- [31] 王建国, 张佳蕾, 郭峰, 等. 钙与氮肥互作对花生干物质和氮素积累分配及产量的影响. 作物学报, 2021, 47: 1666–1679.
Wang J G, Zhang J L, Guo F, et al. Effects of interaction between calcium and nitrogen fertilizers on dry matter, nitrogen accumulation and distribution, and yield in peanut. Acta Agron Sin, 2021, 47: 1666–1679 (in Chinese with English abstract).