

膜下滴灌花生适宜追肥时期和次数研究

侯凯旋, 崔洁亚, 张晓军, 司彤, 王月福, 王铭伦, 邹晓霞*

(青岛农业大学/山东省旱作农业技术重点实验室, 山东青岛 266109)

摘要:【目的】为建立节水省肥高效花生栽培技术体系, 本文研究了膜下滴灌追肥时期和次数对花生生长发育和产量的影响, 明确膜下滴灌条件下花生高产栽培适宜的追肥时期和次数, 探究出适用于花生生产的高效水肥一体化管理方式。【方法】于2017年在青岛农业大学胶州现代科技示范园, 以花生品种青花7号为试材, 进行了一垄双行膜下滴灌施肥田间试验。以不灌水不追肥为对照(CK), 在花生生育期间施肥总量相同的前提下, 设置7种追肥方式, 分别为: 花针期追施1次肥(N), 结荚期追施1次肥(P), 饱果期追施1次肥(F), 花针期和结荚期分别追施1次肥(NP), 花针期和饱果期分别追施1次肥(NF), 结荚期和饱果期分别追施1次肥(PF), 花针期、结荚期和饱果期分别追施1次肥(NPF), 共8个处理。分别于花针期施肥前1天和施肥后12天、结荚期施肥前1天和施肥后12天、饱果期施肥前1天和施肥后12天、收获期取样, 调查入土果针数和未入土果针数、单株荚果数。在收获期测定荚果产量、百果重、百仁重、荚果数、籽仁重、出仁率。【结果】就追肥时期而言, 追肥效果为花针期>结荚期>饱果期; 就追肥次数而言, 2~3次追肥效果优于1次追肥。花生生育期间只追肥1次的情况下, 以花针期追肥增产幅度最高, 结荚期追肥次之, 饱果期追肥最低, 分别较对照增产18%、15%和8%; 花生生育期间追肥2次, 则以花针期和结荚期追肥增产幅度最高, 花针期和饱果期追肥次之, 结荚期和饱果期追肥最低, 分别较对照增产38%、24%和20%; 花生生育期间追肥3次(花针期、结荚期和饱果期), 较对照增产27%。各处理比对照花生百果重分别增加5%、6%、7%、15%、11%、11%、15%; 百仁重分别增加1%、3%、2%、5%、5%、6%和7%; 荚果数分别提高23%、21%、17%、51%、30%、36%和49%; 籽仁重分别提高14%、21%、18%、43%、23%、27%和30%; 出仁率分别提高5%、2%、2%、5%、3%、3%和5%。【结论】在本试验条件下, 追肥时期越早、前期追肥量越大越有利于促进花生果针的形成、入土和结果。综合考虑滴灌追肥成本及效益, 花生生育期内追肥2次, 即在花针期和结荚期追肥对花生生长和产量表现最优, 可作为花生水肥一体高效施肥管理措施。

关键词: 花生; 膜下滴灌; 追肥次数; 追肥时期; 生长发育; 产量

Optimum topdressing timing and frequency for peanut yield under drip fertigation beneath film-mulch

HOU Kai-xuan, CUI Jie-ya, ZHANG Xiao-jun, SI Tong, WANG Yue-fu, WANG Ming-lun, ZOU Xiao-xia*
(Qingdao Agricultural University/Shandong Key Laboratory of Dry Farming Techniques, Qingdao, Shandong 266109, China)

Abstract: 【Objectives】 In order to establish a high efficiency peanut cultivation technology system for water and fertilizer saving, this paper studied the effect of different topdressing timings and frequencies on peanut growth and yield under underneath film mulched drip fertigation. Based on the results, it was determined the suitable topdressing timings and frequencies for high-yield peanut under mulched drip fertigation, and explored a high-efficiency integrated water and fertilizer management mode for peanut production. 【Methods】 A field experiment was conducted using peanut cultivar of *Arachis hypogaea* Linn. cv. Qinghua7 as material in Jiaozhou Modern Science and Technology Demonstrative Plantation of Qingdao Agricultural University in 2017. Plastic

收稿日期: 2018-08-13 接受日期: 2019-05-05

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0201007); 山东省农业良种工程项目(2017LZGC003); 山东省花生现代产业技术体系项目(SDAIT-04-05); 青岛农业大学高层次人才启动基金项目(631409)。

联系方式: 侯凯旋 E-mail: 852913370@qq.com; *通信作者 邹晓霞 E-mail: zzouxiaxia666@126.com

film was mulched on one ridge and a drip irrigation tube was underneath for 2 rows of peanut water supply. Taking no fertigation as control (CK), seven topdressing treatments were set with the same amount of fertilizer, they were: once topdressing in needling period (N), in podding period (P) and in full fruiting period (F), and twice topdressings in needling + podding periods (NP), in needling + full fruiting periods (NF), and in podding + full fruiting periods (PF), and thrice topdressings in needling + podding + full fruiting periods (NPF). Seven samplings were made at 1 day before flower needle stage fertigation and 12 days after, 1 day before podding stage fertigation and 12 days after, 1 day before full fruiting stage fertigation and 12 days after, and harvest period. Needle number intruding soil surface and that still stagnated on ground and fruit number per plant of peanut under different topdressing treatments were investigated and analyzed, and the pod yield, 100-pod weight, 100-seed weight, valid pod number, seed weight per plant and shelling percentage were measured at harvest time. **【 Results 】** As to topdressing timing, the effect of topdressing in the flowering needle period was better than that in pod-setting and full fruiting periods, but as for the topdressing frequency, the effects of twice or thrice topdressings were better than once. In case of once topdressing, treatment N made the highest yield, next to it was P and the lowest was F. Compared to CK, the yield increased by 18.3%, 15.4% and 8.1%, respectively. As for twice topdressing, the highest yield increase was with NP, followed by NF and the lowest was PF. Their yields were increased by 38.0%, 23.7% and 19.7% respectively. The yield under NPF was increased by 26.5%. Compared to CK, the peanut 100-pod weights in treatment N, P, F, NP, NF, PF and NPF were increased by 5%, 6%, 7%, 15%, 11%, 11% and 15%, respectively; 100-seed weights increased by 1%, 3%, 2%, 5%, 5%, 6% and 7%, respectively; the pod number per plant increased by 23%, 21%, 17%, 51%, 30%, 36% and 49%, respectively; seed weights per plant increased by 14%, 21%, 18%, 43%, 23%, 27% and 30%, respectively; and percentage of shelling increased by 5%, 2%, 2%, 5%, 3%, 3% and 5%, respectively. **【 Conclusions 】** Under the conditions of this experiment, earlier and more frequencies of topdressing are conducive to promote the fruit needle formation and intrusion, thus lead to higher biomass and pod yield. Considering the cost and benefit of topdressing, twice topdressings in flowering needle and pod-setting periods is recommended as a high-efficient fertigation measurement for peanut production.

Key words: peanut; drip fertigation underneath film-mulch; topdressing frequency; topdressing timing; growth and development; yield

花生是我国重要的油料作物和经济作物, 在国内油料作物中, 其种植面积仅次于油菜, 且花生油价格高出大豆油和菜子油近 30%, 经济效益十分可观^[1]。近年来, 我国农产品市场受到国际市场不同程度的冲击, 对花生的质量、品种、类型等都提出更高要求, 花生与其他粮油作物争地矛盾也日益突出^[2]。因此, 通过提高单产来增加花生总产量, 是保障花生产品持续供应的根本途径, 对于保障国家粮食安全和食用油料安全具有重要意义。

花生是地上开花地下结果的作物, 由于生产上不利于追肥, 特别当采用覆膜栽培时, 所以在花生生育中后期由于土壤养分供应不足引起的植株早衰现象较为普遍^[3]。且我国农业生产中当季肥料利用率低, 而膜下滴灌技术能够解决花生追肥难和当季肥料利用率低的难题。膜下滴灌技术是一种将滴灌技术与地膜覆盖栽培技术相结合的节水技术, 以其有节水、节能、增产等优点在干旱半干旱地区得到广

泛应用^[4]。分次滴灌追肥可以在不破坏土壤结构的前提下给花生持续提供肥料, 不仅能够使作物更易于吸收肥料中的养分, 而且能够满足不同生育时期对养分的需求, 可提高肥料利用率^[5]。陈天宇^[6]研究发现三次等比例追施氮肥, 追氮量 120 kg/hm² 时, 可有效提高玉米的氮素吸收、氮素利用率和干物质积累, 显著增加玉米籽粒产量。栾春胜和任大赫^[7]研究发现, 烟草叶色随追肥次数的增加而加深, 在烟株农艺性状上追肥处理明显优于不追肥处理, 且追肥两次的处理表现最好。丁宁等^[8]研究分次追施氮肥对苹果叶片¹⁵N 吸收利用的影响, 发现分次追肥可提高氮肥利用率, 且三次追肥效果优于二次追肥。施用氮肥对花生营养生长有一定促进作用, 钙肥会抑制花生营养生长, 对防止旺长和倒伏有利, 施肥有利于改善花生株型, 避免分枝过多而影响通风透光^[9]。施用硼肥对促进植株生长发育、提高荚果产量和改善品质均有明显的效果^[10-12]。目前关于膜下滴灌技术

在玉米、棉花、烤烟、果树等^[13-16]作物上已有较多研究,在花生上虽然也已有研究报道,但多是在某一时期或是对某一种肥料的研究,而膜下滴灌追肥时期和次数对花生生长发育和产量的影响鲜有报道。因此,本试验在大田膜下滴灌条件下,设置不同时期追肥组合,研究了追肥时期和次数对花生生长发育和产量的影响,旨在明确花生高产的适宜追肥时期和次数,为花生节水省肥高效栽培体系的建立提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试花生品种为青花7号,肥料种类为尿素(U)(总氮 $\geq 46.4\%$,由阳煤平原化工有限公司提供)、硝酸钙(Ca)(分析纯 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O} \geq 99.0\%$,由天津市鼎盛鑫化工有限公司提供)和硼砂(B)(分析纯,由天津市恒兴化学试剂制造有限公司提供)。供试土壤为砂姜黑土,0—20 cm 土层土壤含有有机质1.15%、碱解氮55.9 mg/kg、速效磷31.8 mg/kg、速效钾80.4 mg/kg、交换性钙5.09 g/kg,有效硼0.87 mg/kg, pH 7.68。

1.2 试验设计

试验于2017年在青岛农业大学胶州现代科技示范园(36.45° N, 120.09° E)进行。试验区属暖温带季风气候,雨热同季,降水集中,花生生育期总降水量428 mm,5~9月降水量依次为3.9、111.9、

138.1、144.1和29.8 mm。采用膜下滴灌方式,在统一施复合肥(N:P:K=15:15:15)300 kg/hm²的基础上,在生育期间设置不灌水不追肥对照(CK),花针期追施1次肥(N),结荚期追施1次肥(P),饱果期追施1次肥(F),花针期和结荚期分别追施1次肥(NP),花针期和饱果期分别追施1次肥(NF),结荚期和饱果期分别追施1次肥(PF),花针期、结荚期和饱果期分别追施1次肥(NPF),共8个处理。各处理追肥种类和总量相同,追肥种类和数量见表1。种植方式为起垄覆膜覆盖膜下铺设滴灌带,垄宽0.9 m,垄上种2行,垄上行距30 cm,穴距16.5 cm,每穴2粒,滴灌带铺设于垄上中间。于5月8日进行机播,9月13日收获。其它田间管理同大田生产。试验共8个处理,设3次重复,共24个小区,随机排列,小区面积54 m²(20 m × 2.7 m)。

1.3 测定项目与方法

分别于花针期施肥前1 d和施肥后12 d、结荚期施肥前1 d和施肥后12 d、饱果期施肥前1 d和施肥后12 d及收获期取样。每次每小区取长势一致、有代表性的植株5株,调查入土果针数和未入土果针数、单株荚果数等。收获期每处理每重复选择代表性地段连续收获20穴,将荚果摘入网袋,自然晾晒,测定荚果产量、百果重、百仁重、荚果数、籽仁重、出仁率等。

1.4 数据处理

数据处理采用Microsoft Excel 2010和SAS 9.0软件,显著性测验采用LSD方法。

表1 各处理在花生三个生育期追肥种类和数量(kg/hm²)

Table 1 Variety and quantity of fertilizers used for topdressing in the three growing stages of each treatment

| 处理 Treatment | 花针期 Needling period | | | 结荚期 Podding period | | | 饱果期 Full fruit period | | |
|-----------------|---------------------|----------|-----------------------------------|--------------------|----------|-----------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------------------|
| | 尿素 Urea | 硼砂 Borax | Ca(NO ₃) ₂ | 尿素 Urea | 硼砂 Borax | Ca(NO ₃) ₂ | 尿素 Urea | 硼砂 Borax | Ca(NO ₃) ₂ |
| CK | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| N | 129.8 | 14.9 | 131.6 | | | | | | |
| P | | | | 129.8 | 14.9 | 131.6 | | | |
| F | | | | | | | 129.8 | 14.9 | 131.6 |
| NP | 64.9 | 7.46 | 65.8 | 64.9 | 7.46 | 65.8 | | | |
| NF | 64.9 | 7.46 | 65.8 | | | | 64.9 | 7.46 | 65.8 |
| PF | | | | 64.9 | 7.46 | 65.8 | 64.9 | 7.46 | 65.8 |
| NPF | 43.3 | 4.93 | 43.7 | 43.3 | 4.93 | 43.7 | 43.3 | 4.93 | 43.7 |

注 (Note): CK—不浇水不施肥 No fertigation; N—花针期灌水追肥 Once topdressing at needling stage; P—结荚期灌水追肥 Once topdressing at podding stage; F—饱果期灌水追肥 Once topdressing at full fruiting stage; NP—花针、结荚期灌水追肥两次 Twice topdressing at needling and podding stage; NF—花针+饱果灌水追肥 Twice topdressing at needling and full fruiting stage; PF—结荚+饱果灌水追肥 Twice topdressing at podding and full fruiting stage; NPF—花针+结荚+饱果灌水追肥 Thrice topdressing at the three stages.

2 结果与分析

2.1 追肥时期和次数对花生果针数的影响

随着花生生育进程的推进, 各处理花生入土果针数和未入土果针数均呈现逐渐增加的变化趋势(表 2), 其中生育前期增长迅速到后期增长缓慢, 至

成熟期达到最大值。追肥处理花生最终入土果针数均显著高于对照; 而除饱果期追肥花生最终未入土果针数与对照差异不显著外, 其他追肥处理均显著高于对照, 其中最终入土果针数和未入土果针数都以花针期+结荚期+饱果期追肥为最多。

花生生育期间只追肥 1 次, 花针期追肥后 12 d

表 2 不同追肥时期和次数处理各取样期花生果针数 (No./plant)

Table 2 Needles per peanut plant of each sampling time under different topdressing timing and frequency treatments

| 项目 Item | 处理 Treatment | 花针期 Needling period | | 结荚期 Podding period | | 饱果期 Full fruit period | | 收获期 Harvest period |
|-----------------------------------|-----------------|--|--|--|--|--|--|-----------------------|
| | | 追肥前 1 天 1 day before topdressing | 追肥后 12 天 12 days after topdressing | 追肥前 1 天 1 day before topdressing | 追肥后 12 天 12 days after topdressing | 追肥前 1 天 1 day before topdressing | 追肥后 12 天 12 days after topdressing | |
| 入土果针数 Needles into soil | CK | 16.25 a | 24.90 b | 32.63 c | 36.13 e | 38.83 c | 39.73 d | 40.09 d |
| | N | 16.25 a | 34.20 a | 39.75 a | 44.38 ab | 45.17 ab | 45.50 ab | 45.93 b |
| | P | 16.25 a | 24.90 b | 32.63 c | 43.13 bc | 44.00 b | 44.73 b | 44.90 b |
| | F | 16.25 a | 24.90 b | 32.63 c | 36.13 e | 38.83 c | 41.40 c | 42.13 c |
| | NP | 16.25 a | 33.30 a | 37.88 ab | 45.38 a | 46.03 a | 46.20 a | 46.63 ab |
| | NF | 16.25 a | 33.30 a | 37.88 ab | 39.25 d | 39.83 bc | 42.03 c | 43.27 bc |
| | PF | 16.25 a | 24.90 b | 32.63 c | 37.25 e | 39.33 bc | 42.77 c | 43.57 bc |
| | NPF | 16.25 a | 30.50 ab | 35.63 b | 42.00 c | 43.56 b | 45.67 ab | 47.03 a |
| 未入土果针数 Needles above ground | CK | 7.00 a | 7.20 b | 10.38 b | 12.38 b | 18.50 d | 19.07 c | 19.67 c |
| | N | 7.00 a | 9.50 a | 12.25 a | 17.50 a | 20.03 bc | 21.19 bc | 21.67 b |
| | P | 7.00 a | 7.20 b | 10.38 b | 17.38 a | 19.03 cd | 20.17 bc | 20.83 bc |
| | F | 7.00 a | 7.20 b | 10.38 b | 12.38 b | 18.50 d | 19.53 c | 20.30 bc |
| | NP | 7.00 a | 8.70 ab | 11.75 ab | 18.38 a | 23.00 a | 23.13 a | 23.33 a |
| | NF | 7.00 a | 8.70 ab | 11.75 ab | 16.88 a | 20.75 bc | 22.17 ab | 22.23 ab |
| | PF | 7.00 a | 7.20 b | 10.38 b | 14.13 b | 20.25 bc | 22.09 ab | 22.33 ab |
| | NPF | 7.00 a | 8.50 ab | 11.38 ab | 17.13 a | 21.00 b | 22.73 a | 23.67 a |
| 合计 Total | CK | 23.25 a | 32.10 c | 43.01 b | 48.50 d | 57.30 c | 58.81 c | 59.72 c |
| | N | 23.25 a | 43.70 a | 52.00 a | 61.86 ab | 65.20 ab | 66.69 b | 67.63 ab |
| | P | 23.25 a | 32.10 c | 43.01 b | 60.51 ab | 63.03 ab | 64.88 bc | 65.69 b |
| | F | 23.25 a | 32.10 c | 43.01 b | 48.50 d | 57.33 c | 60.94 bc | 62.42 bc |
| | NP | 23.25 a | 42.00 ab | 49.62 ab | 63.77 a | 69.05 a | 69.35 a | 69.95 a |
| | NF | 23.25 a | 42.00 ab | 49.62 ab | 56.11 b | 60.59 b | 64.20 bc | 65.51 b |
| | PF | 23.25 a | 32.10 c | 43.01 b | 51.38 c | 59.57 b | 64.85 bc | 65.88 b |
| | NPF | 23.25 a | 39.00 b | 47.02 ab | 59.13 ab | 64.55 ab | 68.39 a | 70.69 a |

注 (Note): CK—不浇水不施肥 No fertigation; N—花针期灌水追肥 Once topdressing at needling stage; P—结荚期灌水追肥 Once topdressing at podding stage; F—饱果期灌水追肥 Once topdressing at full fruiting stage; NP—花针、结荚期灌水追肥两次 Twice topdressing at needling and podding stage; NF—花针+饱果灌水追肥 Twice topdressing at needling and full fruiting stage; PF—结荚+饱果灌水追肥 Twice topdressing at podding and full fruiting stage; NPF—花针+结荚+饱果灌水追肥 Thrice topdressing at needling, podding and full fruiting stage. 同列数据后不同字母分别表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

入土果针数和未入土果针数较对照分别增加 37% 和 32%，结荚期追肥后 12 d 入土果针数和未入土果针数较对照分别增加 19% 和 40%，饱果期追肥后 12 d 入土果针数和未入土果针数较对照分别增加 4% 和 2%，最终入土果针数较对照分别增加 15%、12% 和 5%，最终未入土果针数较对照分别增加 10%、6% 和 3%。

花生生育期间追肥 2 次，以花针期+结荚期追肥促进花生入土果针和未入土果针形成的幅度最大，其次为结荚期和饱果期追肥，花针期和饱果期追肥最小，最终入土果针数较对照分别增加 16%、8% 和 8%；最终未入土果针数较对照分别增加 19%、14% 和 13%。

另在同一时期追肥表现为随着追肥量的增大入土果针数和未入土果针数逐渐增多，如花针期追肥后 12 d，花针期追肥、花针期+结荚期追肥、花针期+结荚期+饱果期追肥的入土果针数分别较对照增加 37%、34% 和 22%。

随着花生生育进程的推进，各处理花生总果针数均呈现逐渐增加的变化趋势，至成熟期达到最大值。除饱果期追肥花生最终总果针数与对照差异不显著外，其他追肥处理均显著高于对照，其中花生最终总果针数以花针期+结荚期追肥和花针期+结荚期+饱果期追肥为最多，但与追肥 1 次花针期追肥差

异不显著。

花生生育期间只追肥 1 次，花针期追肥后 12 d 总果针数较对照增加 36%，结荚期追肥后 12 d 总果针数较对照增加 25%，饱果期追肥后 12 d 总果针数较对照增加 4%，最终总果针数较对照分别增加 13%、10% 和 5%。

花生生育期间追肥 2 次，以花针期和结荚期追肥促进花生总果针数形成的幅度最大，其次为结荚期和饱果期追肥，花针期和饱果期追肥最小，最终总果针数较对照分别增加 17%、10% 和 10%。

另在同一时期追肥表现为随着追肥量的增大总果针数逐渐增多，如花针期追肥后 12 d，花针期追肥、花针期+结荚期追肥、花针期+结荚期+饱果期追肥的总果针数分别较对照增加 36%、31% 和 22%。

由此说明，分次追肥和追肥时期越早、前期追肥量越大越有利于促进花生果针的形成，饱果期追肥对花生果针形成的影响已不再显著。

2.2 追肥时期和次数对花生结果数的影响

随着花生生育进程的推进，各处理花生单株结果数均呈现逐渐增加的变化趋势，至成熟期达到最大值(表 3)。除饱果期追肥花生最终单株结果数与对照差异不显著外，其他追肥处理均显著高于对照，其中最终单株结果数以花针期+结荚期+饱果期追肥为最高，但与追肥 2 次花针期+结荚期追肥的最终单

表 3 不同滴灌追肥时期和次数各取样时期花生单株结果数 (No./plant)

Table 3 Pod number per peanut plant of each sampling time under different topdressing timing and frequency treatments

| 处理 Treatment | 花针期追肥前 1 天 1 day before topdressing in needling period | 结荚期 Podding period | | 饱果期 Full fruit period | |
|-----------------|--|--|--|--|--|
| | | 追肥前 1 天 1 day before topdressing | 追肥后 12 天 12 days after topdressing | 追肥前 1 天 1 day before topdressing | 追肥后 12 天 12 days after topdressing |
| CK | 3.56 a | 14.63 c | 16.00 c | 19.00 d | 20.67 d |
| N | 4.22 a | 17.88 a | 20.13 a | 23.00 ab | 23.50 bc |
| P | 3.56 a | 14.63 c | 19.75 a | 22.63 abc | 23.00 bc |
| F | 3.56 a | 14.63 c | 16.00 c | 19.00 d | 22.67 cd |
| NP | 4.11 a | 16.25 b | 20.38 a | 24.00 a | 25.00 ab |
| NF | 4.11 a | 16.25 b | 19.13 ab | 21.13 bed | 23.83 bc |
| PF | 3.56 a | 14.63 c | 18.25 b | 20.13 cd | 23.67 bc |
| NPF | 3.67 a | 15.75 bc | 19.50 ab | 22.43 abc | 26.50 a |

注 (Note): CK—不浇水不施肥 No fertigation; N—花针期灌水追肥 Once topdressing at needling stage; P—结荚期灌水追肥 Once topdressing at podding stage; F—饱果期灌水追肥 Once topdressing at full fruiting stage; NP—花针、结荚期灌水追肥两次 Twice topdressing at needling and podding stage; NF—花针+饱果灌水追肥 Twice topdressing at needling and full fruiting stage; PF—结荚+饱果灌水追肥 Twice topdressing at podding and full fruiting stage; NPF—花针+结荚+饱果灌水追肥 Thrice topdressing at needling, podding and full fruiting stage. 同列数据后不同字母分别表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

株结果数差异均未达到显著水平。

花生生育期间只追肥 1 次, 花针期追肥后 12 d 单株结果数较对照增加 19%, 结荚期追肥后 12 d 单株结果数较对照增加 23%, 饱果期追肥后 12 d 单株结果数较对照增加 10%, 最终单株结果数较对照分别增加 14%、11% 和 10%。

花生生育期间追肥 2 次, 以花针期和结荚期追肥促进花生单株结荚数的幅度最大, 其次为花针期和饱果期追肥, 结荚期和饱果期追肥最小, 最终单株结荚数较对照分别增加 21%、15% 和 15%。

另在同一时期追肥表现为随着追肥量的增大单株结荚数逐渐增多, 如花针期追肥后 12 d, 花针期追肥、花针期+结荚期追肥、花针期+结荚期+饱果期追肥的单株结荚数分别较对照增加 19%、15% 和 3%。说明追肥时期越早、前期追肥量越大和分次追肥越有利于促进花生单株结果, 饱果期追肥对单株结果数的影响已不再显著。

2.3 追肥时期和次数对花生产量及其构成因素的影响

膜下滴灌条件下分次追肥均显著提高荚果产量、百果重、百仁重、荚果数和出仁率(表 4)。除结荚期追肥和饱果期追肥处理外, 其余追肥处理的荚果产量均与对照差异显著。

其中, 花生生育期间只追肥 1 次, 在花针期追肥、结荚期追肥、饱果期追肥处理荚果产量较对照分别增加 18%、15% 和 8%。生育期间追肥 2 次, 花

针期+结荚期追肥、花针期+饱果期追肥、结荚期+饱果期追肥处理荚果产量较对照分别增加 38%、24% 和 20%。生育期间追肥 3 次的花针期+结荚期+饱果期追肥处理荚果产量较对照增加 26.54%, 说明分次追肥可以显著提高花生产量。通过提高花生的百果重、百仁重、荚果数、籽仁重和出仁率提高荚果产量, 各处理花生百果重分别增加 5%、6%、7%、15%、11%、11%、15%; 百仁重分别增加 1%、3%、2%、5%、5%、6% 和 7%; 荚果数分别提高 23%、21%、17%、51%、30%、36% 和 49%; 籽仁重分别提高 14%、21%、18%、43%、23%、27% 和 30%; 出仁率分别提高 5%、2%、2%、5%、3%、3% 和 5%。花针期+结荚期追肥和花针期+结荚期+饱果期追肥的各产量构成因素均表现优异且两者之间差异不显著。从滴灌追肥成本及效益方面考虑, 认为花针期+结荚期追肥更适用于花生实际生产。

3 讨论与结论

有研究表明, 生育前期追肥可保证花生苗期营养生长, 但对后期花针发育影响较小; 花针期追肥有利于植株健壮生长, 增加叶面积、有效花、有效果针和有效分枝数量, 从而改善源库结构和功能, 利于干物质积累为荚果发育和产量形成奠定基础; 而生育后期在结荚期追肥, 因地上部形态建成已基本完成, 此时追肥对地上部的发育影响较小^[7]。魏正

表 4 不同滴灌追肥时期和次数下花生产量及其构成因素

Table 4 Yield and yield components of peanut under different topdressing timing and frequency treatments

| 处理 Treatment | 荚果产量 (kg/hm ²) Pod yield | 百果重 (g) 100-pod weight | 百仁重 (g) 100-seed weight | 荚果数 (No./plant) Valid pods | 籽仁产量 (g/plant) Seed yield | 出仁率 (%) Shelling |
|-----------------|---|---------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------|
| CK | 4588.24 c | 215.11 c | 93.52 c | 22.00 c | 20.13 c | 68.82 c |
| N | 5431.37 b | 226.16 bc | 94.67 bc | 27.00 abc | 22.88 bc | 72.34 a |
| P | 5294.12 bc | 227.33 bc | 96.44 bc | 26.67 bc | 24.28 bc | 70.11 bc |
| F | 4960.78 bc | 230.29 abc | 95.77 bc | 25.67 bc | 23.66 bc | 70.10 bc |
| NP | 6333.34 a | 248.09 a | 97.73 b | 33.17 a | 28.73 a | 72.14 ab |
| NF | 5677.06 ab | 239.16 ab | 98.06 ab | 28.67 ab | 24.75 bc | 70.71 bc |
| PF | 5490.20 b | 239.42 ab | 99.15 a | 30.00 ab | 25.63 ab | 71.19 b |
| NPF | 5805.88 ab | 248.14 a | 100.02 a | 32.80 a | 26.26 a | 72.18 ab |

注 (Note): CK—不浇水不施肥 No fertigation; N—花针期灌水追肥 Once topdressing at needling stage; P—结荚期灌水追肥 Once topdressing at podding stage; F—饱果期灌水追肥 Once topdressing at full fruiting stage; NP—花针、结荚期灌水追肥两次 Twice topdressing at needling and podding stage; NF—花针+饱果灌水追肥 Twice topdressing at needling and full fruiting stage; PF—结荚+饱果灌水追肥 Twice topdressing at podding and full fruiting stage; NPF—花针+结荚+饱果灌水追肥 Thrice topdressing at needling, podding and full fruiting stage. 同列数据后不同字母分别表示处理间差异显著 ($P < 0.05$) Different letters in the same column indicate significant differences among treatments ($P < 0.05$).

文^[18]对不同滴灌施肥下花生生理性状与产量的研究表明, 分别在花针期与饱果期滴灌一次可满足花生生育中后期的营养需求, 在春早年份苗期也可滴灌1次达到保全苗的目的。曾勇军等^[19]研究发现, 分次追施氮肥有利于促进壮秆的形成和塑造理想株型, 有利于结实期物质的生产。岳寿松等^[20]研究结果表明, 不同生育时期施氮延长了籽粒线性增重的持续期, 提高了粒重, 增加了籽粒产量。张翔等^[21]对夏花生施氮时期的研究也发现, 基肥加苗期追肥和花针期追肥可以明显提高花生产量, 还可提高氮肥利用率, 结荚期施氮对营养体增加效果不显著^[22], 花生后期叶面喷肥对产量增加有一定效果^[23]。

本试验结果表明, 追肥时期越早、前期追肥量越大和分次追肥越有利于促进花生生长, 分次追肥能够提高花生产量, 而在饱果期追肥对花生生长的影响已不再显著。分次追肥可持续提供生育中后期生长所需养分不致于脱肥, 1次追肥处理荚果产量较对照提高8%~18%, 2次追肥处理荚果产量较对照提高20%~38%, 3次追肥处理荚果产量较对照提高27%。其中1次追肥中花针期表现效果较好, 这与前人研究结果^[24]基本一致。分期施氮通过提高花生的饱果率、饱仁率和出仁率提高花生的荚果产量, 结荚期和基施施氮提高了花生百果重和百仁重, 结荚期和饱果期施肥能够提高花生饱果率和饱仁率^[25]。而在分次追肥处理中追肥2次的花针期+结荚期追肥和追肥3次的花针期+结荚期+饱果期追肥处理在果针数、结果数以及产量方面表现优异, 从滴灌追肥成本及效益方面考虑, 花生生产上可选用花针期和结荚期两个时期灌水追肥。

有研究^[4]表明, 在降雨300 mm的枯水年, 补灌量和补灌次数适当的增加对花生增产具有一定的效果, 花生生育期间的降雨量对花生生长和产量有影响。本试验是在大田条件下进行, 更能模拟生产实际, 同时也不能避免降雨、高温等不可控因素。当年花生生长期降水较充沛, 但本试验在追肥过程中保持各处理灌水量相同, 因此在同等的水分条件下, 得出的施肥方案仍具有一定的指导性。

参 考 文 献:

- [1] 章胜勇, 李崇光. 我国花生生产的比较优势分析[J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2005, (1): 11-15.
Zhang S Y, Li C G. The comparative advantage analysis on the peanut production of China[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2005, (1): 11-15.
- [2] 杜红亮, 费洪平, 宋金平. 我国花生产业优势与问题分析[J]. *花生*

学报, 2003, 32(3): 8-14.

Du H L, Fei H P, Song J P. An analysis of advantages and disadvantages of peanut industry in China[J]. *Journal of Peanut Science*, 2003, 32(3): 8-14.

- [3] 杨海棠, 王伟, 马东波. 中国北方地区花生栽培技术的研究进展[J]. *中国农学通报*, 2004, 20(4): 169-170, 176.
Yang H T, Wang W, Ma D B. Advances in the research of peanut cultivation in northern China[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2004, 20(4): 169-170, 176.
- [4] 夏桂敏, 陈高明, 陈锋, 等. 膜下滴灌的不同补灌处理对花生田间水分、耗水量及产量的影响[J]. *沈阳农业大学学报*, 2015, 46(6): 713-718.
Xia G M, Chen G M, Chen F, *et al.* The impact of different supplemental irrigation treatments on water content, water consumption and yield in peanut field under film-mulched drip irrigation[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2015, 46(6): 713-718.
- [5] 胡宝忱, 李绍会. 花生膜下滴灌节水高产栽培技术[J]. *园艺与种苗*, 2013, (5): 6-8.
Hu B C, Li S H. Water saving and high yield cultivation techniques of peanut with drip irrigation under plastic membrane[J]. *Horticulture & Seed*, 2013, (5): 6-8.
- [6] 陈天宇. 膜下滴灌施氮次数与施氮量对玉米产量和氮素积累的影响[D]. 黑龙江大庆: 黑龙江八一农垦大学博士学位论文, 2016.
Chen T Y. Effects of nitrogen and nitrogen times on maize yield and nitrogen accumulation under mulched drip irrigation[D]. Daqing, Heilongjiang: PhD Dissertation of Heilongjiang Bayi Agricultural University, 2016.
- [7] 栾春胜, 任大赫. 不同追肥次数对烤烟产质量的影响[A]. 中国烟草学会. 中国烟草学会2016年度优秀论文汇编—烟草农业主题[C]. 北京: 中国烟草学会, 2016.
Luan C S, Ren D H. Effect of different application times on yield quality of flue-cured tobacco[A]. China Tobacco Society. China Tobacco Society in 2016: tobacco agriculture theme[C]. Beijing: China Tobacco Society, 2016.
- [8] 丁宁, 姜远茂, 彭福田, 等. 分次追施氮肥对红富士苹果叶片衰老及15N吸收、利用的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(3): 758-764.
Ding N, Jiang Y M, Peng F T, *et al.* Studies on leaf senescence and 15N-urea absorption and utilization of 'Fuji' apple in response to topdressing nitrogen application[J]. *Plant Nutrition Fertilizer Science*, 2012, 18(3): 758-764.
- [9] 周录英. 不同肥料运筹对花生生理性状及产量品质的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学博士学位论文, 2006.
Zhou L Y. The effect of operational applying different fertilizer on some physiological characteristics and yield and kernel quality of peanut[D]. Tai'an, Shandong: PhD Dissertation of Shandong Agricultural University, 2006.
- [10] 赵志强. 花生钼营养研究综述[J]. *花生科技*, 1997, (3): 23-26.
Zhao Z Q. Review of studies on peanut molybdenum nutrition[J]. *Peanut Science and Technology*, 1997, (3): 23-26.
- [11] 杜应琼, 廖新荣, 黄志尧, 等. 硼钼对花生氮代谢的影响[J]. *作物学报*, 2010, 36(4): 645-654.

- Du Y Q, Liao X R, Huang Z Y, *et al.* Effect of boron and molybdenum on nitrogen metabolism of peanut[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2010, 36(4): 645–654.
- [12] 杜应琼, 廖新荣, 何江华, 等. 施用硼钼对花生生长发育和产量的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2002, 8(2): 229–233.
- Du Y Q, Liao X R, He J H, *et al.* Effects of boron and molybdenum on growth and yield of peanut[J]. *Plant Nutrition Fertilizer Science*, 2002, 8(2): 229–233.
- [13] 李晓玲, 刘普海, 成自勇, 等. 不同灌溉方式下玉米节水增产效果实验研究[J]. *节水灌溉*, 2001, 12(3): 7–9.
- Li X L, Liu P H, Cheng Z Y, *et al.* Experimental research on effect of water-saving and yield increase for maize under different irrigation techniques[J]. *Water Saving Irrigation*, 2001, 12(3): 7–9.
- [14] 刘一龙, 张忠学, 郭亚芬, 等. 膜下滴灌条件下不同灌溉制度的玉米产量与水分利用效应[J]. *东北农业大学学报*, 2010, 41(10): 53–56.
- Liu Y L, Zhang Z X, Guo Y F, *et al.* Corn yield and water using efficiency of different irrigation schedule with the drip irrigation under mulch[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2010, 41(10): 53–56.
- [15] 刘建国, 吕新, 王登伟, 等. 膜下滴灌对棉田生态环境及作物生长的影响[J]. *中国农学通报*, 2005, 21(3): 333–335.
- Liu J G, Lv X, Wang D W, *et al.* Effects of drip irrigation under mulch film on environment factors and growth on cotton field[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(3): 333–335.
- [16] 王洪云, 王德勋, 单沛祥, 等. 烟草膜下滴灌试验研究[J]. *中国烟草科学*, 2011, 32(5): 42–46.
- Wang H Y, Wang D X, Shan P X, *et al.* Studies on tobacco drip irrigation under plastic cover[J]. *Chinese Tobacco Science*, 2011, 32(5): 42–46.
- [17] 张甜, 毕振方, 戴常青, 等. 不同时期追肥对花生植株生长动态的影响[J]. *山东农业科学*, 2018, 50(6): 130–134.
- Zhang T, Bi Z F, Dai C Q, *et al.* Effects of topdressing in different periods on growth dynamics of peanut plants[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018, 50(6): 130–134.
- [18] 魏正文. 膜下滴灌条件下不同滴肥对花生生理性状与产量的影响[J]. *耕作与栽培*, 2014, (6): 22–24.
- Wei Z W. Effects of different fertilizer on physiological traits and yield of peanut under mulch drip irrigation conditions[J]. *Tillage and Cultivation*, 2014, (6): 22–24.
- [19] 曾勇军, 吕伟生, 潘晓华, 等. 氮肥追施方法和追用时期对超级早稻株型及物质生产的影响[J]. *作物学报*, 2014, 40(11): 2008–2015.
- Zeng Y J, Lv W S, Pan X H, *et al.* Effects of nitrogen topdressing method and time on plant type and dry mass production of super early-rice[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2014, 40(11): 2008–2015.
- [20] 岳寿松, 于振文, 余松烈, 等. 不同生育时期施氮对冬小麦旗叶衰老和粒重的影响[J]. *中国农业科学*, 1997, 30(2): 43–47.
- Yue S S, Yu Z W, Yu S L, *et al.* Effects of nitrogen application at different growth stages on the senescence of flag leaves and grain yield in winter wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1997, 30(2): 43–47.
- [21] 张翔, 毛家伟, 司贤宗, 等. 施氮时期对夏花生产量及氮素吸收利用的影响[J]. *中国油料作物学报*, 2015, 37(6): 166–170.
- Zhang X, Mao J W, Si X Z, *et al.* Effects of nitrogen application dates on yield and nitrogen use efficiency of summer peanut[J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2015, 37(6): 166–170.
- [22] 万书波, 张思苏, 刘光臻, 等. 应用¹⁵N示踪法对花生氮肥施用时期和方法的研究[J]. *花生科技*, 1989, 3: 26–29.
- Wan S B, Zhang S S, Liu G Z, *et al.* Study on the application time and method of nitrogen fertilizer in peanut by ¹⁵N tracer method[J]. *Peanut Science and Technology*, 1989, 3: 26–29.
- [23] 张翔, 李刘杰, 张新友, 等. 花生氮素营养研究进展[J]. *花生学报*, 2010, 39(2): 41–44.
- Zhang X, Li L J, Zhang X Y, *et al.* Review of advance in research on nitrogen nutrition for peanut[J]. *Journal of Peanut Science*, 2010, 39(2): 41–44.
- [24] 毕振方, 杨富军, 闫萌萌, 等. 不同追肥时期对花生光合特性及产量的影响[J]. *农学学报*, 2011, 1(9): 6–10.
- Bi Z F, Yang F J, Yan M M, *et al.* Effects of different top-dressing time on photosynthetic physiological properties and yield of peanut[J]. *Journal of Agriculture*, 2011, 1(9): 6–10.
- [25] 王立峰. 滴灌条件下施氮时期对花生生理特性、产量和品质的影响[D]. 山东泰安: 山东农业大学博士学位论文, 2016.
- Wang L F. Effect on peanut leaf physiological characters, yield and seed quality under nitrogen drip fertilizer in different stages[D]. Tai'an: PhD Dissertation of Shandong Agricultural University, 2016.