

保水剂对露地栽培花生产量和品质的影响

厉广辉, 李长生, 王兴军, 赵传志, 赵术珍, 侯 蕾*

(山东省农业科学院 生物技术研究中心/山东省作物遗传改良与生态生理重点实验室, 济南 250100)

摘 要: 该研究设置覆膜和露地施用不同量保水剂处理($75\text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $150\text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $225\text{ kg}\cdot\text{km}^{-2}$), 以露地栽培为对照, 研究不同保水剂用量和覆膜对花生荚果成熟饱满度、产量和营养品质的影响, 为旱地花生合理使用保水剂及开发新型节水栽培技术提供理论依据。结果显示: (1) 保水剂施用量在 $75\sim 225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, 花生荚果产量较对照提高 $3.48\%\sim 16.01\%$, 且随施用量增加呈先增加后降低的趋势, 其中 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 保水剂处理的花生产量最高, 但与覆膜处理差异不显著。 (2) 覆膜显著增加了花生成熟饱满度, 饱果率和饱仁率分别比对照增加 14.62% 和 14.11% ; 成熟饱满度随保水剂用量增加呈先增加后降低的趋势, 且 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 保水剂处理最高, 饱果率和饱仁率分别比对照增加 10.99% 和 15.99% 。 (3) 覆膜和保水剂均增加了花生脂肪、油酸含量和油酸/亚油酸(O/L)比值, 普通样品(能够形成产量的籽仁)的增幅显著大于标准样品(饱满一致的籽仁), 且 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理的普通样品分别比露地栽培提高了 9.66% 、 12.27% 和 23.08% , 但与覆膜处理差异不显著。研究表明, 施用 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 保水剂可显著提高花生成熟饱满度、产量和品质, 主要通过提高普通样品的营养成分来改善品质, 与覆膜效果基本一致。

关键词: 花生; 保水剂; 成熟饱满度; 产量; 品质

中图分类号: Q945.79 **文献标志码:** A

Effect of Superabsorbent Polymer Application on Yield and Quality of Peanut under Un-mulching Cultivation

LI Guanghui, LI Changsheng, WANG Xingjun, ZHAO Chuanzhi, ZHAO Shuzhen, HOU Lei*

(Biotechnology Research Center, Shandong Academy of Agricultural Sciences/Shandong Provincial Key Laboratory of Crop Genetic Improvement, Ecology and Physiology, Ji'nan 250100, China)

Abstract: In this work, a field study was conducted to investigate pod plumpness, yield, nutrition quality under un-mulching (UM), mulching film (FM) and superabsorbent polymer (SP) conditions to explore the effect of FM and SP on water-saving. SP was furrowed into the ridge at the rate of 75 , 150 and $225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ before sowing. We hope to provide a theoretical basis for rational application of superabsorbent polymer and developing a new technology for water-saving in dry region peanut. The results showed that: (1) pod yield under SP ($75\sim 225\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) was $3.48\%\sim 16.01\%$ higher compared to UM. When the SP amount applied increased, the yield increased first and then decreased. The yield was the highest when $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ of SP (SP150) was applied. However, the yield of the SP150 was no significant ($P>0.05$) difference from FM. (2) Compared with UM, the plump rate of pods and seeds significantly increased under FM, it was 14.62% and 14.11% higher. The plump rate of pods and seeds gradually increased before SP150 was applied, then decreased with the amount of SP increased continuously. It was 10.99% and

收稿日期: 2019-08-05; 修改稿收到日期: 2019-10-30

基金项目: 国家自然科学基金国际(地区)合作与交流项目(31861143009); 国家自然科学基金青年基金(31801301); 山东省重点研发项目(2018GSF121032); 山东省自然科学基金面上项目(ZR2017MC005)

作者简介: 厉广辉(1983—), 男, 博士, 助理研究员, 主要从事作物高产生理生态研究。E-mail: ghli66@126.com

* 通信作者: 侯 蕾, 博士, 副研究员, 主要从事花生分子育种与栽培研究。E-mail: houlei9042@163.com

15.99% higher than UM when the SP150 condition. (3) Quality analysis demonstrated that quality traits including fat, oleic acid, the ratio of oleic acid to linoleic acid (O/L) of all seeds under FM and SP treatments were higher compared to UM. The general sample including all seeds with economic value increased more than the typical sample containing only plump and consistent seeds. The fat and oleic acid content, O/L of general sample increased by 9.66%, 12.27%, 23.08% compared to UM when SP150 was applied. While it was no significant difference from FM. All these results indicate that SP had positive effect on yield and quality of peanut. The SP application of $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ improved most pod plumpness and yield, increased quality traits of peanut seeds mainly by the general sample. It was basically the same as FM.

Key words: peanut (*Arachis hypogaea* L.); superabsorbent polymer; plumpness; yield; quality

中国食用植物油的自给率不足 35%。花生是中国总产量最大,且具有国际竞争力的油料作物,发展花生产业对于增加农民收入和保障国家油料安全具有重要意义。起垄覆膜是中国北方花生产区传统的种植模式,在中国已推广应用 30 多年^[1-3]。大量研究表明,覆膜可提高花生出苗率^[4],协调花生营养生长和生殖生长,显著提高饱果成熟期叶片光合速率^[5],增加单株结果数和百果重,提高籽仁品质^[6-7]。覆膜还可以促进根瘤发育,延长根瘤固氮时间^[8]。但是,地膜降解期长,连年使用导致残膜大量积累,花生田年均地膜残留量增加 $3.21 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,地膜残留系数约为 9.7%,仅次于蔬菜和棉花^[9-10]。土壤残膜累积导致土壤水分迁移受阻、作物产量下降、耕地质量退化、农业生态污染等一系列问题^[11]。

保水剂是近年来迅速发展起来的一种溶胀性高的分子聚合物,有很强的吸水和保水能力,能吸收自身重量几百倍的水,主要类型有树脂类保水剂、天然高分子类保水剂、有机-无机复合类保水剂等^[12]。保水剂能提高和稳定土壤含水量,改善土壤结构^[13],增加土壤微生物和矿质营养含量,减少水土流失^[14],增加叶片气体交换参数,提高水分利用率,增加作物产量^[15]。保水剂已在旱地作物中广泛应用^[16-18],成为一种重要的农业节水技术。花生田施用保水剂也有一些研究。有研究表明,土壤保水剂能增加花生田土壤含水量,提高出苗率,维持较高的根系活力和抗氧化能力,促进地上部光合产物向荚果转运,增加单株结果数和产量;保水剂不同的使用方法效果有差异,沟施效果显著优于穴施,且对下季作物仍有吸水保水效果^[19-20]。花生荚果成熟饱满度是高产和优质的基础。但是,土壤保水剂对花生荚果成熟饱满度及品质的影响还不清楚。保水剂和地膜都有保墒、改良土壤和促进作物生长发育的作用,但两种栽培模式下花生荚果产量、成熟饱满度和品质差异的研究还鲜见报道。本研究以露地栽培花生为对照,分析保水剂和覆膜栽培花生荚果成熟饱

满度差异,研究成熟饱满度与产量和品质的关系,以期为解决花生“白色污染”和开发新型节水栽培提供技术支撑和理论依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

试验材料为山东农业大学提供的中间型大花生品种‘丰花 1 号’。

1.2 试验设计

试验于 2018 年在山东省农业科学院饮马泉试验站花生试验田进行。试验田为沙壤土,0~20 cm 耕作层基础地力为有机质 $13.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $1.06 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $83.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $46.53 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $96.36 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。起垄栽培,垄距 90 cm,垄面宽 55 cm,垄高 12 cm,垄上播种 2 行,垄上小行距 35 cm,穴距 16 cm,每穴播 2 粒,播深 3~5 cm,密度约为 13.9 万穴/hm^2 。5 月 11 日播种,9 月 20 日收获。氮磷钾三元复合肥 ($\text{N} : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{K}_2\text{O} = 15 : 15 : 15$) 用量为 $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,全部用于基施。

试验分为露地、露地施用保水剂和覆膜 3 种模式。设 5 个处理:UM(露地)、SP75(露地+保水剂 $75 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$)、SP150(露地+保水剂 $150 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$)、SP225(露地+保水剂 $225 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$)、FM(覆膜),以露地栽培作为对照。保水剂处理于播种前在垄面中间开沟,按不同处理用量一次性施入保水剂。地膜覆盖处理选用传统覆膜种植的白色膜,不影响正常下针,播种打除草剂覆膜同时进行。播后及时打除草剂封闭地面,不需中耕培土,正常防治病虫害。保水剂购于潍坊华潍膨润土集团股份有限公司,是腐植酸钾、膨润土、丙烯酸类单体聚合的一种环境友好型网格大分子,吸水倍数 500~700 倍。每小区 3 垄,长度为 5 m,面积为 13.5 m^2 ,每处理 3 次重复,随机区组设计。收获时测产,并考察植株性状,风干荚果用于成熟饱满度和品质指标分析。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 荚果产量 收获时每个小区连续取生长基本一致的10株,计算单株结果数。各处理量取6.67 m²,刨收、摘果、去杂,自然风干,计算荚果产量,同时计算单位面积实收株数。

1.3.2 成熟饱满度 挑选100个饱满一致双仁果和100个饱满籽仁,称量百果重和百仁重;随机取1 kg荚果或籽仁,挑选饱满一致的双仁果或籽仁称重,计算饱果率和饱仁率;称取1 kg荚果,脱壳,籽仁称重,计算出米率。

1.3.3 籽仁品质 用多功能谷物近红外分析仪(瑞典波通,DA7250)测定各处理籽仁的蛋白质和脂肪含量、脂肪酸组分和油酸/亚油酸(O/L)值等。籽仁样品分为标准样品和普通样品,标准样品为饱满一致的籽仁,代表产量潜力;普通样品为能够形成产量的籽仁,代表实际产量。

1.4 数据统计分析

SPSS17.0软件进行显著性分析,将覆膜和不同保水剂用量视为单因素处理,用LSD法进行方差分析。SigmaPlot10.0软件作图。

2 结果与分析

2.1 保水剂对露地花生产量的影响

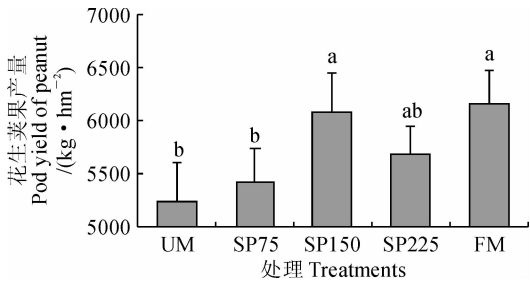
如图1所示,FM(覆膜)和SP(露地+保水剂)处理均提高了花生荚果产量,产量高低依次为FM>SP150>SP225>SP75>UM(露地),FM处理比UM处理增加17.28%,差异显著($P<0.05$);3个保水剂处理比UM处理增加3.48%~16.01%,随施用量的增加呈先增加后降低的趋势,SP150处理增加16.01%,差异显著。两种节水栽培模式比较,SP150处理与FM处理花生荚果产量基本相当,SP75和SP225处理分别比FM处理降低13.33%和8.35%。说明花生合理施用保水剂可起到覆膜的增产效果。

2.2 保水剂对露地花生荚果性状的影响

FM和SP处理增加了花生单株结果数、百果重和饱果率(SP225处理的饱果率低于UM处理)(表1)。SP处理的单株结果数均比FM处理高,但所有处理之间差异不显著($P>0.05$)。FM处理的百果重和饱果率增幅最大,分别比UM处理增加10.84%和14.62%,差异显著。SP处理对荚果性状的影响因施用量不同而有差异,随施用量的增加,百果重和饱果率均呈先增加后降低的趋势。SP150处理显著高于UM处理,分别增加8.41%和10.99%;SP75和SP225处理与UM处理差异不显著。两种节水栽培模式比较,SP75和SP225处理的百果重和饱果率显著低于FM处理,SP150处理与FM处理差异不显著。

2.3 保水剂对露地花生籽仁性状的影响

由表2可知,FM和SP处理增加了花生百仁重、饱仁率和出米率(SP225处理的饱仁率低于UM处理)。FM处理分别比UM处理增加5.55%、14.11%、7.40%。SP处理随施用量的增加呈先增加后降低的趋势,SP150处理显著高于UM处理,3



小写字母表示处理间0.05水平差异显著性。下同
图1 保水剂对露地花生荚果产量的影响
Different normal letters mean significant difference among treatments at 0.05 level. The same as below
Fig.1 Effects of superabsorbent polymer on pod yield of peanut under un-mulching condition

表1 保水剂对露地花生荚果性状的影响
Table 1 Effects of superabsorbent polymer on pod traits of peanut

处理 Treatment	单株结果数 No. of pod per plant	百果重 100-pod weight/g	饱果率 Plump pod rate/%
UM	20.83±2.77a	230.44±10.96c	42.68±2.36b
SP75	22.35±1.22a	240.26±10.95bc	43.10±2.45b
SP150	22.62±2.61a	249.82±6.27ab	47.37±1.59a
SP225	22.08±2.55a	237.59±5.04bc	41.33±2.32b
FM	21.65±3.21a	255.43±5.71a	48.92±1.54a

注:同一列中标注相同小写字母的数值表示差异未达到5%显著水平。下同
Note: Means of specific trait within the same column followed by the same normal letter are not significantly different at 0.05 probability level. The same as below

个性状指标分别增加 4.35%、15.99%、8.40%；SP75 和 SP225 处理与 UM 处理差异不显著。两种节水栽培模式比较，SP75 和 SP225 处理的百仁重、饱仁率和出米率均显著低于 FM 处理，SP150 处理与 FM 处理差异不显著。

2.4 保水剂对露地花生籽仁脂肪和蛋白质含量的影响

FM 和 SP 处理增加了花生籽仁的脂肪含量，普通样品的增幅明显高于标准样品，分别比 UM 处理增加 6.28%~9.66% 和 0.25%~3.95% (图 2, A)。FM 处理的脂肪含量显著高于 UM 处理，标准样品和普通样品分别增加 3.95% 和 8.35%。SP 处理的籽仁脂肪含量随保水剂施用量增加呈先增加再降低的趋势。SP150 处理显著增加了标准样品和普通样品的脂肪含量，分别比 UM 处理增加 3.73% 和 9.66%；SP75 和 SP225 处理显著增加了普通样品的脂肪含量，分别比 UM 处理增加 6.79% 和 6.28%，但在标准样品之间差异不显著。两种节水模式的普通样品脂肪含量差异不显著，标准样品之间的差异也较小。

如图 2, B 所示，FM 处理降低了籽仁蛋白质含量，标准样品和普通样品分别比 UM 处理降低 4.12% 和 1.57%。SP75 和 SP150 处理的标准样品

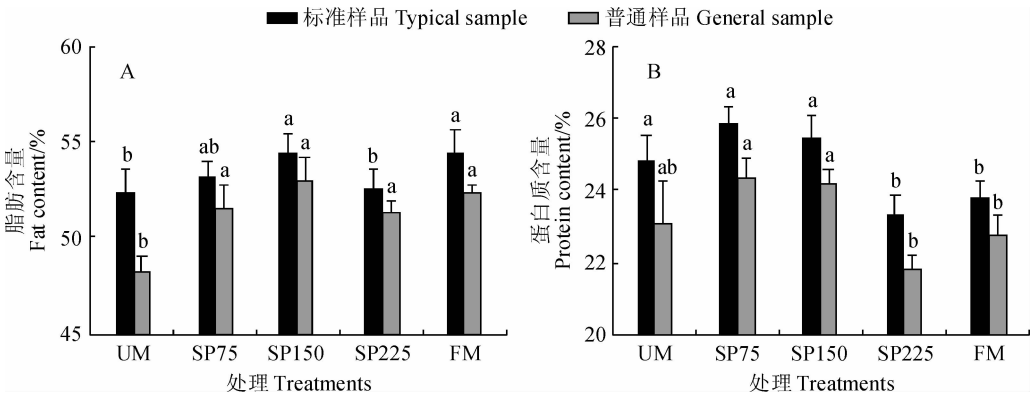
蛋白质含量比 UM 处理增加 4.20% 和 2.79%，普通样品增加 5.40% 和 4.53%。SP225 处理标准样品和普通样品的籽仁蛋白质含量显著低于 UM 处理，分别降低 5.92% 和 5.66%。随保水剂用量的增加，籽仁蛋白质含量呈逐渐降低的趋势。

2.5 保水剂对露地花生籽仁脂肪酸组分的影响

FM 和 SP 处理增加了花生籽仁的油酸含量，降低了亚油酸含量，提高了油酸/亚油酸 (O/L) 比值 (表 3)。标准样品的脂肪酸含量差异较小，油酸含量在各处理之间差异不显著。FM 处理的亚油酸含量显著低于 UM 处理，SP 处理与 UM 处理差异不显著。FM 处理的 O/L 比值显著高于 UM 处理，比对照增加了 16.97%，SP 处理与 UM 处理差异不显著。普通样品的脂肪酸含量差异较大，FM 处理的油酸含量和 O/L 比值显著高于 UM 处理，分别增加 13.71% 和 31.47%。SP 处理两个参数增幅范围为 1.55%~12.27% 和 2.80%~23.08%，SP150 增幅最大。FM 处理的亚油酸含量较 UM 处理降低 13.45%。SP 处理降幅范围为 1.05%~8.93%。两种节水模式的油酸含量差异不显著，FM 的 O/L 比值显著高于 SP75 和 SP225 处理，与 SP150 处理差异不显著。

表 2 保水剂对露地花生籽仁性状的影响
Table 2 Effects of superabsorbent polymer on seed traits of peanut

处理 Treatment	百仁重 100-seed weight/g	饱仁率 Plump seed rate/%	出米率 Shelling/%
UM	90.51±1.20c	39.89±2.14bc	62.84±1.13b
SP75	92.09±1.63bc	41.17±1.29b	63.94±1.84b
SP150	94.45±1.23ab	46.27±1.76a	68.12±1.50a
SP225	91.44±1.66bc	36.52±3.13c	62.95±1.85b
FM	95.53±0.87a	45.52±1.05a	67.49±1.55a



不同小写字母表示同一类型样品不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

图 2 不同处理条件下花生籽仁脂肪(A)和蛋白质(B)含量

Different normal letters of the same sample means the significant difference at 0.05 level

Fig. 2 The contents of fat (A) and protein (B) in peanut seeds under UM, FM and SP growing conditions

表 3 不同处理条件下花生籽仁油酸、亚油酸含量和油酸/亚油酸比

Table 3 The contents of oleic acid, linoleic acid and O/L in peanut seeds under UM, FM and SP growing conditions						
处理 Treatment	标准样品 Typical sample			普通样品 General sample		
	油酸含量 Oleic acid/%	亚油酸含量 Linoleic acid/%	油酸/亚油酸 O/L	油酸含量 Oleic acid/%	亚油酸含量 Linoleic acid/%	油酸/亚油酸 O/L
UM	50.82±1.63a	30.81±1.17a	1.65±0.11b	46.38±1.26b	32.48±1.24a	1.43±0.10c
SP75	51.06±1.43a	30.50±0.53a	1.67±0.04b	47.10±1.72b	32.14±1.43ab	1.47±0.11c
SP150	52.87±1.28a	29.23±0.45a	1.81±0.05ab	52.07±1.73a	29.58±1.12bc	1.76±0.09ab
SP225	50.97±1.76a	30.11±1.08a	1.69±0.12b	49.40±2.97ab	30.81±1.29bc	1.60±0.16bc
FM	53.05±1.96a	27.51±0.98b	1.93±0.08a	52.74±2.40a	28.11±2.44c	1.88±0.24a

3 讨 论

中国花生大部分分布在旱作地区,发展节水农业是花生产业发展的必然趋势。地膜覆盖可显著增加花生产量^[6-7],但多年使用导致农业生态环境污染加重。农业旱地保水剂具有高吸水 and 保水能力,是一项重要的农艺节水技术,符合节水农业绿色发展的要求,在旱地农业中被广泛应用。大量研究表明,保水剂沟施、穴施及包衣均能提高花生荚果产量^[19-20]。本研究中,施用保水剂 75~225 kg·hm⁻²条件下,花生产量提高 3.48%~16.01%,与前人研究结果基本一致。钟秋瓚等^[21]研究认为 60 kg·hm⁻²花生增产效果最好。本研究认为施用保水剂 150 kg·hm⁻²处理花生增产幅度最大,与覆膜增产效果基本一致,可能是由于以上研究是在南方多雨地区进行或保水剂类型差异。本研究发现,随保水剂施用量增加,花生产量呈先增加后降低的趋势,这可能是由于保水剂用量过大,破坏了土壤结构,造成根系吸水阻力增加,造成土壤板结,导致产量降低^[22]。

花生具有无限生长习性,开花期长,结荚不集中,果多不饱的矛盾突出^[23]。因此,饱果率和饱仁率是决定花生产量的主要因素,提高成熟饱满度是花生增产的基础。花针期干旱主要降低结果数影响产量,结荚期干旱则是降低成熟饱满度导致产量下降^[24]。本研究中,FM 和 SP 处理对花生单株结果数影响较小,均显著增加了花生百果重、百仁重、饱果率、饱仁率和出米率。花生荚果发育可分为膨大期和充实期两个阶段,膨大期荚果体积长至最大,干重仍然较小;充实期荚果体积不再增大,籽仁干重快速增加^[25]。本研究中,SP75 和 SP225 处理的百果重、百仁重、饱果率、饱仁率和出米率与 UM 处理差异不显著。SP150 处理的上述性状指标与 FM 处理基本一致,显著高于其他处理。说明覆膜和合理施用保水剂能改善全生育期土壤水分状况,尤其是提

高荚果充实期土壤含水量,提高水分利用效率^[26],这与吕美琴^[27]在大豆上的研究基本一致。施用保水剂还可能提高叶片净光合速率和氮代谢相关酶活性,延缓植株衰老,促进光合产物向荚果转运,从而增加荚果和籽仁的成熟饱满度来提高产量^[19-21]。

脂肪含量是花生重要的品质指标。有研究认为,较露地种植,地膜覆盖可显著提高花生籽仁粗脂肪含量,不同材质地膜之间差异不显著^[28]。保水剂对花生品质的影响还不清楚。本研究表明,各处理标准样品的脂肪含量均高于普通样品,FM 和 SP 处理与 UM 处理的标准样品脂肪含量差异不显著,普通样品的脂肪含量显著高于 UM 处理。说明 SP 处理通过提高成熟饱满度来增加普通样品的脂肪含量,从而提高籽仁脂肪含量。张昆等的研究认为^[29],籽仁脂肪含量和成熟饱满度呈极显著正相关,与本研究结果一致。这可能是由于花生荚果充实源于子叶内脂体的大量积累和增大,而油分的积累是脂体不断形成和发育的结果,荚果和籽仁快速充实期与脂肪含量快速增加基本吻合^[30]。本研究发现,SP75 和 SP150 处理增加了花生籽仁蛋白质含量,SP225 处理低于 UM 处理,FM 处理也降低了花生蛋白质含量。这可能是由于适当的水分胁迫有利于蛋白质的合成和积累^[31]。

脂肪酸组分决定花生油脂品质和经济价值。花生脂肪酸组成以油酸和亚油酸为主,约占 80%,油酸含量和 O/L 比值是影响植物油脂货架寿命的重要指标,高油酸花生有更高的市场和营养价值^[32]。前人研究发现,不饱和脂肪酸含量随花生籽仁充实呈增加趋势,饱和脂肪酸呈降低趋势,饱满籽仁的油酸含量显著高于未成熟籽仁,而亚油酸含量显著低于后者^[33]。本研究发现,FM 和 SP 处理均提高了花生油酸含量和 O/L 比值,随保水剂施用量的增加,普通样品的两个参数值均呈先增加后降低的趋势,SP150 与 FM 处理差异不显著,显著高于其他处

理,这与荚果成熟饱满度的变化趋势基本一致。说明保水剂优化了土壤水分和养分供应^[16],促进荚果充实来提升品质。标准样品两个参数的增幅明显低于普通样品,可能是因为标准样品的营养品质主要是由品种的基因型决定,受环境因素影响较小。

4 结 论

与露地栽培相比,施用保水剂可增加花生产量,在 75~225 kg·km⁻² 范围内,随施用量增加花生产

量呈先增加后降低的趋势,150 kg·km⁻² 处理产量最高,与覆膜栽培产量基本持平,差异不显著。施用保水剂增产的主要原因是增加了饱果率和饱仁率,提高了花生荚果和籽仁的成熟饱满度,从而显著增加了普通样品的脂肪含量,提高了油酸含量和 O/L 比值,改善了油脂品质。施用 150 kg·km⁻² 保水剂条件下,花生产量最高,籽仁营养品质也较好,各性状指标与覆膜处理差异不显著。

参考文献:

[1] 严昌荣,刘恩科,舒帆,等.我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J].农业资源与环境学报,2014,31(2):95-102.
YAN C R, LIU E K, SHU F, *et al.* Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2014, 31(2): 95-102.

[2] GAO Y H, XIE Y P, JIANG H Y, *et al.* Soil water status and root distribution across the rooting zone in maize with plastic film mulching[J]. *Field Crops Research*, 2014, 156: 40-47.

[3] MA D D, CHEN L, QU H C, *et al.* Impacts of plastic film mulching on crop yields, soil water, nitrate, and organic carbon in Northwestern China: A meta-analysis[J]. *Agricultural Water Management*, 2018, 202: 166-173.

[4] 杨富军,高华援,赵叶明,等.地膜覆盖栽培对花生生殖生长及产量的影响[J].安徽农业科学,2013,41(26):10 643-10 645.
YANG F J, GAO H Y, ZHAO Y M, *et al.* Effects of plastic film mulching cultivation on reproductive growth and yield of peanut (*Arachis hypogaea* linn.)[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, 41(26): 10 643-10 645.

[5] 尹光华,佟娜,郝亮,等.不同材料膜覆盖对地温和花生叶片光合作用的影响[J].干旱地区农业研究,2012,30(6):44-49.
YIN G H, TONG N, HAO L, *et al.* Effects of mulching with film of different materials on soil temperature and photosynthesis of peanut leaf[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2012, 30(6): 44-49.

[6] 马登超,厉广辉,樊宏.地膜覆盖对春播花生荚果性状及产量形成的影响[J].山东农业科学,2014,46(9):49-52.
MA D C, LI G H, FAN H. Effects of film mulching on pod traits and yield formation of spring peanut[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2014, 46(9): 49-52.

[7] 戴良香,康涛,张冠初,等.地膜覆盖方式对花生田土壤含水量、温度及产量的影响[J].中国农学通报,2017,33(8):72-77.
DAI L X, KANG T, ZHANG G C, *et al.* Film mulching affecting soil moisture content, soil temperature and peanut yield[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(8): 72-77.

[8] 李向东,万勇善,张高英,等.夏花生覆膜对根瘤中固氮酶和叶片硝酸还原酶活性影响的研究[J].作物学报,1996,22(1):96-100.
LI X D, WAN Y S, ZHANG G Y, *et al.* Effect of film mulching on the nitrogenase activity in nodules and the nitrate reductase activity (NRA) in leaves of summer peanut (*A. hypogaea* L.)[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1996, 22(1): 96-100.

[9] 张丹,胡万里,刘宏斌,等.华北地区地膜残留及典型覆膜作物残膜系数[J].农业工程学报,2016,32(3):1-5.
ZHANG D, HU W L, LIU H B, *et al.* Characteristics of residual mulching film and residual coefficient of typical crops in North China[J]. *Transactions of the CSAE*, 2016, 32(3): 1-5.

[10] 徐钰,江丽华,石璟,等.山东省典型覆膜作物地膜残留情况解析[J].山东农业科学,2018,50(8):91-95,99.
XU Y, JIANG L H, SHI J, *et al.* Analysis on film residual status of typical mulching crops in Shandong Province[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2018, 50(8): 91-95, 99.

[11] HE H J, WANG Z H, GUO L, *et al.* Distribution characteristics of residual film over a cotton field under long-term film mulching and drip irrigation in an oasis agroecosystem[J]. *Soil and Tillage Research*, 2018, 180: 194-203.

[12] 魏贤,李鹏飞,陈瑞环,等.环境友好型保水剂的合成、性能及应用[J].水土保持通报,2018,38(5):293-299,312.
WEI X, LI P F, CHEN R H, *et al.* Synthesis, characterization and application of environment-friendly superabsorbent polymers[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(5): 293-299, 312.

[13] HOU X Q, LI R, HE W S, *et al.* Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region[J]. *Journal of Soils and Sediments*, 2018, 18(3): 816-826.

[14] CAO Y B, WANG B T, *et al.* The effect of super absorbent polymers on soil and water conservation on the terraces of the loess plateau[J]. *Ecological Engineering*, 2017, 102: 270-279.

[15] YANG W, LI P F, GUO S W, *et al.* Compensating effect of fulvic acid and super-absorbent polymer on leaf gas exchange and water use efficiency of maize under moderate water deficit conditions[J]. *Plant Growth Regulation*, 2017, 83(3): 351-360.

[16] 吴娜,赵宝平,曾昭海,等.两种灌溉方式下保水剂用量对裸燕麦产量和品质的影响[J].作物学报,2009,35(8):1 552-1 557.
WU N, ZHAO B P, ZENG Z H, *et al.* Effects of super absorbent polymer application rate on yield and quality of naked oat (*Avenue nuda* L.) in two irrigation systems[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009, 35(8): 1 552-1 557.

[17] 韩玉玲,徐刚,高文瑞,等.保水剂对水分胁迫下辣椒生长及

- 光合作用的影响[J]. 西北植物学报, 2012, **32**(6): 1 191-1 197.
- HAN Y L, XU G, GAO W R, *et al.* Effects of superabsorbent polymers (SAP) on growth and photosynthesis of pepper plants under water stress[J]. *Acta Botanica Boreali-Ocidental Sinica*, 2012, **32**(6): 1 191-1 197.
- [18] 李中阳, 吕谋超, 樊向阳, 等. 不同类型保水剂对冬小麦水分利用效率和根系形态的影响[J]. 应用生态学报, 2015, **26**(12): 3 753-3 758.
- LI Z Y, LÜ M C, FAN X Y, *et al.* Influences of different kinds of water retentive agents on water use efficiency and root morphology of winter wheat[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, **26**(12): 3 753-3 758.
- [19] 米青荣, 王丽萍. 保水剂包衣和土壤沟施对花生生理特性及产量构成的影响[J]. 作物杂志, 2003, (4): 22-23.
- MI Q R, WANG L P. Effects of coating and furrow application with superabsorbent polymers on physiological characters and yield components in peanut[J]. *Crops*, 2003, (4): 22-23.
- [20] 赵 敏, 高会东. 保水剂对花生生理特性及产量构成因素的影响[J]. 吉林农业科学, 2002, **27**(6): 15-18.
- ZHAO M, GAO H D. Effect of water absorbent on the physiological characteristics of summer peanut and the component factors of yield[J]. *Jilin Agricultural Sciences*, 2002, **27**(6): 15-18.
- [21] 钟秋瓚, 陈荣华, 申昌优, 等. 保水剂在红壤旱地花生上的应用效果[J]. 江西农业学报, 2013, **25**(6): 32-34.
- ZHONG Q Z, CHEN R H, SHEN C Y, *et al.* Application effect of water retention agent on peanut in red upland[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2013, **25**(6): 32-34.
- [22] 杨红善, 刘瑞凤, 张俊平, 等. PAAM-atta 复合保水剂对土壤持水性及其物理性能的影响[J]. 水土保持学报, 2005, **19**(3): 38-41.
- YANG H S, LIU R F, ZHANG J P, *et al.* Effects of poly (acrylic-acrylamide)/attapulgit superabsorbent composite on soil water content and physical properties[J]. *Journal of Soil Water Conservation*, 2005, **19**(3): 38-41.
- [23] 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[J]. 中国农业科学, 2015, **48**(18): 3 757-3 766.
- 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[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2015, **48**(18): 3 757-3 766.
- [24] 张 俊, 刘 娟, 臧秀旺, 等. 不同生育时期水分胁迫对花生生长发育和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2015, **31**(24): 93-98.
- ZHANG J, LIU J, ZANG X W, *et al.* Effects of drought stress on yield and growth and development at different growth stages of peanut[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, **31**(24): 93-98.
- [25] 骆 兵, 刘凤珍, 万勇善, 等. 不同花生品种(系)荚果和子仁内源激素含量变化与干物质积累特征分析[J]. 作物学报, 2013, **39**(11): 2 083-2 093.
- LUO B, LIU F Z, WAN Y S, *et al.* Dynamic changes of endogenous hormones content and dry matter accumulation of pods and kernels in different varieties(lines) of peanut (*Arachis hypogaea* L.)[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013, **39**(11): 2 083-2 093.
- [26] 侯贤清, 李 荣, 何文寿, 等. 保水剂对旱作马铃薯产量及水分利用效率的影响[J]. 核农学报, 2018, **32**(5): 1 016-1 022.
- HOU X Q, LI R, HE W S, *et al.* Effects of super absorbent on yield and water use efficiency of potato in dry land[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2018, **32**(5): 1 016-1 022.
- [27] 吕美琴. 施用保水剂对秋植大豆生长发育及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2015, **31**(12): 57-61.
- LÜ M Q. Effects of absorbent polymer on yield and growth of autumn planting soybean[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, **31**(12): 57-61.
- [28] 王晓光, 孔雪梅, 蒋春姬, 等. 不同材质地膜覆盖对花生产量品质的影响及防风蚀效果研究[J]. 干旱地区农业研究, 2017, **35**(2): 57-61.
- WANG X G, KONG X M, JIANG C J, *et al.* Effects of film with different materials on yield and quality of peanut and wind erosion prevention[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, **35**(2): 57-61.
- [29] 张 昆, 万勇善, 刘凤珍. 遮光对花生产量、成熟饱满度及品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2009, **24**(11): 91-96.
- ZHANG K, WAN Y S, LIU F Z. Effects of shading on yield, plumpness and quality of peanut[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2009, **24**(11): 91-96.
- [30] 庄伟建, 彭时尧, 林木山. 花生荚果发育过程中子叶贮藏细胞的形态变化及其与油分和蛋白质积累的关系[J]. 中国农业科学, 1991, **24**(3): 8-13, 97-98.
- ZHUANG W J, PENG S Y, LIN M S. The changes of the morphology and structure of *Cotyledon* storage cell and their relation to the accumulation of oil and protein in peanut[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 1991, **24**(3): 8-13, 97-98.
- [31] 甄志高, 王晓林, 段 莹, 等. 气象条件对花生蛋白质和脂肪含量的影响[J]. 花生学报, 2004, **33**(3): 22-24.
- ZHEN Z G, WANG X L, DUAN Y, *et al.* The effect of climatic factors on protein and oil content of peanut seeds[J]. *Journal of Peanut Science*, 2004, **33**(3): 22-24.
- [32] 张照华, 王志慧, 淮东欣, 等. 利用回交和标记辅助选择快速培育高油酸花生品种及其评价[J]. 中国农业科学, 2018, **51**(9): 1 641-1 652.
- ZHANG Z H, WANG Z H, HUAI D X, *et al.* Fast development of high oleate peanut cultivars by using marker-assisted backcrossing and their evaluation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, **51**(9): 1 641-1 652.
- [33] 吴 琪, 宁维光, 曹广英, 等. 花生荚果不同成熟度对籽仁品质性状的影响[J]. 花生学报, 2018, **47**(2): 68-73.
- WU Q, NING W G, CAO G Y, *et al.* The influence of pod maturity on quality traits of peanut seeds[J]. *Journal of Peanut Science*, 2018, **47**(2): 68-73.