

开花期补充水肥对花生田土壤水分、氮磷养分 时空变化特征的影响

戴良香¹, 宋文武¹, 丁红¹, 刘孟娟¹,
张冠初^{1,3}, 史晓龙^{1,3}, 张智猛¹, 李文金²

(1. 山东省花生研究所, 山东 青岛 266100; 2. 泰安市农业科学院,
山东 泰安 271000; 3. 新疆农业大学 农学院, 乌鲁木齐 830052)

摘 要:田间条件下,以花育 22 号和花育 25 号为试材,采用膜下滴灌方法,设置花生初花后 20 d 灌水(WN₀)、灌水施 N 20 kg/hm²(WN₁)和灌水施 N 30 kg/hm²(WN₂)处理,以田间自然降雨条件为对照,研究开花期补充水肥对 0—100 cm 剖面土壤水分、水解性氮、速效磷(Olsen-P)和 NO₃⁻-N 含量变化及迁移特征的影响。结果表明:(1) 开花期灌水施肥使 0—100 cm 土壤剖面土壤含水量均随土层深度增加而升高,利于 0—60 cm 土层土壤含水量保持稳定;施用氮肥可使 0—60 cm 土层土壤含水量升高滞后于不施肥处理 10 d 左右,高量施氮处理使水分下渗速度减缓且 20—40 cm 土层含水量变异性增大。(2) 开花期灌水施氮肥提高了 0—60 cm 土层 NO₃⁻-N 含量,灌水施肥 10~20 d 后是 NO₃⁻-N 淋失迁移的风险期,其淋溶迁移时间与土壤水分同步。高量施氮肥使土壤硝态氮淋溶风险提前 10 d。(3) 花后补充水分并施氮肥均可提高 0—100 cm 剖面土壤水解性氮含量,不施氮肥处理使开花后 60 d 时 0—40 cm 土层水解氮含量降至 57.4~89.6 mg/kg,高量施氮使土壤水解性氮素养分向下淋溶风险增强。(4) 开花后补充水分和氮肥处理均明显增加 0—40 cm 土壤 Olsen-P 含量,施氮肥使磷素供应强度高峰后移 20~40 d。花生开花期灌水补充氮肥可使 0—60 cm 土层土壤含水量、NO₃⁻-N 含量、水解氮含量和 0—40 cm 土壤 Olsen-P 含量升高且水氮下渗速度减缓,促进水肥利用效率提高,但施氮量不应超过 30 kg/hm²,以降低氮素养分淋失迁移风险。

关键词:花生(*Arachis hypogaea* L.); 膜下滴灌; 施肥; 土壤水分; NO₃⁻-N; 土壤养分

中图分类号:S565.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0041-08

Effect of Irrigation with Fertilizer on Spatial-Temporal Variation of Soil Moisture, Nitrogen and Phosphorus Contents at Flowering Stage in Peanut Field

DAI Liangxiang¹, SONG Wenwu¹, DING Hong¹, LIU Mengjuan¹,
ZHANG Guanchu^{1,3}, SHI Xiaolong^{1,3}, ZHANG Zhimeng¹, LI Wenjin²

(1. Shandong Peanut Research Institute, Qingdao, Shandong 266100, China; 2. Taian Academy of
Agricultural Sciences, Taian, Shandong 271000, China; 3. Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: To study the effect of irrigation with fertilization at flowering stage on soil moisture, hydrolysable nitrogen, Olsen-P and NO₃⁻-N content in 0—100 cm soil profile, the peanut Huayu 22 and Huayu 25 were planted under filed condition. Three treatments were set 20 days after flowering. The treatments are: (1) Only irrigation, (2) Irrigation with 20 kg/hm² nitrogen, and (3) Irrigation with 30 kg/hm² nitrogen using the method of drip irrigation beneath film. The results showed that: (1) the soil moisture content in 0—100 cm soil profile increased with increase of soil depth, which could keep the soil moisture content stable. Nitrogen fertilizer could make increase of soil moisture content lag for 10 days in 0—60 cm layer compared with no

收稿日期:2017-09-08

修回日期:2017-10-19

资助项目:国家科技支撑计划(2014BAD11B04-03);山东省现代农业产业技术体系创新团队岗位专家(花生)(SDAIT-04-06);山东省农业重大应用技术创新课题(2014;2016ZDJSL0A02);农业科学院农业科技创新工程(CXGC2018B05);青岛市民生科技计划(17-3-3-56-nsh)

第一作者:戴良香(1965—),女,河北沧县人,研究员,学士,主要从事植物营养生理与生态方面研究。E-mail:liangxiangd@163.com

通信作者:张智猛(1963—),男,河北衡水人,研究员,博士,主要从事作物高产栽培理论与技术研究。E-mail:qinhdiao@126.com

李文金(1970—),男,山东泰安人,高级农艺师,学士,主要从事花生栽培与生理方面研究。E-mail:nkylwj@163.com

fertilizer treatment, and high nitrogen treatment could make water infiltration slow, and variability of water content in 20—40 cm soil layer increased; (2) NO_3^- -N content in 0—60 cm soil layer increased under irrigation with nitrogen treatment, irrigation was the risk of NO_3^- -N leaching migration after 10~20 days, its leaching time synchronized with soil moisture; high amount of nitrogen fertilizer make the risk of nitrate leaching peak 10 days in advance; (3) the soil hydrolysable nitrogen content in 0—100 cm soil profile increased under irrigation with fertilization, while the soil hydrolysable nitrogen content in 0—40 cm soil layer decreased to 57.4~89.6 mg/kg under nofertilization 60 days after flowering; the high amount of applied nitrogen could enhance soil hydrolysable nitrogen leaching risk; (4) the soil Olsen-P content in 0—40 cm soil layer increased significantly under irrigation and fertilization treatments; and the peak of phosphorus supply intensity delayed 20~40 days by application of nitrogen fertilizer; applying nitrogen fertilizer and complementary irrigation at peanut blooming stage can enhance the soil water, NO_3^- -N and hydrolyzed nitrogen content in 0—60 cm soil layer and Olsen-P content in 0—40 cm soil layer, and can decrease the hydrolyzed nitrogen infiltration rate; in this way, water and fertilizer use efficiency can be promoted; the amount of applied nitrogen should not exceed 30 kg/hm² in order to reduce the risk of nitrogen nutrient leaching.

Keywords: peanut (*Arachis hypogaea*); film drip irrigation; fertilization; soil moisture; NO_3^- -N; soil nutrient

土壤水分变化是降水、植物生长、土壤质地、气象等多因素共同作用的结果,是影响作物生长的主要因素,水资源缺乏已成为制约我国许多地区农业可持续发展的关键问题^[1-2]。花生是重要的经济作物和油料作物,为豆科固氮作物,主要种植在占国土面积30.8%的干旱半干旱地区,土壤干旱瘠薄成为限制花生生产进一步发展必须优先解决的关键问题之一^[3]。传统观点认为,花生自身根瘤菌固氮可不施或少施氮肥,因受花生起垄覆膜种植方式的制约,施用的肥料多以基肥或底肥方式进行,故常致其生长后期脱肥早衰现象严重。花生虽属耐旱耐瘠豆科固氮作物,产量水平与土壤肥力高低密切相关,一定施肥量范围内,产量随施肥量的增加而升高,氮代谢及相关酶活性增大^[4]。合理增施氮磷钾肥及微量元素肥料均可促进花生生长,提高产量品质^[5-6]。土壤主要养分含量与花生相对产量有相关性,其含量高低与肥料利用率有关并可表征土壤速效养分的丰缺状况^[7]。施肥时期决定养分供应量和供应速率,土壤供氮速率高峰滞后于氮肥供氮速率峰值^[8]。

硝态氮(NO_3^- -N)是旱地作物吸收的主要氮素形态,多数研究集中于不同作物施氮量对硝态氮淋溶运移的影响,以确定其适宜施氮量^[9-10]。受气候环境因素的影响,我国北方花生产区花生生长季主要分布在5—9月份,此期刚好雨热同期,尤其花生进入旺盛生长期7—9月间80%以上的降雨集中分布,造成花生生长期阶段内阶段性干旱、湿涝频繁发生,养分的吸收与淋溶运移复杂,对花生生长发育和土壤环境影响较

大。研究发现,土壤中硝态氮的累积量随化学氮肥用量的增加而增加,过量施氮引起土壤中硝态氮的大量累积和淋溶^[11-12],导致土壤肥力下降、地下水污染,对人体健康带来严重威胁。目前,关于土壤水分运移和动态变化规律的研究多集中在特定区域及其他作物上,尤以不同环境水分条件下土壤水分的运移和空间变异^[13-16],以及不同作物类型下土壤水分和作物耗水规律研究较多^[17-19],关于花生田土壤肥力状况的研究多集中在其产量与肥料种类、施肥水平和施肥方式间关系的研究^[5-6,8],有关花生生育期内土壤剖面水分、速效氮磷养分的时空变化鲜见报道。为深入了解无机态速效氮磷养分和水分在土壤中的运移和变化、调控土壤中的硝态氮含量、降低氮素损失和提高肥料利用率,本试验主要针对干旱半干旱花生产区花生旺盛生长期补水补肥对剖面土壤水分和硝态氮的变异特征的影响,深入了解硝态氮在土壤中的运移和变化规律,旨在为提高花生水分和肥料利用效率,制定合理的花生水肥调控措施,降低氮肥对环境污染的风险提供理论依据与技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2013年在山东省花生研究所莱西试验站(36°34'N,120°40'E)进行。该区属温带季风型大陆性气候,四季变化和季风进退比较明显,降雨季节分布不均,是农业生产的重大限制因素。多年平均降雨量635.8 mm,降雨变率大,且主要集中在7—9月,

占年降水量的 60%~70%(表 1)^[20],年平均蒸发量为 1 423.5 mm,易发生春旱,年均气温 11.7℃,无霜期 183 d。土壤类型为褐土,质地轻壤,常年地下水位 50 m 以上。0—20 cm 土壤基础肥力状况:土壤田间持水量 25.69%,土壤含有机质 11.70 g/kg、水解氮 83.29 g/kg、速效磷 59.56 g/kg 和速效钾 93.68 g/kg。供试花生品种为花育 22 号和花育 25 号。

1.2 试验设计

选用花育 22(HY22)和花育 25(HY25)两大粒型花生品种。

试验设计为裂区设计,灌水处理为主区,品种为副区。采用垄作覆膜种植方式,1 垄 2 行,垄面宽 60 cm、垄高 15 cm、垄距 15 cm,双粒穴播,穴距 15 cm,每处理 5 垄 10 行,垄长 10 m,重复 3 次,随机排列。起垄播种的同时,在垄上两行间铺设滴灌管道及其装置,即采用膜下滴灌的方式进行补水施肥控制灌水量和肥料用量。

表 1 2013 年花生生长期降雨量月分布							
mm							
区域	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月
莱西	15.1	116.2	14.1	337.8	9.7	0.0	1.2
全省平均	16.3	102.7	35.4	340.8	80.2	0.0	35.1

以田间 50%植株绽放第一朵花为计时标准,初花后 20 d 进行灌水施肥处理。设置自然降水(CK)、灌水(WN₀)、灌水施 N 20 kg/hm²(WN₁)和灌水施 N 30 kg/hm²(WN₂)4 个处理,氮肥以尿素形式施用,每处理间以 3 垄自然降水的小区隔开,各处理补水量均为 300 m³/hm²。

播种前基施氮磷钾三元复合肥(15—15—15)600 kg/hm²,田间管理措施同大田栽培管理。5 月 5 日播种,9 月 25 日收获,收获时按行长和穴数收获计产,并室内考种。

1.3 土壤样品采集与分析

于始花期(6 月 15 日)调查、标记各处理植株生长情况,自始花期后 20 d(7 月 5 日)进行补充灌水和施肥处理前同时进行土壤样品采集,以后每隔 10 d 采集各处理小区 0—100 cm 土壤剖面分层混合样本。采集土样时每小区按“S”形路线采取 5 个样点,每点按 0—20,20—40,40—60,60—80,80—100 cm 分层采样组成混合土壤样品,密封保存后带回室内进行土壤含水量和硝态氮含量的测定。土壤含水量测定采用烘干法,土壤硝态氮含量测定采用酚二磺酸比色法测定。土壤水解性氮含量测定采用碱解扩散法,Olsen-P(速效磷)含量测定钼蓝比色法。

2 结果与分析

2.1 土壤水分时空变化特征

花生根系属直根系,约占根总量 70%的根系分布在 30 cm 深土层内。0—100 cm 土壤剖面水分含量和运移状况除受温度、光照等非生物因素影响外,还受影响植物生长、发育和分布的生物因素制约,对表征土壤贮水量和水分供应具有重要意义^[21-22]。图 1 看出,灌水施肥量在影响花生根系吸水的同时也影响土壤剖面水分的分异。花生生育期内,各处理 0—100 cm 剖面各层土壤含水量有相同的变化规律,补充水肥各处理 0—100 cm 土壤剖面各层平均含水量均随土层深度增加而升高,且灌水后 10~20 d 全剖面土壤含水量较高,0—60 cm 土层升高明显,之后逐渐降低,至灌水后 60 d 成熟期剖面含水量均降至最低。CK 和 WN₀ 两处理花后 30 d 时土壤剖面含水量增加,此时两处理 0—100 cm 剖面土壤含水量平均值分别为 14.3%和 15.1%,而 WN₁ 和 WN₂ 两施肥处理则以花后 40 d 较高,滞后不施肥处理 10 d 左右。表明土壤剖面含水量变化除与降雨、气温等环境因素有关外,与花生植株生长、根吸收水和荚果发育进程密切相关,花后 30 d~50 d 各处理土壤剖面含水量较高,至花后 60~80 d 的饱果期降低,成熟期降至最低,阶段性干旱明显,荚果充实膨大期正是花生需水量较大的时期,此期保持土壤水分供应充足可最大限度的满足花生生长发育要求,对提高水分利用效率、促进花生根系对水分和养分的吸收,以及荚果膨大充实具有重要意义。

灌水施肥处理明显增加 80—100 cm 土层含水量,尤以 WN₁ 处理明显,花后 30 d 时土壤含水量为 18.0%。自然降水条件下,0—100 cm 各层土壤含水量非常接近且花后 40 d 至成熟期 40—60 cm 土层含水量最低;WN₀,WN₁ 两处理 60—80 cm 土层含水量于花后 50 d 有所升高,而 WN₂ 处理滞后到花后 70 d。这可能由于补充水分和肥料使花生生长旺盛,根系吸水能力增强,对 60—80 cm 深层土壤水分利用能力增强,而自然降水条件下花生根系对 40—60 cm 土层水分的利用能力较强。0—60 cm 土层土壤含水量稳定是保持花生根系正常吸水和需水之必要,60—80 cm 土层是重要的贮水供应层,开花后灌水补肥有利于 60—80 cm 土层贮水量增加。

2.2 土壤 NO₃⁻-N 含量时空变化特征

灌水施肥量对土壤 NO₃⁻-N 含量的迁移分布影响并不一致,这一方面与土壤 NO₃⁻-N 养分易溶于水、易迁移

等特性有关,还与花生生长、根系吸收和气候、土壤环境等因素关系密切。图 2 表明,开花后灌水补肥对土壤硝态氮的迁移产生明显影响, NO_3^- -N 在土壤剖面中的迁移因处理、土层深度和花生生育阶段而不同。各处理 0—100 cm 剖面各土层 NO_3^- -N 含量随生育期推进均出现两个高峰,成熟期最低且变化较小。全生育期内,

各处理均以花后 30~50 d 向下迁移淋失较强,除 WN_2 处理外其余处理花后 40~50 d 时均淋失至 100 cm 土层。至成熟期, WN_0 和 WN_1 两处理 80—100 cm 土层硝态氮含量分别为 14.2, 11.8 mg/kg, 略高于世界卫生组织规定的饮用水标准(10 mg/L)^[23],这可能与土壤样品存储和测定方法有关。

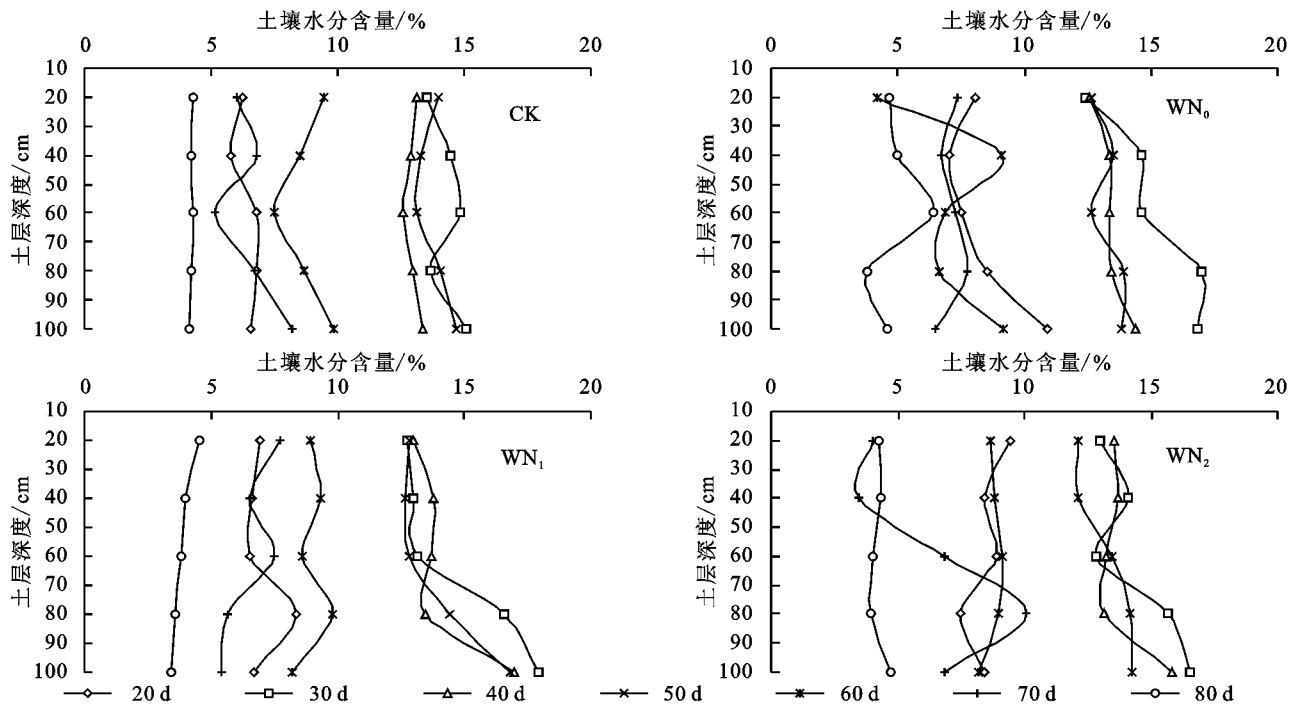


图 1 各处理各时期剖面土壤水分含量变化

在荚果膨大前期和中期,0—20 cm 土层 NO_3^- -N 含量以 CK 处理含量最高,20—40 cm 相对较低,且 CK 和 WN_0 两处理以开花后 30~60 d 内表层土壤 NO_3^- -N 向土体下部迁移淋失强度增大,但 40—100 cm 土层硝态氮含量变化较小;灌水和补肥处理均使收获期前(花后 70 d)0—100 cm 土壤剖面硝态氮含量显著增加,尤以 WN_0 和 WN_1 处理明显, WN_2 高肥处理土壤剖面硝态氮含量在花后 60 d 明显升高,尤以 60—80 cm 土层明显,使土壤硝态氮淋溶风险提前 10 d。至荚果膨大后期,CK 处理剖面 NO_3^- -N 含量均降低但以 20—40 cm 土层较高, WN_0 和 WN_2 处理均以 40—60 cm 土层较高, WN_1 处理使 NO_3^- -N 淋溶至 60—80 cm 土层风险增强。可见,花针期灌水施肥在促进花生荚果膨大前期根系对 0—60 cm 土层 NO_3^- -N 的吸收利用的同时,使得后期 20—60 cm 土层其含量升高, NO_3^- -N 的淋失迁移强烈,高量施氮肥明显增加 20—60 cm 土层 NO_3^- -N 含量且增加淋溶风险。开花期灌水施肥处理 10~20 d 是 NO_3^- -N 淋失迁移的风险期, WN_2 处理较 WN_0 和 WN_1 处理使土壤硝态氮淋溶风险提前 10 d,可能是由于水肥促

进了花生生长发育和根系对养分的吸收所致。

2.3 土壤水解性氮含量变化

由图 3 可以看出,花生开花后随生育进程推进各处理 0—100 cm 剖面土壤水解性氮含量时空变化趋势大致相同,均呈高一低一高的变化趋势,且除 CK 处理外其余处理均以花后 40 d 水解性氮含量最高,花后 60~80 d 含量较低并以花后 80 d 成熟期最低。除 WN_2 处理外其余处理 0—100 cm 剖面土壤水解性氮含量空间变化趋势基本相同,均随土层深度增加呈渐降趋势,以 0—60 cm 土层含量较高且同一生育时期相同处理 0—40 cm 土层水解性氮含量相近,“漏斗型”变化趋势明显,而 WN_2 处理 0—100 cm 剖面土壤水解性氮含量较高时空变化较强烈,并以开花后 20~50 d 尤为明显,其 60—80 cm 土层水解性氮含量仍分别高达 142.1, 180.1, 217.7, 172.9 mg/kg。

相同补水施肥处理不同生育时期 0—40 cm 土层水解性氮差异明显,补水或施肥均相应提高花后 20~60 d 0—60 cm 土层土壤水解性氮含量, WN_0 和 WN_2 处理使各生育时期 0—100 cm 剖面土壤水解性氮含量变幅减小,最大变幅分别为 44.2% 和 42.8%,而 CK 和 WN_1 处

理使剖面土壤水解性氮含量变幅增大。CK 和 WN_0 处理下开花后 20~50 d 的 0—40 cm 土层水解氮含量均在 79.8 mg/kg 以上,花后 60 d 时,其 0—40 cm 土层水解性氮含量仅为 28.7~44.8 mg/kg,而补水并施肥处理下全

生育期内 0—80 cm 剖面土壤水解性氮含量均在 63.7 mg/kg。开花后补充水分和氮肥均可提高花生田 0—40 cm 土层土壤速效氮含量,开花期补水和高量补肥处理使土壤速效性氮素养分向下淋溶风险增强。

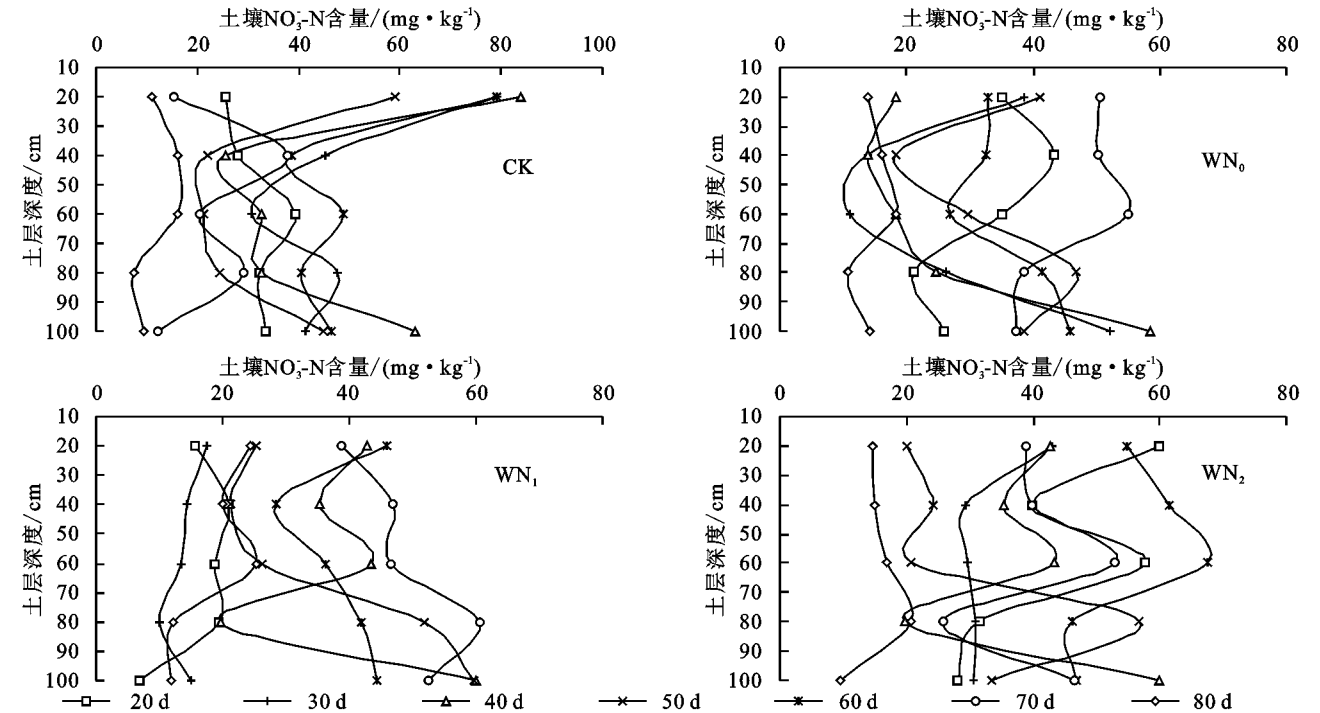


图 2 不同处理下土壤剖面 NO_3^- -N 含量变化特征

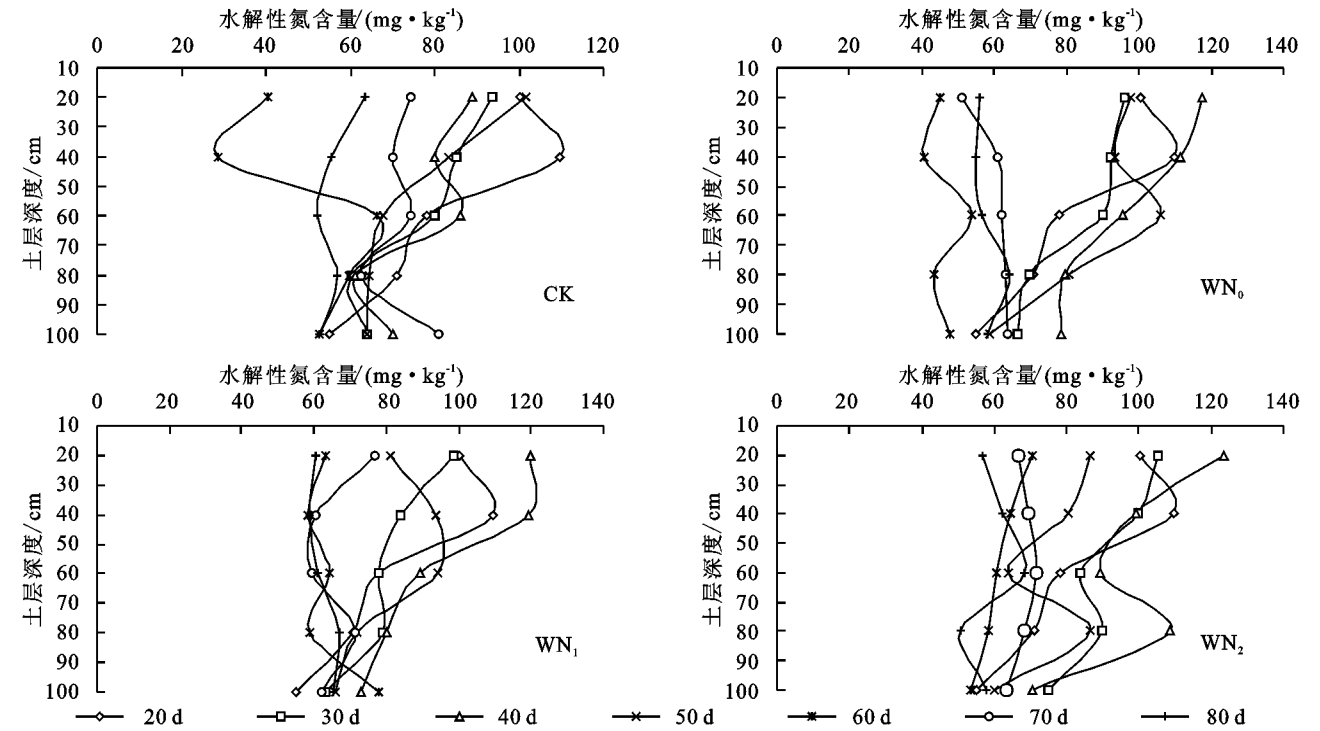


图 3 花生生育期内各处理土壤水解性氮含量时空变化

2.4 对土壤速效磷含量变化的影响

作物吸收养分与其生长发育阶段和土壤供应状况密切相关,水肥管理措施影响土壤养分的供应。图 4 表明,花生生育后期各处理土壤速效磷含量的时空

变化略有不同,随生育进程推进各处理 0—100 cm 剖面土壤速效磷含量均呈升高—降低—升高的变化趋势,CK, WN_0 , WN_1 和 WN_2 各处理低谷分别出现在花后 50 d, 60 d, 30 d 和 50 d, CK 和 WN_0 处理 0—60

cm 土层速效磷含量峰值分别出现在花后 20 d,40 d, WN_1 和 WN_2 两施氮肥处理则均出现在花后 60 d,开花后 50 d 时 CK 和 WN_2 处理 0—100 cm 剖面土壤速效磷含量明显亏缺。花生生育后期 0—100 cm 土壤剖面速效磷含量随土层增加而降低,0—60 cm 土层降幅明显且尤以 40—60 cm 土层降幅较大,60 cm 以下土层土壤速效磷含量低至 10 mg/kg 左右且变

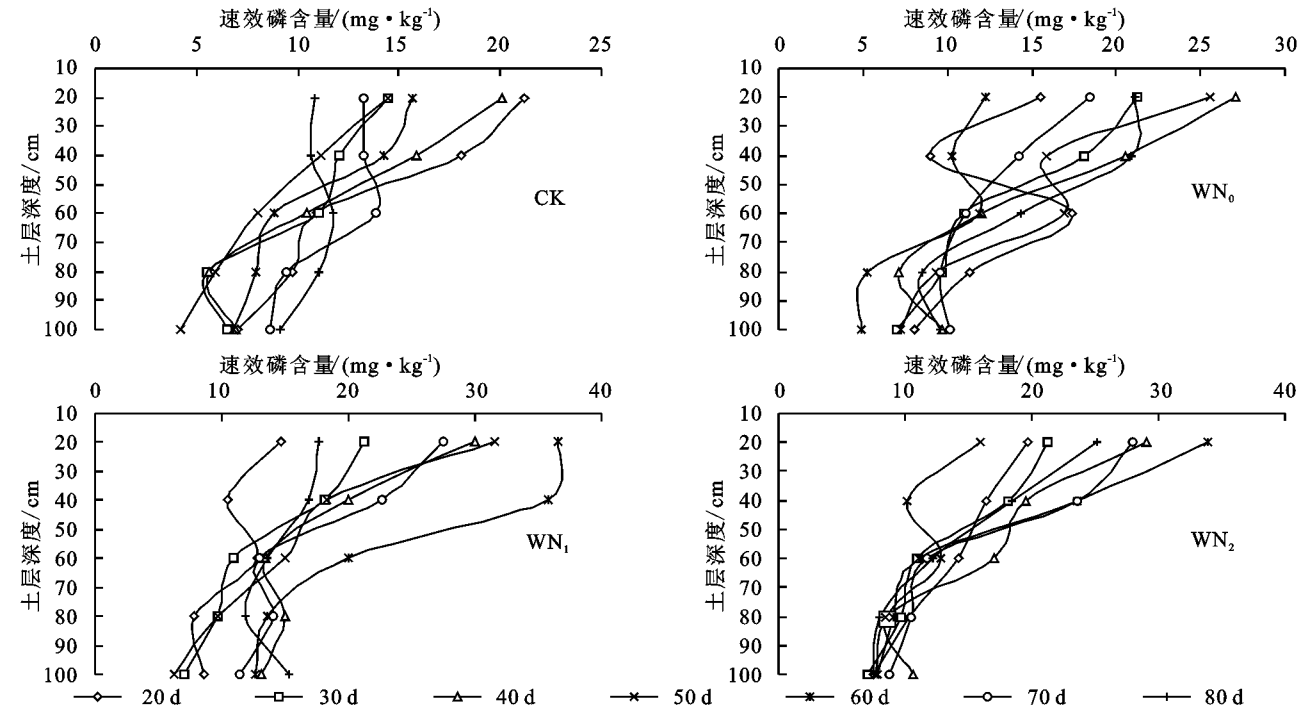


图 4 花生生育期内各处理土壤速效磷时空含量变化

2.5 对花生农艺性状及产量的影响

表 2 看出,各灌水施肥处理下,两花生品种的主茎高间均无显著差异,分枝数和第一侧枝荚果数受品种和处理的影响,两花生品种 WN_1 处理产量均显著或极显著高于其他处理,花育 22 号产量最高为 6 366.0

kg/hm², WN_2 处理显著或极显著高于 CK 和 WN_0 处理。CK 处理下花育 25 号产量并非最低,可能与品种耐肥特性有关。 WN_1 处理下花育 25 号产量的提高主要是由于秕果数的显著降低,而花育 22 号产量的提高主要是由于第一侧枝荚果数和荚果总数极显著增加。

表 2 各处理下花生主要农艺和产量性状

品种	处理	主茎高/ cm	分枝数/ (条/株)	第一侧枝荚果数/ (个/株)	荚果数/ (个/株)	秕果数/ (个/株)	产量/ (kg·hm ⁻²)
花育 25 号	CK	50.83a	8.56Aa	9.20Aa	14.50Ab	2.50Aa	5114.85Bb
	WN_0	50.14a	7.67Ab	9.44Aa	13.89Bc	2.11Aa	4453.05Cc
	HY25	53.69a	9.50Aa	9.88Aa	16.08Aa	1.25Ab	5688.75Aa
花育 22 号	WN_2	51.69a	8.57aA	10.43Aa	16.86Aa	2.43Aa	5389.20Ab
	CK	52.83a	8.29Aa	8.00Ac	13.43Bb	2.86Aa	4496.25Cd
	WN_0	53.45a	6.60Ab	6.70Bc	10.50Cb	1.10Bb	5586.30Bc
HY22	WN_1	55.48a	8.50Aa	13.13Aa	18.75Aa	2.13Aa	6366.00Aa
	WN_2	54.78a	8.43Aa	11.00Ab	14.88Bb	3.88Aa	6140.55Ab

注:同列不同大、小写字母代表差异显著性达 1%和 5%显著水平。

3 讨论与结论

以往研究表明,花生生育期内土壤剖面水分变化

与花生生长发育状况和浇水时期有关,0—20 cm 是花生根系集中区,也是土壤水分剧烈变化层,而枸杞园中 0—60 cm 土层变化激烈,且灌水量越大,变化越

明显。花生田 30—70 cm 土层土壤含水量变化相对稳定,受花生生长发育和浇水时期的影响较小;70—120 cm 土层含水量受浇水时期和花生生长发育时期的影响较大,此层土壤含水量的升高滞后于浇水时期 10~20 d^[14,24]。花生根系吸水能力和强度在荚果膨大中期最大,对土壤水分的吸收以 30—70 cm 为主要土层,保持此层土壤含水量充足和稳定,可为花生生长发育提供一个相对优越的土壤水分环境。本试验条件下,花生全生育期内,开花期灌水施肥使 0—100 cm 土壤剖面各层平均含水量均随土层深度增加而升高,利于 0—60 cm 土层土壤含水量保持稳定,增加 60—80 cm 土层含水量且高量施氮使水分下渗速度减缓,60—80 cm 土层含水量增加时间滞后到花后 70 d。灌水施肥处理 10~30 d 后明显增加土壤剖面含水量,施用氮肥可使 0—60 cm 土层土壤含水量升高滞后于不施肥处理 10 d 左右。灌水施肥处理明显增加 80—100 cm 土层含水量,低量施氮处理深层土壤含水量升高明显。

硝态氮是作物吸收氮的主要形态,由于不易被土壤胶体吸附,易随水分发生淋溶损失而进入地下水体引起环境污染。硝态氮的淋失主要受灌溉、施肥、土壤特性等因素影响,合理的施肥配比及合理的有机无机肥配施可以降低土壤特别是深层土壤硝态氮的累积,从而减轻硝态氮淋溶的风险^[25-26],当灌水条件一致时,土壤中硝态氮的积累水平是决定其淋失量的重要因素^[23]。因此,控制土壤氮素累积和化肥施用水平是降低其淋失风险的关键环节^[27]。适量施氮可以促进作物生长和作物对土壤水氮的利用,提高其对氮素的吸收利用能力;过量施氮则导致硝态氮在土壤中大量累积,提高硝态氮随水分淋溶危险,不仅无明显增产效果,反而使大量肥料氮素残留在土壤中,提高硝态氮随水分淋溶的危险,但硝态氮向下层土壤的移动显著滞后于水分^[10,23]。高茹等研究表明,土壤硝态氮积累水平越高,其累积淋失量增加就越快,此外,硝态氮积累的深度也直接影响作物对硝酸盐的吸收。作物生长当季的硝态氮残留主要分布在 0—60 cm 土层,且受灌水方式的影响较大^[10,28-29]。也有研究表明,土壤硝态氮主要聚集在 0—40 cm 土层^[30],在降雨作用下,施氮超过 240 kg/hm²,土壤硝态氮沿剖面由 60 cm 土层下移到了 140 cm 深处,而不施氮和施氮 120 kg/hm² 小区的硝态氮却无明显下移趋势^[28]。当施氮量增加至 320 kg/hm² 时,发生硝态氮淋失的土层可达 30—120 cm。施氮量增加,土壤硝

态氮残留增加,必然增加了夏闲期土壤硝态氮淋失至 60 cm 以下的可能^[10]。氮肥减量后移可使耕层无机氮供应较好地与作物吸收同步,降低收获期 0—100 cm 土层硝态氮积累,减少氮素的田间表观损失^[31]。本试验条件下,开花期灌水施氮 30 d 后土壤硝态氮淋洗至 80 cm 土层,灌水施氮后 10~20 d 是土壤 NO₃⁻-N 淋失的强烈期,施肥量低于 20 kg/hm² 时,花生成熟期 100 cm 土层硝态氮含量均超过地下水污染标准,而施肥量为 30 kg/hm² 时提高了 0—60 cm 土层 NO₃⁻-N 含量,虽使土壤硝态氮淋溶风险提前 10 d,但硝态氮向下层土壤的淋溶移动滞后于土壤水分 20~30 d,至成熟期 100 cm 土层硝态氮含量并未超过地下水污染标准,可能与氮肥供应强度、花生生长和根系吸收等因素有关。可见,花生后期补水施氮量与花生生长发育、生态环境间相辅相成的关系有待深入研究。

花生田土壤主要速效养分含量的高低可表征土壤养分供应能力和强度,进而影响肥料利用效率和产量。山东海阳棕壤土壤速效性氮磷含量分别为 69.6 mg/kg 和 14.5 mg/kg 时表示土壤养分供应能力较小,土壤养分表现亏缺;当土壤速效氮磷养分含量分别达到 105.9,44.6 mg/kg 时土壤养分丰富,为当季花生提供丰富的养分供应^[7]。本试验条件下,花生生育期内不施氮和低氮肥处理除开花后 60 d 时 0—40 cm 土壤水解性氮含量平均低于 38.7 mg/kg 明显出现低谷外,花后 20~50 d 的 0—40 cm 土层水解氮含量均在 79.8 mg/kg 以上。开花期施用氮肥可提高花生田土壤 0—100 cm 剖面土壤水解性氮含量,0—40 cm 土层高者达 200 mg/kg 以上,花生生育后期土壤氮素的供应能力和供应强度增强;不施氮和低氮肥处理于花后 60 d 时明显表现氮素养分供应亏缺,致使产量极显著低于施氮肥处理,但高氮肥用量并未使产量显著升高两品种反而均表现显著降低,且高量氮肥的施用增加了 NO₃⁻-N 和水解性氮淋失的风险。花生开花后补充水分和氮肥亦可提高 0—40 cm 土层 Olsen-P 含量,60 cm 以下土层 Olsen-P 含量低至 10 mg/kg 左右。花生开花后 30 d 和 50~60 d 时,花生田土壤 Olsen-P 含量将表现降低,磷素供应强度减弱,应及时补充土壤有效磷的供应。因此,花生高产高效肥水管理技术的制定与应用一方面要根据花生地下结果生长习性、根瘤形成和固氮对氮素供应的敏感性,在注重施肥时期、肥料种类、施用量、土壤等因素的同时,还要统筹花生开花后旺盛生长、雨热同期

间和养分供应吸收与淋失间的矛盾,达到花生高效生产与水分和肥料利用效率双提高,保持高效、持续发展的友好社会和生态环境。

参考文献:

- [1] 贺军奇,任超.不同灌水定额条件下土壤水分空间变化特征研究[J].节水灌溉,2010(5):28-31.
- [2] 聂斌,李文刚,江丽华,等.不同灌溉方式对设施番茄土壤剖面硝态氮分布及灌溉水分效率的影响[J].水土保持研究,2012,19(3):102-107.
- [3] 张智猛,戴良香,丁红,等.中国北方主栽花生品种抗旱性鉴定与评价[J].作物学报,2012,38(3):495-504.
- [4] 张智猛,万书波,戴良香,等.施氮水平对不同花生品种氮代谢及相关酶活性的影响[J].中国农业科学,2011,44(2):280-290.
- [5] 孙彦浩.花生栽培研究与生产发展[J].中国油料,1994,16(3):78-81.
- [6] 周录英,李向东,汤笑,等.氮、磷、钾肥不同用量对花生生理特性及产量品质的影响[J].应用生态学报,2007,18(11):2468-2474.
- [7] 闫振芹,范美玲,姜常松,等.海阳市花生土壤速效养分丰缺指标及其参数的研究[J].山东农业科学,2011,43(6):62-64.
- [8] 吴正锋,陈殿绪,郑永美,等.花生不同氮源供氮特性及氮肥利用率研究[J].中国油料作物学报,2016,38(2):207-213.
- [9] 王启现,王璞,王秀玲,等.黄淮海平原玉米施氮量对后茬小麦土壤剖面硝态氮和产量的影响[J].生态学报,2006,26(7):2275-2280.
- [10] 戴健,王朝辉,李强,等.氮肥用量对旱地冬小麦产量及夏闲期土壤硝态氮变化的影响[J].土壤学报,2013,50(3):956-964.
- [11] 吴永成,周顺利,王志敏,等.华北地区夏玉米土壤硝态氮的时空动态与残留[J].生态学报,2005,25(7):1620-1625.
- [12] 王启现,王璞,申丽霞,等.施氮时期对玉米土壤硝态氮含量变化及氮盈亏的影响[J].生态学报,2004,24(8):1582-1588.
- [13] 郑国保,张源沛,孔德杰,等.不同灌溉定额对枸杞土壤水分动态变化规律的影响[J].西北农业学报,2012,21(2):117-120.
- [14] 周青云,孙西欢,康绍忠.蓄水坑灌条件下土壤水分运动的数值模拟[J].水利学报,2006,37(3):342-348.
- [15] 陈佰鸿,曹建东,王利军,等.不同滴灌条件下土壤水分分布与运移规律[J].节水灌溉,2010(7):6-10.
- [16] 王进鑫,罗伟祥,刘广全,等.黄土高原人工林根区土壤水分亏缺状况与空间分布[J].西北林学院学报,2004,19(4):1-4.
- [17] 夏桂敏,陶洋,郑丽丽,等.交替灌溉对花生水分入渗规律及水分利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2014,33(1):113-115.
- [18] 王海珍,梁宗锁,韩蕊莲,等.不同土壤水分条件下黄土高原乡土树种耗水规律研究[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2005,33(6):57-63.
- [19] 杨启国,张旭东,杨兴国.甘肃中部半干旱区紫花苜蓿耗水规律及土壤水分变化特征研究[J].中国农业气象,2003,24(4):37-40.
- [20] 山东省统计局.山东统计年鉴[EB/OL]. <http://old.stats-sd.gov.cn/tjnj/nj2014/indexch.htm>. 2014.
- [21] 宁婷,郭忠升.半干旱黄土丘陵区撂荒坡地土壤水分循环特征[J].生态学报,2015,35(15):5168-5174.
- [22] 万书波.中国花生栽培学[M].上海:上海科学技术出版社,2003.
- [23] 赵同科,张成军,杜连凤,等.环渤海七省(市)地下水硝酸盐含量调查[J].农业环境科学学报,2007,26(2):779-783.
- [24] 张智猛,吴正峰,丁红,等.灌水时期对花生生育后期土壤剖面水分变化和产量的影响[J].花生学报,2013,42(2):14-20.
- [25] Moreno F, Cayuela J A, Fernández-Boy J E, et al. Water balance and nitrate leaching in an irrigation Maize crop in SW Spain[J]. Agricultural Water Management, 1996,32(1):71-83.
- [26] 张慧霞,周怀平,杨振兴,等.长期施肥对旱地土壤剖面硝态氮分布和累积的影响[J].山西农业科学,2014,42(5):465-469.
- [27] 高茹,李裕元,杨蕊,等.亚热带主要耕作土壤硝态氮淋失特征试验研究[J].植物营养与肥料学报,2012,18(4):839-852.
- [28] 王西娜,王朝辉,李生秀.施氮量对夏季玉米产量及土壤水氮动态的影响[J].生态学报,2007,27(1):197-204.
- [29] 韦彦,孙丽萍,王树忠,等.灌溉方式对温室黄瓜灌溉水分分配及硝态氮运移的影响[J].农业工程学报,2010,26(8):67-72.
- [30] 白美健,许迪,李益农.冬小麦表施尿素畦灌下土壤水氮分布试验研究[J].水利学报,2010,41(10):1254-1260.
- [31] 赵士诚,裴雪霞,何萍,等.氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(2):492-497.