

甘薯花生轮作对花生生理及产量品质的影响

唐朝辉^{1,2,3}, 郭峰^{1,2,3*}, 张佳蕾^{1,2,3}, 杨莎^{1,2,3}, 王建国^{1,2,3}, 孟静静^{1,2,3}, 耿耘^{1,2,3}, 李新国^{1,2,3}, 万书波^{2,3,4*}

(1. 山东省农业科学院生物技术研究中心, 山东 济南, 250100;

2. 山东省作物遗传改良与生态生理重点实验室, 山东 济南, 250100;

3. 农业农村部华东地区作物栽培科学观测实验站, 山东 东营, 257000;

4. 山东省农业科学院, 山东 济南, 250100)

摘要:为解决花生连作障碍问题,明确甘薯-花生轮作对花生连作障碍的缓解效应,在多年花生连作地块,研究了甘薯-花生轮作(GHZ)与花生连作(HHZ)2种栽培模式下花生的营养生长、生理特性、产量及品质。结果表明:对比HHZ处理,GHZ处理显著促进了花生营养生长,提高了花生叶面积指数、叶绿素含量、净光合速率和光合生产能力;硝酸还原酶活性和根系活力提高;花生干物质积累量增加,荚果产量提高了14.4%,出仁率提高。此外,GHZ处理显著增加了花生籽仁蛋白质含量、粗脂肪含量及O/L比值,降低可溶性糖含量,改善了花生籽仁品质。甘薯-花生轮作可有效缓解花生连作障碍。

关键词:甘薯花生轮作;连作花生;生长发育;产量品质

中图分类号:S565.2

文献标识码:A

文章编号:1007-9084(2020)06-1002-08

Effect of sweet potato and peanut rotation on physiological characteristics and yield and quality of peanut

TANG Zhao-hui^{1,2,3}, GUO Feng^{1,2,3*}, ZHANG Jia-lei^{1,2,3}, YANG Sha^{1,2,3}, WANG Jian-guo^{1,2,3}, MENG Jing-jing^{1,2,3},
GENG Yun^{1,2,3}, LI Xin-guo^{1,2,3}, WAN Shu-bo^{2,3,4*}

(1. Biotechnology Research Center, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China; 2. Key Laboratory of Crop Genetic Improvement and Ecological Physiology of Shandong Provinces, Jinan 250100, China; 3. Scientific Observation and Experiment Station of Crop Cultivation in East China of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Dongying 257000, China; 4. Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract: In order to solve the problem of peanut continuous cropping obstacle, and clarify the alleviation effect of sweet potato peanut rotation on peanut continuous cropping obstacle, the nutritional growth, physiological characteristics, yield and quality of peanut under two conditions of sweet potato peanut rotation (GHZ) and peanut continuous cropping (HHZ) were studied in peanut continuous cropping plot for many years. The results showed that GHZ treatment significantly promoted the growth of nutrition, increased the leaf area index, chlorophyll content and net photosynthetic rate of peanut, increased the photosynthetic capacity, nitrate reductase activity, root activity, dry matter accumulation, pod yield and kernel rate. In addition, compared with HHZ treatment, GHZ treatment significantly increased protein content, crude fat content and O/L ratio of peanut kernel, decreased soluble sugar content and improved peanut kernel quality. Sweet potato peanut rotation can alleviate the obstacle of peanut continuous cropping.

Key words: sweet potato peanut rotation; continuous cropping peanut; growth and development; yield and quality

收稿日期:2020-07-20

基金项目:国家重点研发计划(2018YFE0108600);山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019ZZ011);山东省农业科学院农业科技创新工程项目(CXGC2018D04)

作者简介:唐朝辉(1988-),男,农艺师,主要从事花生栽培生理研究,E-mail: tangzhaohui1116@163.com

* 通讯作者:万书波,研究员,E-mail: wanshubo2016@163.com;郭峰,副研究员,E-mail: gf123456gh@126.com

花生是我国重要的油料和经济作物,为保障我国食用油供应、食品加工和农民增收起了重要作用^[1]。由于我国土地资源短缺和花生产区的相对集中,加之种植业结构调整、种植习惯和种植效益等因素的综合影响,花生主产区连作面积越来越大。然而,花生不耐连作,连作对花生的影响主要表现在花生植株弱小、个体生长发育缓慢、产量减少、品质降低等,且上述症状随连作年限的增加而加重^[2-6]。因此,连作障碍已成为当前制约我国花生产业良性发展的重要因素之一^[7]。甘薯用途广泛,在保障我国粮食安全中重要性日益凸显^[8]。受我国耕地面积的限制,甘薯主产区连作问题也十分突出,甘薯连作造成病虫害加剧,产量和品质严重下降,连作障碍也影响了甘薯产业的持续健康发展^[9]。

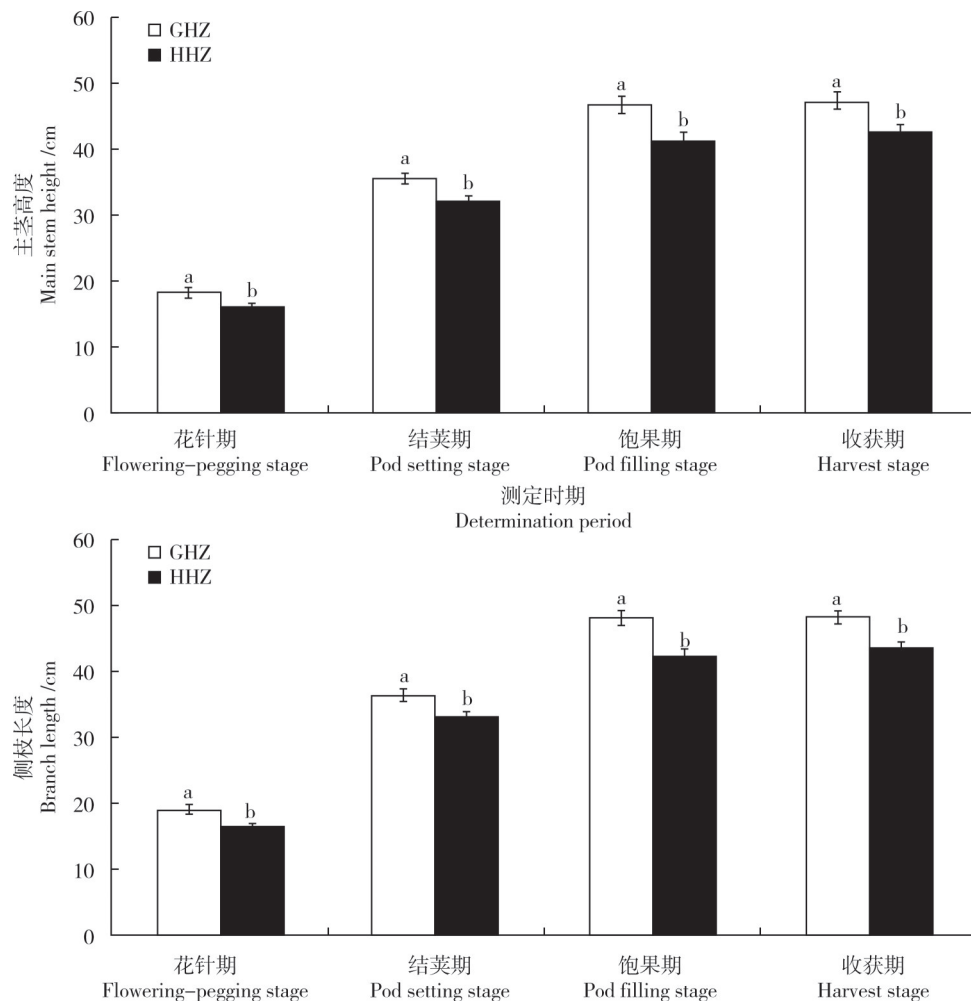
研究表明,轮作换茬是缓解花生连作障碍最经济有效的措施^[10]。花生与小麦、萝卜^[11]、油菜^[12]、水

稻^[13]、玉米^[14]等作物轮作均减轻了花生连作障碍,显著增加了花生产量;而关于甘薯与花生轮作现有研究主要侧重于甘薯花生轮作施肥技术方面,探讨了甘薯花生轮作制度下的合理施肥途径,建立了甘薯花生轮作制度施肥模型^[15,16],其他方面研究鲜见报道。由此,围绕花生和甘薯主产区连作问题,本文研究了甘薯-花生轮作对花生生理特性、产量品质的影响,以期为缓解花生连作障碍提供理论依据和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在山东省临沂市莒南县涝坡镇连作4年的花生试验田进行,试验地为砂壤土,土壤基本地力:有机质含量 7.97 g/kg、碱解氮含量 76.17 mg/kg、速效磷含量 39.51 mg/kg、速效钾含量 62.31 mg/kg。



注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著;GHZ:甘薯-花生轮作;HHZ:花生连作

Note: Values marked by different letters are significantly different at $P < 0.05$ between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

图1 甘薯-花生轮作对花生主茎高和侧枝长的影响

Fig. 1 Effect of sweet potato and peanut rotation on main stem height and lateral branch length of peanut

供试花生品种为海花1号、甘薯品种是济薯25。2018–2019年试验,均为春播,设置花生连作(HHZ)、甘薯花生轮作(GHZ, 2018年种植甘薯, 2019年种植花生)2种处理,于2019年取样测定。花生种植密度是 1.5×10^5 穴/hm²,起垄种植,垄距80 cm,一垄双行,垄上小行距25 cm,穴距16 cm,每穴2粒;甘薯垄宽80 cm,垄高20 cm,株距21 cm。每年均施用复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15)750 kg/hm²。试验采用随机区组设计,小区面积66.7 m²,3次重复。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 植株性状考察 于花针期、结荚期、饱果期、收获期,分别在每个小区选取有代表性的3株植株,调查植株性状和干物质重。

1.2.2 叶绿素含量及净光合速率(Pn)测定 在花针期、结荚期、饱果期、收获期,于晴天10:00左右,采用美国产Li-6400便携式光合测定仪测定花生倒3叶叶片净光合速率,同时用日产SPAD-502叶绿素计测定叶片叶绿素SPAD值。

1.2.3 硝酸还原酶活性及根系活力测定 硝酸还原酶(NR)活性采用活体法测定;根系活力采用TTC法测定^[17]。

1.2.4 花生产量与品质 收获时每个处理选取代表性植株10株,调查单株结果数、饱果数等性状。采用小区局部测产,测产面积6.67 m²,3次重复。荚果晾晒后,调查荚果产量、千克果数、出仁率等。随机选取饱满一致的籽仁进行品质指标测定,可溶性糖含量用蒽酮比色法^[18]测定,采用波通公司DA7250

型近红外成分测定仪测定蛋白质、粗脂肪、脂肪酸(油酸、亚油酸)。

1.3 数据处理

采用Excel处理试验数据,SPSS 16.0数据处理系统进行处理间各指标的差异显著性检验,显著性水平设为 $\alpha=0.05$,采用LSD法进行多重比较。

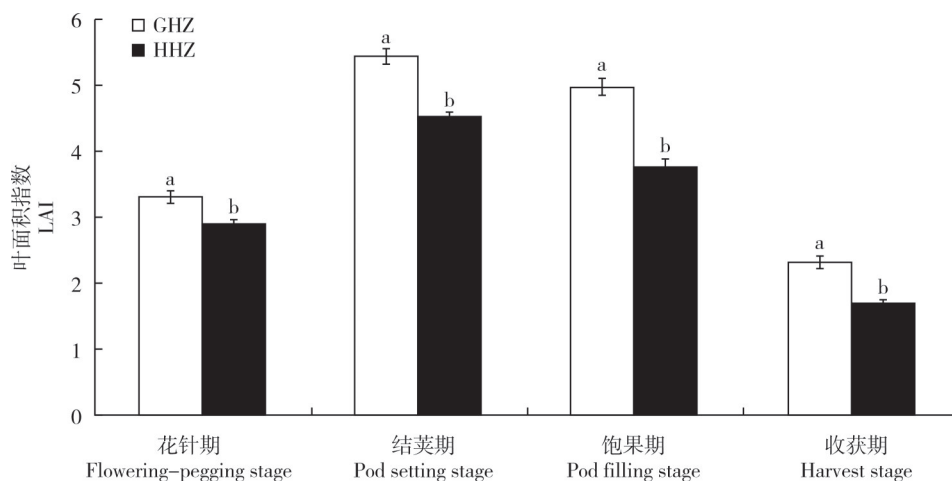
2 结果分析

2.1 甘薯-花生轮作对花生植株性状影响

主茎高和侧枝长一定程度上反映了花生植株生育状况和内部生理生化水平^[2]。从图1可以看出,与HHZ处理相比,GHZ处理显著提高了不同生育期的花生主茎高和侧枝长,花针期、结荚期、饱果期和收获期主茎高分别增加15.1%、10.9%、13.6%和10.8%,侧枝长分别增加15.2%、10.3%、13.6%和10.8%。表明甘薯-花生轮作可缓解花生连作对花生营养生长的抑制作用,其中花针期表现最为明显。

2.2 甘薯-花生轮作对花生叶面积指数(LAI)的影响

LAI是反映作物叶面数量、冠层结构变化、群体生长发育及对光能利用情况的重要指标,维持较高的LAI是花生高产的基础^[19,20]。GHZ处理较HHZ明显增加了花生不同生育期LAI,花针期和饱果期增幅相对较小,分别增加14.5%和20.4%,结荚期和收获期增幅较大,分别为32.1%、37.3%,较高的LAI为其增加光合面积和增加物质积累奠定了基础(图2)。



注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著;GHZ:甘薯-花生轮作;HHZ:花生连作

Note: Values marked by different letters are significantly different at $P < 0.05$ between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

图2 甘薯-花生轮作对花生叶面积指数的影响

Fig. 2 Effect of sweet potato and peanut rotation on leaf area index of peanut

2.3 甘薯-花生轮作对花生叶片叶绿素 SPAD 值的影响

叶绿素是作物重要的光合色素,花生功能叶片 SPAD 值的高低是反映光合能力的重要指标^[21]。由图 3 可以看出,与 HHZ 处理相比,GHZ 处理显著提高了花生叶绿素 SPAD 值,花针期、结荚期、饱果期和收获期分别比 HHZ 增加 23.5%、20.6%、34.2% 和 24.7%,其中饱果期最为明显,表明其吸收光线的能力显著提高。

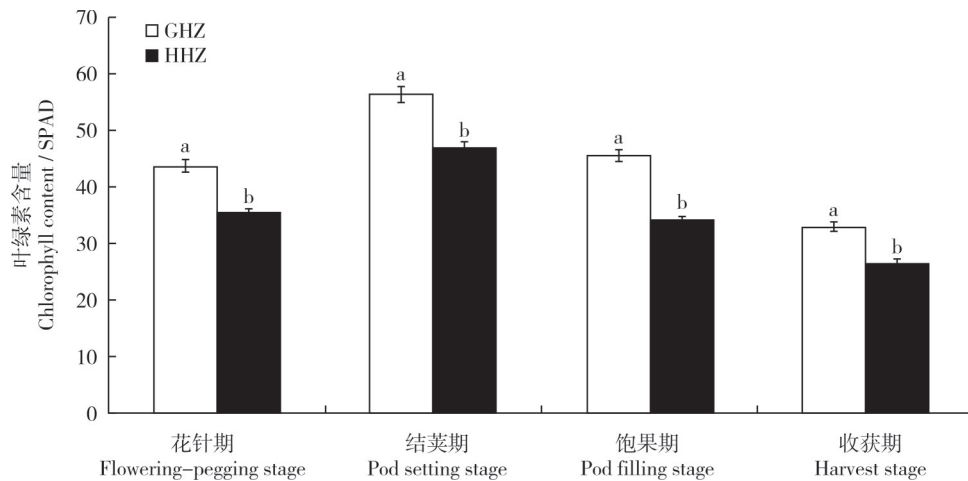
2.4 甘薯-花生轮作对花生叶片净光合速率(Pn)的影响

花生功能叶片 P_n 反映作物光合作用积累的有

机物,是作物光合特性的关键指标^[22]。GHZ 处理与 HHZ 处理相比明显提高了各生育期花生叶片 P_n ,花针期、结荚期、饱果期和收获期分别与 HHZ 相比增加 8.5%、10.9%、11.7% 和 19%(图 4)。

2.5 甘薯-花生轮作对花生叶片硝酸还原酶(NR)的影响

NR 是作物氮素同化的关键酶,可反映作物体内氮素代谢水平^[23]。由图 5 可以看出,GHZ 处理整个生育期花生叶片 NR 显著高于 HHZ 处理,结荚期、收获期分别与 HHZ 相比增加 29.8%、42.1%。说明甘薯-花生轮作可促进花生氮素代谢,提高作物氮素营养水平。

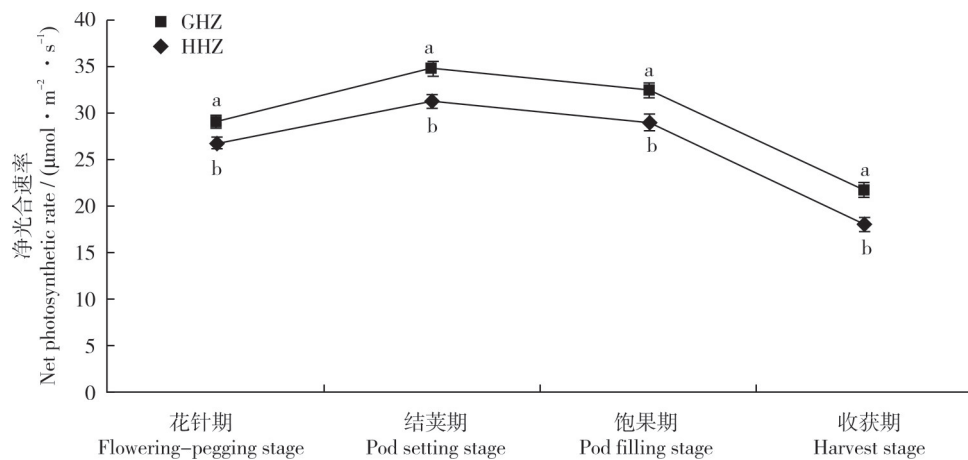


注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著; GHZ: 甘薯-花生轮作; HHZ: 花生连作

Note: Values marked by different letters are significantly different at $P < 0.05$ between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

图3 甘薯-花生轮作对花生叶片叶绿素 SPAD 值的影响

Fig. 3 Effect of sweet potato and peanut rotation on chlorophyll SPAD value of peanut leaves

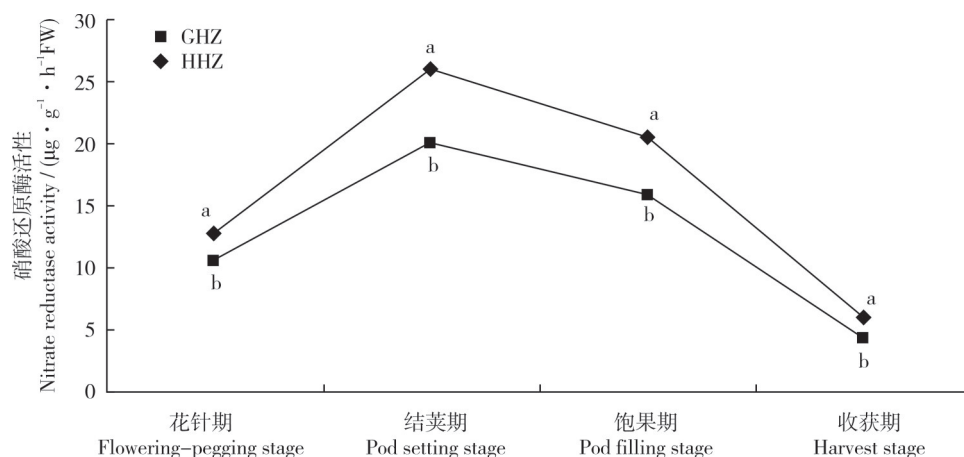


注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著; GHZ: 甘薯-花生轮作; HHZ: 花生连作

Note: Values marked by different letters are significantly different at $P < 0.05$ between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

图4 甘薯-花生轮作对花生叶片净光合速率的影响

Fig. 4 Effect of sweet potato peanut rotation on net photosynthetic rate of peanut leaves



注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著; GHZ: 甘薯-花生轮作; HHZ: 花生连作

Note: Values marked by different letters are significantly different at $P < 0.05$ between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

图5 甘薯-花生轮作对花生叶片硝酸还原酶的影响

Fig. 5 Effect of sweet potato peanut rotation on nitrate reductase in leaves of peanut

2.6 甘薯-花生轮作对花生根系活力的影响

根系活力反映作物对水分和养分吸收效率,对作物生长发育及产量产生直接影响^[24]。GHZ处理与HHZ处理相比显著增加了各生育期根系活力,GHZ处理花针期、结荚期、饱果期和收获期的根系活力分别比HHZ处理增加18.8%、27.1%、23.5%和17.6%(图6)。

2.7 甘薯-花生轮作对花生干物质积累量的影响

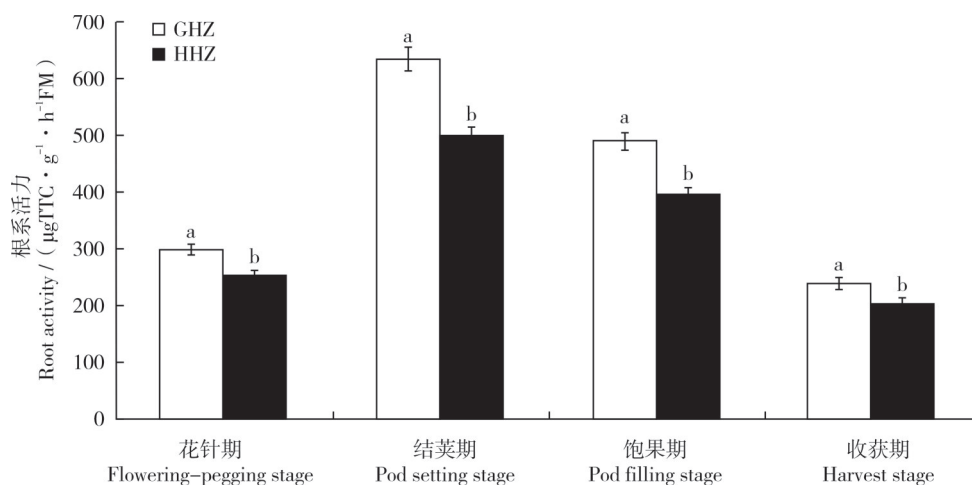
与HHZ处理相比,GHZ处理花针期干物质积累量无显著差异,但明显增加了结荚期、饱果期和收获期的积累量,分别增加了25.2%、17.9%和27.9%(图7)。

2.8 甘薯-花生轮作对花生产量及产量构成因素的影响

表1可以看出,GHZ处理对连作花生产量及产量构成因素影响显著。与HHZ处理相比GHZ处理荚果产量增加14.4%,达到5369.75 kg/hm²。从产量构成因素方面分析,甘薯-花生轮作增产主要原因是增加花生单株结果数、提高饱果率及出仁率,其单株果数增加2.41个,饱果率增加11.5%,出仁率提高8.2%,经济系数提高10.9%。

2.9 甘薯-花生轮作对花生籽仁品质的影响

GHZ处理与HHZ处理相比,花生籽仁蛋白质和粗脂肪含量分别增加7.8%、7.5%,O/L值提高

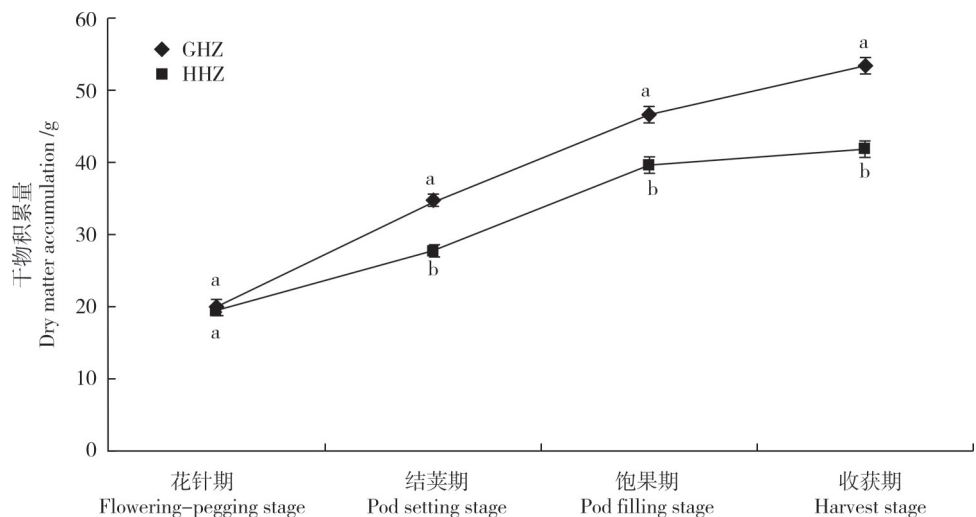


注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在 $P < 0.05$ 水平上差异显著; GHZ: 甘薯-花生轮作; HHZ: 花生连作

Note: Values marked by different letters are significantly different at $P < 0.05$ between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

图6 甘薯-花生轮作对花生根系活力的影响

Fig. 6 Effect of sweet potato peanut rotation on root activity of peanut



注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在P < 0.05水平上差异显著; GHZ: 甘薯-花生轮作; HHZ: 花生连作
Note: Values marked by different letters are significantly different at P < 0.05 between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

图7 甘薯-花生轮作对花生干物质积累量的影响
Fig. 7 Effect of sweet potato peanut rotation on dry matter accumulation of peanut

表1 甘薯-花生轮作对花生产量及产量构成因素的影响

Table 1 Effect of sweet potato peanut rotation on yield and yield components of peanut

处理	荚果产量	单株结果数	千克果数	饱果率	出仁率	经济系数
Treatment	Podyield / (kg/hm ²)	Pod No. per plant	Pod No. per kilogram	Full-pod rate / %	Kernel rate / %	Economic coefficient
GHZ	5369.75a	13.68a	632.69b	53.94a	74.35a	0.51a
HHZ	4695.23b	11.27b	668.36a	48.39b	68.71b	0.46b

注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在P < 0.05水平上差异显著; GHZ: 甘薯-花生轮作; HHZ: 花生连作
Note: Values marked by different letters are significantly different at P < 0.05 between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

表2 甘薯-花生轮作对花生籽仁品质的影响

Table 2 Effect of sweet potato peanut rotation on seed quality of continuous cropping peanut

处理	可溶性糖含量	蛋白质	粗脂肪	油酸/亚油酸
Treatment	Soluble sugar / %	Protein / %	Crude fat / %	O/L
GHZ	5.13 b	25.83a	51.76a	1.51a
HHZ	5.67 a	23.96b	48.17b	1.38b

注:参数标以不同字母的值表示同一时期不同处理间在P < 0.05水平上差异显著; GHZ: 甘薯-花生轮作; HHZ: 花生连作
Note: Values marked by different letters are significantly different at P < 0.05 between different treatments in the same period; GHZ: sweet potato peanut rotation; HHZ: peanut continuous cropping

9.4%,可溶性糖含量降低9.5%(表2)。说明甘薯-花生轮作可促进花生糖向蛋白质和脂肪转化,改善花生籽仁品质。

3 讨论

花生植株合理的营养生长是取得高产的重要基础,多年连作田花生个体生长发育缓慢导致植株矮小,且随着连作年限增加影响加重^[13,4,25,26]。本研究中甘薯-花生轮作(GHZ)处理显著提高花生主茎高和侧枝长,缓解了连作花生营养生长障碍,这与前

人研究模拟与小麦、水萝卜、油菜、菠菜等作物轮作缓解花生连作障碍的效果一致^[11],均能显著促进花生生长发育。

叶面积指数(LAI)和叶绿素含量及净光合速率(Pn)大小能够反映作物光合生产能力,是影响作物产量的重要因素^[27,28]。研究发现连作显著降低花生的Pn、冠层光合强度(CAP)和LAI,适当提高LAI是连作花生高产的基础^[29]。本研究结果表明,多年连作花生田进行甘薯花生轮作显著提高花生LAI、

SPAD值和 P_n ,提高了光合生产能力,促进了花生干物质的积累,为花生高产奠定了基础。本研究GHZ处理硝酸还原酶(NR)活性和根系活力均比HHZ处理显著提高,说明GHZ处理显著促进花生氮素代谢,改善氮素营养水平,GHZ处理有利于花生水肥吸收,促进花生生长发育。

花生栽培的最终目的是提高荚果产量和品质,但连作导致花生产量下降及品质降低^[2-4,30]。研究发现采用水萝卜、水稻、小麦、菠菜、油菜与花生轮作,可以显著减轻花生连作障碍,明显增加花生产量^[11,31]。本研究GHZ处理较HHZ处理显著提高花生荚果产量和出仁率,荚果产量增加14.4%。花生蛋白质含量和粗脂肪含量是衡量花生品质的主要指标^[32],与HHZ处理相比GHZ处理显著提高了蛋白质和粗脂肪含量,降低了可溶性糖含量,说明GHZ处理可促进糖向蛋白质和脂肪转化,改善花生籽仁品质。

本试验条件下,综合花生营养生长、产量以及品质分析,甘薯-花生轮作可有效缓解花生连作障碍,可作为花生连作产区提高花生产量和改善花生品质的有效措施之一。

参考文献:

- [1] 万书波. 我国花生产业面临的机遇与科技发展战略[J]. 中国农业科技导报, 2009, 11(1): 7-12. DOI: 10.3969/j.issn.1008-0864.2009.01.002.
- [2] 万书波. 中国花生栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003.
- [3] 郑亚萍, 王才斌, 黄顺之, 等. 花生连作障碍及其缓解措施研究进展[J]. 中国油料作物学报, 2008, 30(3): 384-388. DOI: 10.3321/j.issn: 1007-9084.2008.03.023.
- [4] 唐朝辉, 郭峰, 张佳蕾, 等. 花生连作障碍发生机理及其缓解对策研究进展[J]. 花生学报, 2019, 48(1): 66-70. DOI: 10.14001/j.issn.1002-4093.2019.01.012.
- [5] Liu P, Wan S B, Jiang L H, et al. Autotoxic potential of root exudates of peanut (*Arachis hypogaea* L.) [J]. Allelopathy Journal, 2010, 26(2): 197-206.
- [6] Cui L, Guo F, Zhang J L, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi combined with exogenous calcium improves the growth of peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings under continuous cropping [J]. J Integr Agric, 2019, 18(2): 407-416. DOI: 10.1016/s2095-3119(19)62611-0.
- [7] 刘苹, 赵海军, 李庆凯, 等. 三种酚酸类化感物质对花生根际土壤微生物及产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(1): 101-109. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2018.01.013.
- [8] 张海燕, 段文学, 解备涛, 等. 不同种类肥料对甘薯生长发育动态和产量的影响[J]. 山东农业科学, 2017, 49(7): 99-103. DOI: 10.14083/j.issn.1001-4942.2017.07.021.
- [9] 高志远, 胡亚亚, 刘兰服, 等. 甘薯连作对根际土壤微生物群落结构的影响[J]. 核农学报, 2019, 33(6): 1248-1255. DOI: 10.11869/j.issn.100-8551.2019.06.1248.
- [10] 王兴祥, 张桃林, 戴传超. 连作花生土壤障碍原因及消除技术研究进展[J]. 土壤, 2010, 42(4): 505-512.
- [11] 封海胜, 张思苏, 万书波, 等. 解除花生连作障碍的对策研究 I. 模拟轮作的增产效果[J]. 花生科技, 1996(01): 22-24. 1002-4093.1996.01.006
- [12] 马欣, 韩宝吉, 张丽梅, 等. 花生-油菜轮作模式下硼肥及其后效对作物产量的影响[J]. 中国油料作物学报, 2018, 40(6): 861-865, 888. DOI: 10.7505/j.issn.1007-9084.2018.06.016.
- [13] 卞能飞, 王晓军, 孙东雷, 等. 水稻-花生轮作对不同花生品种生长发育、产量和病虫害的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(20): 69-71. DOI: 10.15889/j.issn.1002-1302.2018.20.017.
- [14] 唐朝辉, 张佳蕾, 郭峰, 等. 小麦-玉米//花生带状轮作理论与技术[J]. 山东农业科学, 2018, 50(6): 111-115. DOI: 10.14083/j.issn.1001-4942.2018.06.019.
- [15] 章明清, 林琼, 杨杰, 彭嘉桂, 颜明娟, 李娟. 花生-甘薯轮作制中磷钾肥施肥模型研究[J]. 土壤通报, 2004(06): 758-762. 0564-3945(2004)06-0758-05
- [16] 戴树荣. 花生-甘薯轮作制平衡施肥模式的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2003, 9(1): 123-125. DOI: 10.3321/j.issn: 1008-505X.2003.01.023.
- [17] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [18] 汤章城主编. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京: 科学出版社. 2004.
- [19] 万书波, 王才斌, 卢俊玲, 等. 连作花生的生育特性研究[J]. 山东农业科学, 2007, 39(2): 32-36. DOI: 10.3969/j.issn.1001-4942.2007.02.009.
- [20] 李举华, 林荣芳, 刘兆丽, 等. 长期定位施肥对冬小麦叶面积指数及群体受光态势的影响[J]. 华北农学报, 2008, 23(3): 209-212.
- [21] 于畅, 王铭伦, 张俊, 等. 播期对花生光合性能与产量影响的研究[J]. 青岛农业大学学报: 自然科学版, 2011, 28(1): 16-19. DOI: 10.3969/J. ISSN. 1674-148X.2011.01.005.
- [22] 张春芳, 杨劲峰, 韩晓日, 等. 不同品种花生叶片光合特性及产量比较研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2014, 45(2): 152-157. DOI: 10.3969/j.issn.1000-1700.2014.02.006.
- [23] 王月福, 于振文, 李尚霞, 等. 氮素营养水平对冬小麦氮代谢关键酶活性变化和籽粒蛋白质含量的影响[J]. 作物学报, 2002, 28(6): 743-748. DOI: 10.3321/

- j.issn:0496-3490.2002.06.005.
- [24] 王素芳, 薛惠云, 张志勇, 等. 棉花根系生长与叶片衰老的协调性[J]. 作物学报, 2020, 46(1): 93-101. DOI:10.3724/SP.J.1006.2020.94043.
- [25] 张思苏, 封海胜, 万书波, 等. 花生不同连作年限对植株生育的影响[J]. 花生科技, 1992(2): 21-23.
- [26] Liu P, Liu Z H, Wan S B*, et al. Effects of three long-chain fatty acids present in peanut (*Arachis hypogaea* L) root exudates on its own growth and the soil enzymes activities. *Allelopathy Journal*, 2012, 29(1): 13-24
- [27] 刘妍, 刘兆新, 何美娟, 等. 不同栽培方式对连作花生生理特性、产量及品质的影响[J]. 花生学报, 2018, 47(2): 41-46. DOI: 10.14001/j.issn.1002-4093.2018.02.007.
- [28] Shibata M, Mikota T, Yoshimura A, et al. Chlorophyll formation and photosynthetic activity in rice mutants with alterations in hydrogenation of the chlorophyll alcohol side chain[J]. *Plant Sci*, 2004, 166(3): 593-600. DOI:10.1016/j.plantsci.2003.10.014.
- [29] 王才斌, 吴正锋, 成波, 等. 连作对花生光合特性和活性氧代谢的影响[J]. 作物学报, 2007, 33(8): 1304-1309. DOI:10.3321/j.issn:0496-3490.2007.08.014.
- [30] 吴正锋, 成波, 王才斌, 等. 连作对花生幼苗生理特性及荚果产量的影响[J]. 花生学报, 2006, 35(1): 29-33. DOI:10.3969/j.issn.1002-4093.2006.01.007.
- [31] 陈学南. 低丘红壤区花生连作重茬的负效应与治理对策[J]. 江西农业科技, 2003(2): 40-41.
- [32] 张佳蕾, 郭峰, 杨莎, 等. 不同肥料配施对酸性土钙素活化及花生产量和品质的影响[J]. 水土保持学报, 2018, 32(2): 270-275, 320. DOI:10.13870/j.cnki.stb-cxb.2018.02.040.

(责任编辑:王丽芳)