

孟自力, 叶美金, 闫廷梅, 等. 间作大蒜对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(5): 430-438.

MENG Zi-li, YE Mei-jin, YAN Yan-mei, et al. Soil microorganism quantity and soil enzyme activity in the wheat-garlic intercropping system[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(5): 430-438.

间作大蒜对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响

孟自力^{1,2}, 叶美金^{3,4}, 闫廷梅¹, 朱伟^{1*}, 闫向泉¹, 朱倩¹, 倪雪峰¹

(1. 商丘市农林科学院国家农作物区域试验站, 河南 商丘 476000; 2. 河南农业大学农学院, 郑州 450002; 3. 成都师范学院化学与生命科学学院, 成都 611130; 4. 四川农业大学小麦研究所, 成都 611130)

摘要:以商麦 156 为供试小麦品种, 分别于 2016 年 9 月 17 日、10 月 1 日和 10 月 15 日定植大蒜进行小麦间作大蒜试验, 研究间作大蒜对小麦根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响, 探寻小麦间作大蒜的最佳时期, 探究同一处理时期内不同生育期间作大蒜下的小麦根际土壤微生物和酶活性的变化规律。结果表明: 在任一处理时期间作大蒜的小麦根际细菌数量均极显著 ($P < 0.01$) 高于对照, 且与大蒜定植时长正相关, 至 140 d 时最大, W1G1 (小麦播种前 14 d 定植大蒜)、W2G2 (小麦与大蒜同一时间播种和定植)、W3G3 (小麦播种后 14 d 定植大蒜) 较对照 CK (仅播种小麦) 分别增加 83.64%、64.21% 和 44.94%。随生育期的后延, 对照和处理真菌数量均呈逐渐上升趋势, 但在同一处理时期内各处理真菌数量均低于小麦单作, 且大蒜定植时长与真菌数量负相关。硝化细菌与氨化细菌变化规律类似, 随处理时间的延长均表现先升高后降低的单峰变化趋势, 对照与处理间差异达到极显著水平 ($P < 0.01$), 处理间达到显著水平 ($P < 0.05$), 且均在 120 d 时达到最大值, 随后开始降低。在大蒜间作期内, 对照和处理的小麦根际土壤磷酸酶和脲酶活性变化规律相同, 均随生育期的延长而升高, 至 160 d 时 W1G1、W2G2、W3G3 磷酸酶和脲酶活性较对照分别提高 27.59%、23.45%、20.69% 和 30.56%、27.78%、16.67%。在 140 d 内, 过氧化氢酶活性均随生育期的后延而升高, 至 140 d 时达到最大值, 之后过氧化氢酶活力开始降低, 在 80、100、120、140 d 和 160 d 时, W1G1 较对照分别提高 18.19%、29.21%、40.51%、48.78% 和 62.71%。可见, 间作大蒜定植时期越早, 小麦根际细菌、硝化细菌和氨化细菌数量越多, 真菌数量越低, 磷酸酶、脲酶和过氧化氢酶活力越高。

关键词: 小麦; 大蒜; 间作; 土壤; 微生物; 酶活

中图分类号: S154.3

文献标志码: A

文章编号: 2095-6819(2018)05-0430-09

doi: 10.13254/j.jare.2018.0080

Soil microorganism quantity and soil enzyme activity in the wheat-garlic intercropping system

MENG Zi-li^{1,2}, YE Mei-jin^{3,4}, YAN Yan-mei¹, ZHU Wei^{1*}, YAN Xiang-quan¹, ZHU Qian¹, NI Xue-feng¹

(1. National Crop Regional Test Station, Shangqiu Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shangqiu 476000, China; 2. College of Agriculture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 3. College of Chemistry and Life Sciences, Chengdu Normal University, Chengdu 611130, China; 4. Triticeae Research Institute, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: The effects of garlic on the number of soil microbes and the activity of soil enzyme in wheat of shangmai 156 rhizosphere soil were explored by intercropping garlic in different planting period. The variation of soil microorganism and enzyme activity in the rhizosphere soil of wheat under the different breeding period during the symbiotic period was investigated. The results showed that the number of rhizosphere bacteria of the garlic wheat rhizosphere was significantly higher ($P < 0.01$) than that of the control (wheat single cropping), and it was positively related to the planting time of garlic, with the maximum at 140 d, and W1G1 (planting garlic 14 days earlier before cropping wheat), W2G2 (cropping garlic and wheat at the same date) and W3G3 (intercropping garlic 14 days later after sowing wheat) increased by

收稿日期: 2018-04-09 录用日期: 2018-05-28

基金项目: 河南省现代农业(小麦)产业技术体系项目(Z2010-01-08); 河南省科技攻关项目(15210211029, 152102110135, 162102310352)

作者简介: 孟自力(1986—), 男, 河南商丘人, 硕士研究生, 从事小麦栽培生理与生物化学研究。E-mail: qq244891980@163.com

*通信作者: 朱伟 E-mail: hn-zhwei@163.com

83.64%, 64.21% and 44.94% respectively. The fungi number of control and treatment increased gradually with the growth period, but the number of fungi of wheat-garlic intercropping in the same period was lower than that of wheat single cropping, and the length of garlic planting was negatively correlated with the number of fungi. The change of nitrifying bacteria and ammoniated bacteria was similar, and with the prolongation of treatment time, the change trend of the single peak was increased first and then decreased, the difference between control and treatments reached extremely significant ($P < 0.01$) level, while the treatments were at significant ($P < 0.05$) level, with all the maximum value at 120 d, then the index began to decrease. During the intercropping period of garlic, the changes of the activity of phosphatase and urease in the rhizosphere soil of the control and treatment of wheat were the same, all increased with the growth period, and the activity of W1G1, W2G2, W3G3 phosphatase and urease increased by 27.59%, 23.45%, 20.69% and 30.56%, 27.78% and 16.67%, respectively at 160 d. Within 140 d, the activity of catalase increased with the prolongation of the growth period, reached the maximum at 140 d, and then began to decrease. When at 80, 100, 120, 140 d and 160 d, W1G1 increased by 18.19%, 29.21%, 40.51%, 48.78% and 62.71% respectively. It could be seen that the earlier the period of interplanting garlic, the more bacteria, nitrifying bacteria and ammoniated bacteria in wheat rhizosphere, the lower the number of fungi, the higher the activity of phosphatase, urease and catalase, the more beneficial to the improvement of wheat rhizosphere microenvironment and the higher yield in the later period of wheat.

Keywords: wheat; garlic; intercropping; soil; microorganism; enzyme activity

随着农业生产由资源消耗型向技术效益型的转变,提高复种指数和单产将是未来农业中农作物增产的主要来源^[1],而间套种植是提高土地利用率和获得高产的重要途径。当前有关小麦间套作的研究主要集中在氮素营养^[2]、磷素营养^[3]、钾素营养^[4]的吸收利用和田间小气候^[5]的影响等方面,种植体系对土壤酶活性等的影响明显,李振高等^[6]研究了小麦根际微生物和酶活性,但仅针对不同基因型小麦而非针对间套作。王万磊等^[7]进行了小麦、大蒜间套作试验,但其研究的内容是其对麦长管蚜及其主要天敌种群动态方面的影响。目前,有关间作对土壤微生物和酶活性方面的研究在玉米与生姜^[8]上已有报道。大蒜根系或秸秆分泌物可通过间作或施用来影响其他作物根际土壤环境,进而影响其生长状况。巩彪等^[9]研究发现,大蒜秸秆数量的增加能有效提高土壤蔗糖酶、脲酶、磷酸酶、多酚氧化酶和过氧化氢酶等主要土壤酶活性,并显著降低根结线虫数量。赵文婷等^[10]在研究间作大蒜对连作条件下的当归影响时指出,当归生长中后期根际真菌数量随大蒜种植密度的增加而降低,并有效增加脲酶、蔗糖酶和磷酸酶等根际土壤酶活性,提高番茄植株抵制连作障碍的能力。作物间的间作还可通过改变微生物群落功能多样性,来改良土壤质量、恢复生态平衡。张旭龙等^[11]研究认为,新葵10号与光果甘草间作能显著提高盐碱地根际土壤酶活性和微生物多样性指数,对盐碱土壤质量的改良有积极作用。目前,缺乏不同套作时期对小麦根系土壤微生物和土壤酶活性方面的研究报道,为此,本试验采用小麦间作大蒜模式,研究了大蒜不同定植时期对小麦

根际土壤微生物数量及土壤酶活性的影响,探寻小麦间作大蒜的最佳时期,探究共生期内不同生育时期间作大蒜下的小麦根际土壤微生物和酶活性的变化规律,为小麦的优质丰产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试品种

小麦品种为商麦156,由商丘市农林科学院提供;大蒜品种为苍山白皮蒜,由河南农业大学提供。

1.2 试验设计

试验在河南农业大学试验田进行,其0~25 cm土层含有有机质 12.31 g·kg⁻¹、速效钾 95.08 mg·kg⁻¹、碱解氮 79.2 mg·kg⁻¹、有效磷 46.37 mg·kg⁻¹。试验设置12个小区,每小区面积10 m²,东西宽2 m、南北长5 m,在小区四周垂直深埋50 cm的塑料膜进行土壤隔离,小区间留宽35 cm的走道,每小区均为南北走向种植。各小区小麦播种时间均为2016年10月1日。小麦播种前14 d(9月17日),随机选取3个小区定植大蒜,10月1日再在这3个小区内播种小麦,使小麦与大蒜成行交替种植,行距20 cm,作处理1,记作W1G1,即小麦播种前14 d定植大蒜;在10月1日,随机选取3个小区同时成行交替播种小麦和定植大蒜,行距20 cm,作处理2,记作W2G2,即小麦与大蒜同一时间播种和定植;在小麦播种后14 d(10月15日),在随机选取的3个仅播种小麦的小区内定植大蒜,使小麦与大蒜成行交替种植,行距20 cm,作处理3,记作W3G3,即小麦播种后14 d定植大蒜;将剩下的3个仅播种小麦的小区用作对照,记作CK。

1.3 样品采集

从2017年1月17日开始取样,以后每隔20 d取样1次,共取样5次。采取S形取样法在每个小区取10个样点,每个样点轻轻拔出植株,采集距离植株根系0.5 cm以内的土壤,将10个样点的土样混匀后,分装在两个灭菌的保鲜袋内,其中一袋在4℃冰箱内保存,另一袋风干后过1 mm筛,分别用于土壤微生物数量和酶活性的测定。

1.4 测定项目与方法

采用稀释平板计数法测定细菌和真菌,其中细菌的分离和计数选用葡萄糖牛肉膏蛋白胨培养基,真菌的分离和计数选用马丁氏培养基,单位为CFU·g⁻¹干土。每克样品的菌数=同一个稀释度几次重复的菌落平均数×5×稀释倍数;氨化细菌和硝化细菌在液体培养基上进行培养,采用最大或然计数法(MPN)测定根际土壤所含活菌数^[12]。采用靛酚比色法测定脲酶活性,酶活以24 h后5 g土壤中NH₄⁺-N的毫克数表示;采用磷酸苯二钠法测定磷酸酶活性,酶活以24 h后2 g土壤中释放出酚的毫克数表示。采用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性,酶活以每克鲜重样品1 min内分解H₂O₂的毫克数表示^[13]。

1.5 数据统计分析

采用Excel 2007进行数据处理和作图,采用DPS 7.02软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 间作大蒜对小麦根际土壤细菌数量的影响

由图1可知,在各处理时期,处理之间小麦根际土壤细菌数量均高于对照,与对照差异极显著($P < 0.01$)

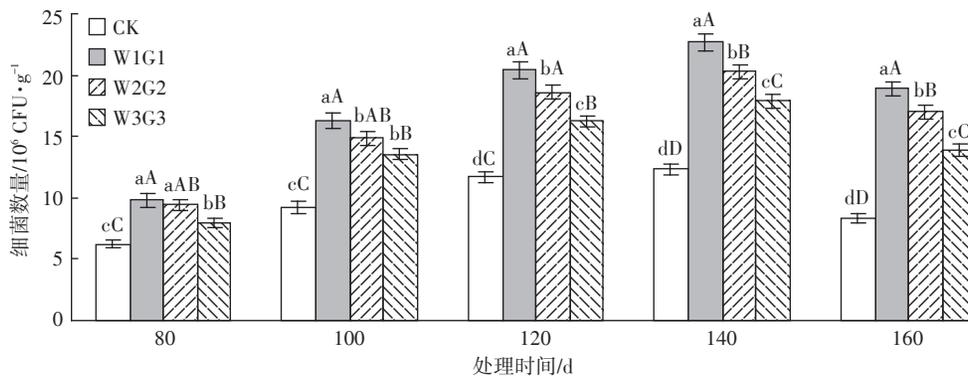
),且大蒜定植时间越早的处理细菌数量越高,各处理在同一时期的细菌数量从大到小依次为W1G1>W2G2>W3G3;在第80、100、120、140 d和160 d时,W1G1较对照CK分别增加57.12%、77.06%、74.59%、83.64%和126.04%,这表明间作大蒜较小麦单作更有利于小麦根际土壤细菌数量的增加;随着处理时间的延长,对照和处理小麦根际土壤细菌数量呈现先增加后降低的变化趋势,至140 d时CK、W1G1、W2G2和W3G3均达到最大值,至160 d时开始降低。

2.2 间作大蒜对小麦根际土壤真菌数量的影响

由图2可以得出,大蒜不同定植时期、不同处理时期对小麦根际土壤真菌数量的影响均存在差异。随处理时间的延长,对照和处理真菌数量均呈逐渐上升的趋势,但在同一处理时期内各处理下真菌数量普遍低于小麦单作对照,其真菌数量高低依次为CK>W3G3>W2G2>W1G1,这表明间作大蒜可以降低小麦根际土壤真菌数量。在80 d时W1G1、W2G2、W3G3较对照分别降低42.80%、33.14%和11.24%,定植时间最早的W1G1降幅最大,W2G2次之,W3G3再次,在100、120、140 d和160 d时规律与之类似,这说明间作大蒜定植时长与小麦根际真菌数量呈负相关关系。

2.3 间作大蒜对小麦根际土壤硝化细菌数量的影响

图3表明,随着处理时间的后延,对照和处理硝化细菌数量均呈现先升高后降低的变化规律,在120 d时达到最大值,在140 d和160 d时硝化细菌数量下降。在同一处理时期内,各处理硝化细菌数量均高于对照且与对照差异极显著($P < 0.01$),W1G1与W2G2、W3G3差异均达到显著水平($P < 0.05$),W2G2与W3G3之间除100 d时差异不显著,其余处理时期内差异均



图中不同小写或大写字母表示各处理间在5%或1%水平具有显著差异。下同

Different lowercase or uppercase letters in the same column mean significant difference among treatments at 5% and 1% level. The same below

图1 间作大蒜对小麦根际土壤细菌数量的影响

Figure 1 Effects of intercropping garlic on the number of bacteria in rhizosphere soil of wheat

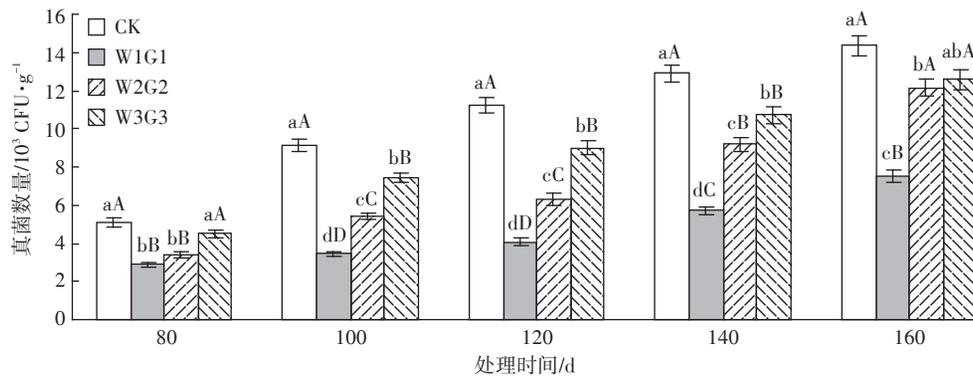


图2 间作大蒜对小麦根际土壤真菌数量的影响

Figure 2 Effects of intercropping garlic on the number of fungi in rhizosphere soil of wheat

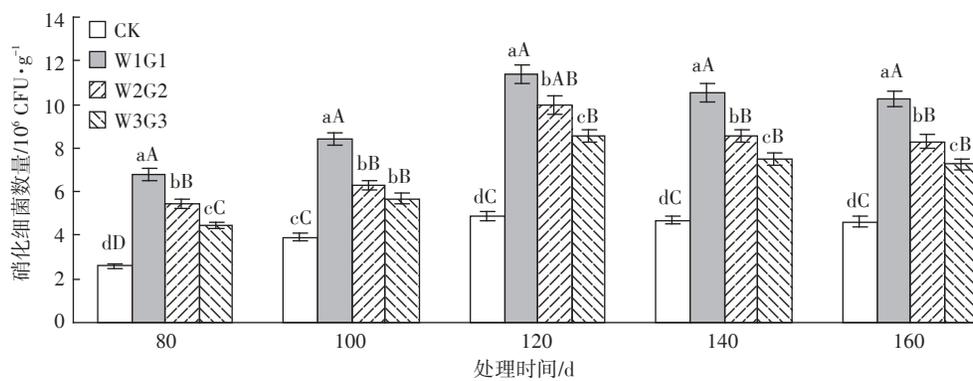


图3 间作大蒜对小麦根际土壤硝化细菌数量的影响

Figure 3 Effects of intercropping garlic on the number of nitrifying bacteria in rhizosphere soil of wheat

达到显著水平 ($P < 0.05$), 这表明大蒜定植时期越早越有利于小麦根际土壤硝化细菌数量的增多。在 120、140 d 和 160 d 时, W1G1 较对照分别增加 133.47%、125.21% 和 121.38%, W2G2 较对照分别增加 104.72%、82.69% 和 79.27%, W3G3 较对照分别增加 75.36%、60.26% 和 57.02%, 可见, 在 140 d 和 160 d 时虽然小麦根际硝化细菌数量呈下降趋势, 但间作小麦根际硝化细菌数量较对照仍保持较高的增幅, 这表明大蒜间作对小麦根际硝化细菌数量的增加起到重要作用, 这也为小麦植株对土壤中氮素的有效吸收奠定了基础。

2.4 间作大蒜对小麦根际土壤氨化细菌数量的影响

由图 4 可知, 随着处理时间的延长, 对照和处理表现出与硝化细菌类似的变化规律, 均呈现先升高后降低的单峰变化趋势, 且亦在 120 d 时达到最大值, 随后上述指标开始降低, 至 160 d 时氨化细菌数量进一步降低, 但此时对照和处理仍高于 80 d 时对应氨化细菌数量。同一处理时期, 处理 W1G1、W2G2、W3G3 与对照差异均达到极显著水平 ($P < 0.01$), 除 80、120 d 时 W2G2 和 W3G3 之间差异不显著外, 其他任一处理时

期 W1G1、W2G2、W3G3 之间差异均达到显著水平 ($P < 0.05$)。在 80 d 时小麦根际土壤氨化细菌数量大小依次为 W1G1 > W2G2 > W3G3 > CK, 100、120、140 d 和 160 d 时氨化细菌数量变化规律与 80 d 时类似, 这进一步表明间作大蒜能够提高小麦根际土壤氨化细菌数量。

2.5 间作大蒜对小麦根际土壤磷酸酶活性的影响

从图 5 可以看出, 在大蒜间作期内, 随着生育期的延长, 对照和各处理小麦根际土壤磷酸酶活性变化规律相同, 均呈现逐渐升高的态势, 至 160 d 时达到最大值, 此时处理 W1G1、W2G2、W3G3 磷酸酶活性较 80 d 时分别提高 83.17%、79.00%、103.49%, 而对照磷酸酶活性较 80 d 时提高 70.06%, 低于任意大蒜间作处理, 表明大蒜间作较小麦单作更有利于其根际土壤磷酸酶活力的增加。同一处理时期内, W1G1 与对照差异均达到显著 ($P < 0.05$) 水平, W2G2 除 100 d 时与对照差异不明显, 其余处理时期均与对照差异达到显著 ($P < 0.05$) 水平, 而 W3G3 只在 140 d 和 160 d 时与对照存在显著差异, 可见大蒜定植越早对小麦根际土壤

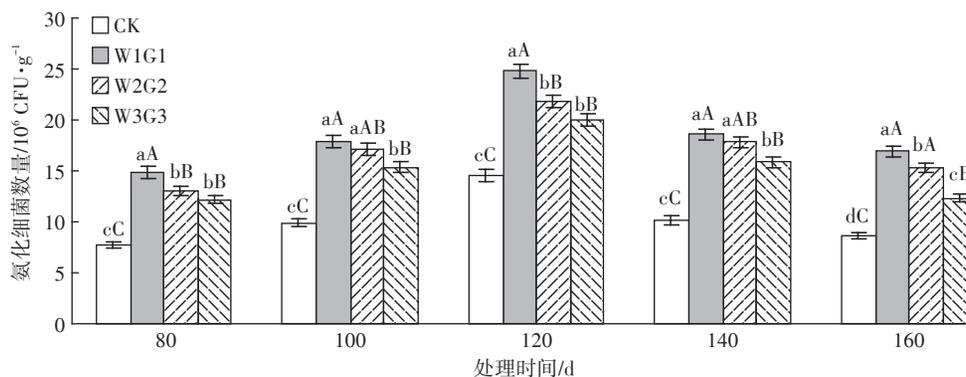


图4 间作大蒜对小麦根际土壤氨化细菌数量的影响

Figure 4 Effects of intercropping garlic on ammonification bacteria in rhizosphere soil of wheat

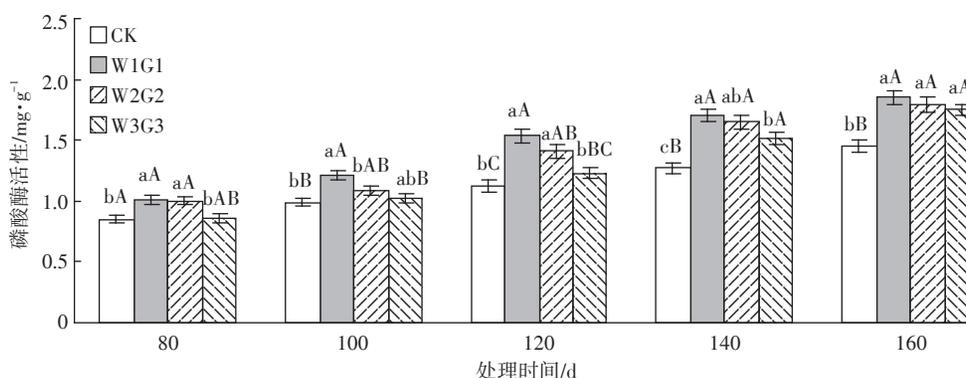


图5 间作大蒜对小麦根际土壤磷酸酶活性的影响

Figure 5 Effects of intercropping garlic on phosphatase activity in rhizosphere soil of wheat

磷酸酶活力的提高越有利。

2.6 间作大蒜对小麦根际土壤脲酶活性的影响

由图6可知,大蒜间作对小麦根际土壤脲酶活性的影响与磷酸酶基本一致,亦是随生育期的后延呈现逐渐升高的变化趋势,至160 d时最大。在同一处理时期内,80、100、120、140 d和160 d各时期小麦根际土壤脲酶活性变化规律类似,均为W1G1>W2G2>W3G3>CK,但80 d时只有W1G1与对照差异显著,较对照提高9.68%,100 d时W1G1、W2G2与对照差异显著,较对照分别提高18.18%、15.15%,120 d时W1G1、W2G2与对照差异显著,较对照分别提高23.53%、17.65%,140 d和160 d时三个处理与对照差异均达到显著水平($P<0.05$),且W1G1较对照分别提高28.57%、30.56%,可见大蒜定植时间越早越有利于脲酶活性提高,且在小麦生育后期大蒜伴生时间的延长也有利于其活力的增加。

2.7 间作大蒜对小麦根际土壤过氧化氢酶活性的影响

图7表明,在处理140 d内,对照和处理过氧化氢酶活性均随生育期的后延呈现逐渐升高的趋势,至140 d时达到最大值,之后过氧化氢酶活力开始降低。

在80、100、120、140 d和160 d时,W1G1较对照分别提高18.19%、29.21%、40.51%、48.78%和62.71%,W2G2较对照分别提高15.15%、23.03%、26.15%、40.49%和42.37%,W3G3较对照分别提高7.28%、7.89%、17.44%、36.10%和37.85%,可见,随着生育期的后延各处理过氧化氢酶的活力增幅均逐步增加,虽然160 d时过氧化氢酶呈降低趋势但其较对照的增幅却在提高,表明大蒜间作较小麦单作更能提高过氧化氢酶活力;同时还可以看出,各时期各处理过氧化氢酶增幅表现为W1G1>W2G2>W3G3,说明大蒜定植时期越早越有利于根际土壤过氧化氢酶活力的提高。

3 讨论

土壤中除含有较多矿物质以及微量元素外,还生活着大量的微生物,它们通过分解有机物质为植物生长提供营养物质,对植物营养元素活性、自然界的物质循环、生态平衡有重要影响^[14],因此其生长活动与农作物的生长关系密切^[15]。研究表明,土壤中细菌和真菌等主要微生物群体其组成和数量的变化可用于表征土壤微生物活性水平^[16],其菌群比例的变化可作为

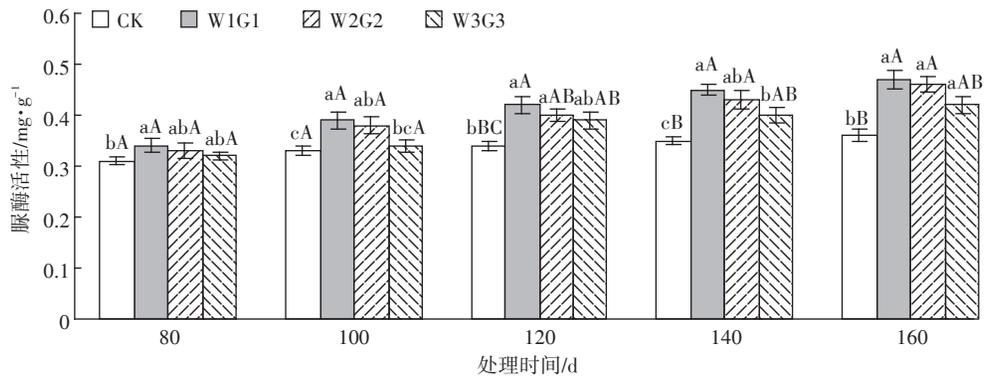


图6 间作大蒜对小麦根际土壤脲酶活性的影响

Figure 6 Effects of intercropping garlic on soil urease activity in rhizosphere soil of wheat

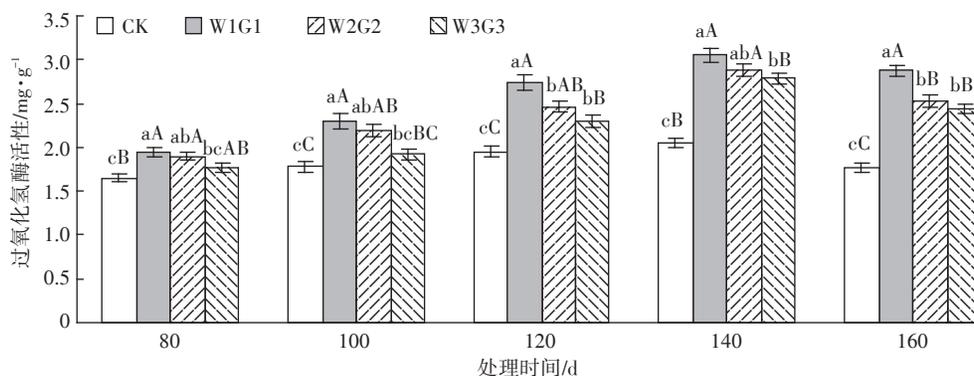


图7 间作大蒜对小麦根际土壤过氧化氢酶活性的影响

Figure 7 Effects of intercropping garlic on catalase activity in rhizosphere soil of wheat

衡量土壤肥力状况的重要指标^[17]。赵庆龙等^[18]进行蒜棉套作试验时,指出棉花生育期棉田细菌数量蒜棉套作高于棉花单作,而真菌数量与之相反,表现为蒜棉套作低于棉花单作。本试验结果表明,随着生育期的后延,对照和各处理小麦根际土壤细菌和真菌数量均呈现逐步升高的趋势,在同一处理时期内各处理细菌数量普遍高于对照,且以大蒜定植时间最早的W1G1为最高,而真菌数量在同一处理时期内表现为各处理均低于对照且以W1G1处理为最低;小麦根际土壤细菌数量的升高反映出间作大蒜改善了小麦根际土壤微环境、提高了土壤肥力,其真菌数量的降低进一步表明土壤性状的改良,有利于减少病害的发生,并提高根系对外界养分的吸收能力^[16],其原因可能是大蒜根系通过分泌糖类、氨基酸类等低分子有机化合物和蛋白质、多聚糖等高分子量的黏胶质等物质为微生物的生长提供了碳源和能源^[19],影响了微生物群落的分布^[20]。而徐金强等^[21]研究认为大蒜秸秆在增加温室番茄根际土壤细菌数量的同时,也促进了真菌数量的提高;张昱等^[22]也指出,套蒜处理玉米根际土壤细菌和真菌总量均高于玉米、蒜苗单作,这

与本试验结果不一致,这说明不同植株间作对土壤真菌和细菌的影响存在差异。本试验结果还得出,在任一处理时期W1G1、W2G2、W3G3三处理硝化细菌和氨化细菌数量均高于对照,且其数量高低与大蒜定植时间的早晚有关。硝化细菌和氨化细菌数量的增多有助于增强小麦根际土壤的硝化作用和氨化作用,氮素代谢加快、氮素利用率提高,这有利于小麦生物量的增加,并为小麦后期的丰产奠定物质基础。间作大蒜能够增加小麦根际硝化细菌和氨化细菌的原因,可能是大蒜根系分泌的包括二烯丙基二硫化物在内的化感物质,如硫化物等对有害菌有一定抑制作用,另外,间作系统中作物间根系交错叠加,根系分泌物种类与含量也较单作系统丰富,氨基酸、维生素和糖类为根际微生物的生存和繁殖提供了充足的营养物质^[23],这也间接提高了土壤酶的活性^[24],同时外界气温回升,大蒜植株新陈代谢加快,根系分泌物也随之增多,而根系分泌的氨基酸和碳水化合物等物质又为根际微生物的繁殖提供了一定的养分^[25],试验结果进一步支持了前人得出的微生物数量与植株生育进程相对一致的结论^[26]。

土壤酶是一类主要来源于微生物细胞并具有一定催化功能的生物活性物质^[27],因此土壤酶活性与土壤微生物数量之间存在着一定的相关性^[28]。土壤酶活性与C、N循环密切相关^[29],而土壤中的硝化细菌和氨化细菌数量的增多能够加快氮素代谢,进而提高酶的活性。Chin等^[30]研究认为,土壤微生物数量与脲酶活性具有相关性。胡海波等^[28]研究指出,放线菌和细菌数量对蔗糖酶影响显著,真菌数量对脲酶和磷酸酶等影响较大。汤树得^[31]研究发现,脲酶、过氧化氢酶、蔗糖酶(转化酶)与微生物的活动具有线性相关关系。孙彩菊等^[32]研究认为,连续3年番茄套蒜较单作番茄显著提高土壤脲酶、磷酸酶和过氧化氢酶活性,其中脲酶和磷酸酶活性在套作青蒜条件下最高,而过氧化氢酶活性在套作大蒜处理最大。孟亚利等^[33]研究得出,麦棉套作可显著提高土壤脲酶活性。本试验结果与前人研究结论类似,间作大蒜的三个小麦处理其根际土壤脲酶和磷酸酶以及过氧化氢酶活性均高于对照。另外,随着生育期的后延,大蒜定植时间越早的处理(W1G1)小麦根际脲酶和磷酸酶越高,且与单作小麦差异显著,这可能是因为定植较早的大蒜其生长势较强,根系分泌物更加旺盛,而根系分泌物可通过为根际微生物提供纤维素、糖类养分来改变根际微环境,间接提高土壤酶活性^[24],这两种酶活性的提高又可以加快有机氮的转化和有机磷的矿化,为小麦后期生长提供了必需的氮素和磷素。本试验条件下,在同一处理时期内W1G1、W2G2、W3G3过氧化氢酶活力均高于对照,过氧化氢酶能够催化分解细胞产生的过氧化氢从而防止细胞膜产生脱脂过氧化作用^[34],由此可以看出小麦间作大蒜较小麦单作更有利于保护植株根系免遭过氧化氢的毒害作用。

4 结论

(1)在任一处理时期间作大蒜的小麦根际细菌数量均极显著($P<0.01$)高于对照,且其与大蒜定植时长呈正相关关系,而真菌随生育期的后延呈逐渐上升趋势,但在同一处理时期内各处理真菌数量均低于小麦单作,且大蒜定植时长与真菌数量负相关。

(2)硝化细菌与氨化细菌变化规律类似,随处理时间的延长均呈现先升高后降低的单峰变化趋势,对照与处理间差异达到极显著水平($P<0.01$),处理间差异达到显著水平($P<0.05$),且均在120 d时达到最大值,随后开始降低。

(3)在大蒜间作期内,对照和处理小麦根际土壤

磷酸酶和脲酶活性变化规律相同,均随生育期的延长而升高;过氧化氢酶活性均随生育期的后延而升高,至140 d时达到最大值,之后过氧化氢酶活力开始降低。

参考文献:

- [1] 李向东. 作物栽培学[M]. 北京:中国农业出版社, 1992:94.
LI Xiang-dong. Crop cultivation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1992:94.
- [2] 肖森波, 李隆, 张福锁. 小麦/蚕豆间作体系中的种间相互作用及氮转移研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38(5):965-973.
XIAO Miao-bo, LI Long, ZHANG Fu-suo. Study on the interspecies interaction and nitrogen transfer in wheat-broad bean intercropping system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(5):965-973.
- [3] 张恩和, 张福锁. 小麦大豆间套种植对磷素在土壤中的转化及其有效性的影响[J]. 土壤通报, 2003, 31(3):130-131.
ZHANG En-he, ZHANG Fu-suo. Effects of wheat and soybean intercropping on the transformation of phosphorus in soil and its availability [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2003, 31(3):130-131.
- [4] 肖靖秀, 郑毅, 汤利, 等. 小麦蚕豆间作系统中的氮钾营养对小麦锈病发生的影响[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(5):640-645.
XIAO Jing-xiu, ZHENG Yi, TANG Li, et al. Effects of nitrogen and potassium nutrition in wheat-broad bean intercropping system on the occurrence of wheat rust[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2005, 20(5):640-645.
- [5] 张俊平, 贾利英. 小麦/玉米间套作的光分布特征及其利用研究[J]. 河北北方学院学报(自然科学版), 2005, 21(2):27-30.
ZHANG Jun-ping, JIA Li-ying. Study on light distribution and utilization of wheat-maize intercropping[J]. *Journal of Hebei North University (Natural Science Edition)*, 2005, 21(2):27-30.
- [6] 李振高, 潘映华, 李良漠. 不同基因型小麦根际细菌及酶活性的动态研究[J]. 土壤学报, 1993, 30(1):1-8.
LI Zhen-gao, PAN Ying-hua, LI Liang-mo. Dynamic research on rhizosphere bacteria and enzymatic activity of wheat with different genotypes[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 1993, 30(1):1-8.
- [7] 王万磊, 刘勇, 纪祥龙, 等. 小麦间作大蒜或油菜对麦长管蚜及其主要天敌种群动态的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(6):1331-1336.
WANG Wan-lei, LIU Yong, JI Xiang-long, et al. Effects of wheat intercropping with garlic or rape on population dynamics of *Macrosiphum avenae* and its major natural enemies[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(6):1331-1336.
- [8] 耿广东, 王忠平, 冯道友, 等. 玉米与姜间作对土壤微生物和酶活性的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(5):1104-1106.
GENG Guang-dong, WANG Zhong-ping, FENG Dao-you, et al. Effects of maize and ginger intercropping on the soil microorganisms and enzyme activities[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(5):1104-1106.
- [9] 巩彪, 张丽丽, 隋申利, 等. 大蒜秸秆对番茄根结线虫病及根际微生态的影响[J]. 中国农业科学, 2016, 49(5):933-941.

- GONG Biao, ZHANG Li-li, SUI Shen-li, et al. Effects of garlic straw application on controlling tomato root-knot nematode disease and rhizospheric microecology[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2016, 49(5): 933-941.
- [10] 赵文婷, 邱黛玉. 大蒜对连作胁迫下当归根际微生物和酶活性的影响[J]. 广东农业科学, 2015, 10(24): 29-33.
ZHAO Wen-ting, QIU Dai-yu. Effects of garlic on microorganisms and enzyme activities in rhizospheric soil of *Angelica sinensis* under continuous cropping stress[J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 10(24): 29-33.
- [11] 张旭龙, 马森, 吴振振, 等. 油葵与光果甘草间作对根际土壤酶活性及微生物功能多样性的影响[J]. 土壤, 2016, 48(6): 1114-1119.
ZHANG Xu-long, MA Miao, WU Zhen-zhen, et al. Effects of *Helianthus annuus* and *Glycyrrhiza glabra* intercropping on rhizosphere soil enzyme activities and soil microbes functional diversity[J]. *Soils*, 2016, 48(6): 1114-1119.
- [12] 喻子牛, 何绍江. 农业微生物学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 69-89.
YU Zi-niu, HE Shao-jiang. Experimental technology in agricultural microbiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 69-89.
- [13] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986.
GUAN Song-yin. Soil enzyme and its research method[M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1986.
- [14] 张敏. 菜籽饼对土壤生物活性和氮磷转化的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2009.
ZHANG Min. Effect of rapeseed cake on soil biological activity and nitrogen and phosphorus conversion[D]. Chongqing: Southwest University, 2009.
- [15] 孔维栋, 朱永官, 傅伯杰, 等. 农业土壤微生物基因与群落多样性研究进展[J]. 生态学报, 2004, 24(12): 2894-2899.
KONG Wei-dong, ZHU Yong-guan, FU Bo-jie, et al. Research progress of microbial gene and community diversity in agricultural soils[J]. *Acta Agricultura Sinica*, 2004, 24(12): 2894-2899.
- [16] 袁龙刚, 张军林, 张朝阳, 等. 连作对辣椒根际土壤微生物区系影响的初步研究[J]. 陕西农业科学, 2006(2): 49-50.
YUAN Long-gang, ZHANG Jun-lin, ZHANG Chao-yang, et al. Preliminary study on the effect of succession cropping on the rhizosphere soil microflora of pepper[J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2006(2): 49-50.
- [17] 陈芝兰, 周晓英, 何建清, 等. 设施栽培措施对土壤微生物区系的影响[J]. 西藏科技, 2007(1): 14-15.
CHEN Zhi-lan, ZHOU Xiao-ying, HE Jian-qing, et al. Effect of cultivation practices on soil microflora[J]. *Tibet's Science & Technology*, 2007(1): 14-15.
- [18] 赵庆龙, 宋宪亮, 孙学振, 等. 蒜棉、麦棉套作对土壤微生物数量及相关酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(6): 1474-1480.
ZHAO Qing-long, SONG Xian-liang, SUN Xue-zhen, et al. Effects of garlic-cotton and wheat-cotton intercropping on soil microbial population and related enzymatic activities[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2011, 17(6): 1474-1480.
- [19] 史刚荣. 植物根系分泌物的生态效应[J]. 生态学杂志, 2004, 23(1): 97-101.
SHI Gang-rong. Effect of plant root exudates[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(1): 97-101.
- [20] Badri D V, Vivanco J M. Regulation and function of root exudate[J]. *Plant, Cell & Environment*, 2009, 32(6): 666-681.
- [21] 徐金强, 刘素慧, 刘庆涛, 等. 大蒜秸秆还田对温室番茄连作土壤微生物及根结线虫病的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(7): 91-93, 97.
XU Jin-qiang, LIU Su-hui, LIU Qing-tao, et al. Effect of garlic straw turnover on soil microorganisms and root-knot nematode disease in greenhouse tomato[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45(7): 91-93, 97.
- [22] 张昱, 程智慧, 徐强, 等. 玉米/蒜苗套作系统中土壤微生物和土壤酶状况分析[J]. 土壤通报, 2007, 38(6): 1136-1140.
ZHANG Yu, CHENG Zhi-hui, XU Qiang, et al. Analysis of soil microorganisms and soil enzymes in maize-garlic intercropping system[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2007, 38(6): 1136-1140.
- [23] 侯慧, 董坤, 杨智仙, 等. 间作系统根-土交互与连作障碍缓解机制[J]. 中国农学通报, 2016, 32(29): 105-112.
HOU Hui, DONG Kun, YANG Zhi-xian, et al. Root-soil interaction in intercropping system and alleviation mechanism of continuous cropping obstacle[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2016, 32(29): 105-112.
- [24] Garda-Gil J, Plaza C C, Soler-Rovira P, et al. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass[J]. *Soil Biol & Biochem*, 2000, 32: 1907-1913.
- [25] 刘素慧, 刘世琦, 张自坤, 等. 大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(5): 1000-1006.
LIU Su-hui, LIU Shi-qi, ZHANG Zi-kun, et al. Effect of continuous cropping of garlic on rhizosphere soil microbes and enzymatic activity[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(5): 1000-1006.
- [26] 胡元森, 吴坤, 李翠香, 等. 黄瓜连作对土壤微生物区系影响. II. 基于 DGGE 方法对微生物种群的变化分析[J]. 中国农业科学, 2007, 40(10): 2267-2273.
HU Yuan-sen, WU Kun, LI Cui-xiang, et al. Effect of continuous cropping of cucumber on soil microflora. II. Analysis of changes of microbial population based on DGGE method[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10): 2267-2273.
- [27] 万忠梅, 吴景贵. 土壤酶活性影响因子研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(6): 87-92.
WAN Zhong-mei, WU Jing-gui. Research progress on factors of affecting soil enzymatic activity[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2005, 33(6): 87-92.
- [28] 胡海波, 张金池, 高智慧, 等. 岩质海岸防护林土壤微生物数量及其与酶活性和理化性质的关系[J]. 林业科学研究, 2001, 15(1): 88-95.
HU Hai-bo, ZHANG Jin-chi, GAO Zhi-hui, et al. Study on quantitative distribution of soil microorganism and relationship with enzyme activity and physical, chemical property of shelter-forest in rocky coastal area[J]. *Forest Research*, 2001, 15(1): 88-95.

- [29] 杨万勤, 王开运. 土壤酶研究动态与展望[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(5): 564-570.
 YANG Wan-qin, WANG Kai-yun. Advances on soil enzymology[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2002, 8(5): 564-570.
- [30] Chin W T, Kroontje W. Urea hydrolysis and subsequent loss of ammonia[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1963, 27: 316-319.
- [31] 汤树得. 土壤耕作对白浆土生物学活性的影响[J]. 中国土壤与肥料, 1982(3): 13-15.
 TANG Shu-de. Effects of soil tillage on biological activity of white pulp soil[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 1982(3): 13-15.
- [32] 孙彩菊, 程智慧, 孟焕文, 等. 大棚番茄连续定位套蒜第3年度土壤微生物数量和酶活性的变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(12): 97-105.
 SUN Cai-ju, CHENG Zhi-hui, MENG Huan-wen, et al. Variation of soil microorganisms and enzymatic activity in continuously garlic-to-mato intercropping in greenhouse in the third year[J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*, 2012, 40(12): 97-105.
- [33] 孟亚利, 王立国, 周治国, 等. 麦棉两熟复合根系群体对棉花根际非根际土壤酶活性和土壤养分的影响[J]. 中国农业科学, 2005, 38(5): 904-910.
 MENG Ya-li, WANG Li-guo, ZHOU Zhi-guo, et al. Effect of double cropping root system of wheat and cotton on soil rhizosphere and non-rhizosphere soil enzymatic activity and soil nutrient[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(5): 904-910.
- [34] 于德玲, 王昌留. 过氧化氢酶的研究进展[J]. 中国组织化学与细胞化学杂志, 2016, 25(2): 189-194.
 YU De-ling, WANG Chang-liu. Progress of research on catalase[J]. *Chinese Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 2016, 25(2): 189-194.