

耕作方式对小麦抗氧化酶和产量的影响

曹传莉¹, 仲延龙¹, 宋贺¹, 董召荣¹, 朱江¹, 程潇², 车钊^{1*}

(1. 安徽农业大学农学院, 合肥 230036; 2. 安徽省食品药品检验研究院, 国家农副加工食品质量监督检验中心, 合肥 230051)

摘要: 通过田间试验研究耕作方式对小麦根系、叶片抗氧化酶和产量的影响。试验设置耕翻+镇压(HS)、旋耕+镇压(RS)和旋耕(R)3个处理。结果表明,在拔节期、孕穗期和花后10 d HS处理叶片和根系超氧化物歧化酶(SOD)活性均显著高于其他2个耕作处理;在拔节期、抽穗期和花后5 d HS处理根系过氧化物酶(POD)活性均显著高于RS和R处理;在越冬期、孕穗期至花后5 d, HS处理叶片过氧化氢酶(CAT)活性均显著高于RS和R处理;除拔节期和孕穗期, HS处理叶片丙二醛(MDA)含量均显著低于RS和R处理。相关分析表明小麦产量和叶片CAT活性呈极显著正相关性($R=0.930, P<0.01$),与叶片MDA含量呈显著负相关($R=-0.774, P<0.05$)。HS处理可以通过提高小麦有效穗数、穗粒数和千粒重从而提高产量,产量分别比RS和R处理高出5%和8%。综上所述,耕翻+镇压可提高小麦根系和叶片抗氧化酶活性,降低叶片MDA含量,延长小麦灌浆期实现小麦高产。

关键词: 耕作方式; 小麦; 抗氧化酶活性; 产量; 叶片; 根系

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2019)05-0883-05

Effects of tillage methods on antioxidant enzyme activity and yield of wheat

CAO Chuanli¹, ZHONG Yanlong¹, SONG He¹, DONG Zhaorong¹, ZHU Jiang¹, CHENG Xiao², CHE Zhao¹

(1. School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036; 2. Anhui Institute of Food and Drug Inspection, National Agricultural and Sideline Processing Food Quality Supervision and Inspection Center, Hefei 230051)

Abstract: A field experiment was conducted to investigate the effects of different tillage methods on yield of wheat and the antioxidant enzyme activity in roots and leaves of wheat. The experiment included three treatments: tillage + repression (HS), rotary tillage + repression (RS) and rotary tillage (R). The results showed that the activity of superoxide dismutase (SOD) in leaves and roots of wheat treated by HS was significantly higher than that treated by the other two tillage treatments at jointing stage, booting stage and 10 days post-anthesis. At jointing stage, heading stage and 5 days post-anthesis, The Peroxidase(POD)activity in roots of wheat treated by HS was significantly higher than that treated by RS and R. The Catalase (CAT) activity in leaves of wheat treated by HS was significantly higher than that treated by RS and R during overwintering stage, booting stage and 5 days post-anthesis. In addition to jointing stage and booting stage, MDA content in leaves of wheat treated by HS was significantly lower than that treated by RS and R. Correlation analysis showed that there was an extremely significant positive correlation between wheat yield and leaves CAT activity ($R=0.930, P < 0.01$), significant negative correlation between wheat yield and leaves MDA content ($R=-0.774, P < 0.05$). The yield of the HS treatment was 5% and 8% significantly higher than that of the RS and R treatment respectively. The HS method could increase the activity of antioxidant enzymes in roots and leaves of wheat, reduce MDA content in leaves of wheat, and extend the grain filling period to improve the yield of wheat.

Key words: tillage methods; wheat; antioxidant enzyme activity; yield; leaves; roots

土壤耕作是农作物生产中的重要环节。研究表明耕作方式可通过调节土壤环境,改变小麦对土壤

中水肥利用率,进而影响小麦生长发育和产量^[1-3]。小麦生长发育过程中会产生活性氧自由基(ROS),

收稿日期: 2019-01-15

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0301307-05, 2016YFD0300205-3), 公益性行业(农业)科研专项(201503121-02)和国家自然科学基金(31671639)共同资助。

作者简介: 曹传莉, 硕士研究生。E-mail: 861529924@qq.com

* 通信作者: 车钊, 实验师。E-mail: 1006313863@qq.com

ROS 积累造成脂膜过氧化导致细胞结构和功能受损,影响光合作用降低小麦产量。植物体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等可以清除植物体内 ROS,抑制膜脂过氧化,延缓衰老,提高光合能力^[4-8]。因此,研究耕作方式与小麦抗氧化酶系统的关系,对提高小麦产量有重要的理论和实践意义。

前人研究发现深耕可以增加根系中抗氧化酶活性,延长玉米根系功能期^[9]。黄明等^[10]研究发现与传统耕作相比,深翻提高了土壤养分含量和小麦旗叶 SOD 活性,降低丙二醛(MDA)含量,延缓了小麦叶片的衰老进程。翻耕和深松能够打破坚硬的犁底层,增加孔隙度利于作物根系生长,促进根系对土壤中的养分利用,延长叶片功能期,增加产量^[11-14]。当前研究大多集中在耕作方式对作物根系或叶片抗氧化酶单一影响上,缺乏将根系与叶片综合起来的研究。此外,在整个生育时期水平上对作物抗氧化酶活性变化研究更少。本试验根据皖北平原生产实际,设置 3 种主要的耕作方式(耕翻+镇压、旋耕+镇压、旋耕),研究不同耕作方式下小麦根系和叶片抗氧化酶活性、MDA 含量以及产量之间的关系,为皖北平原小麦高产栽培技术提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验在涡阳县农业技术推广中心试验基地进行,涡阳县位于皖北平原西北部,地理坐标为 33°27' N, 115°53' E,年平均日照 2 140 h,年平均气温 14.6 °C,年平均降水量 830 mm 左右。土壤类型为砂姜黑土,基本理化性状为有机质 13.47 g·kg⁻¹,全氮 1.23 g·kg⁻¹,速效磷 15.80 mg·kg⁻¹,速效钾 182.00 mg·kg⁻¹,pH 值 7.6。

1.2 试验设计

试验设置耕翻+镇压(HS)、旋耕+镇压(RS)和旋耕(R)3个处理,每个处理设3次重复,小区面积 8 m² (4 m×2 m),试验采取随机区组设计。供试小麦品种为皖麦 68,属半冬性、中熟品种。播种方式为机条播,基本苗为 375 万·hm⁻²。施氮量 240 kg·hm⁻²,氮肥为尿素,分基肥和追肥(6:4)2次施入,磷肥和钾肥分别为 P₂O₅ 126 kg·hm⁻²和 K₂O 113 kg·hm⁻²,磷肥、钾肥为过磷酸钙和氯化钾,作为基肥一次施入。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 酶活性的测定 分别在小麦越冬期(WP)、返青期(PS)、拔节期(SS)、孕穗期(BS)、抽穗

期(HD)、花后 5 d(TA)和花后 10 d(FD)取生长基本一致的小麦新完全展开叶片和根系鲜样用液氮保存带回实验室,参照赵海泉^[15]方法测定 SOD、POD、CAT 活性和 MDA 含量。SOD 活性采用氯化硝基四氮唑蓝(NBT)光化还原法测定,以 SOD 抑制 NBT 光还原相对百分率计算酶活性;POD 活性采用愈创木酚法测定,以每分钟光密度变化(以每分钟 A470 变化 0.01 为 1 个活力单位)计算酶活性;CAT 活性采用高锰酸钾滴定法测定,利用 H₂O₂ 的消耗量或 O₂ 的生成量计算酶活性;MDA 含量用硫代巴比妥酸法测定,以 532 nm 与 600 nm 下的吸光度的差值计算 MDA 含量。

1.3.2 考种和产量 成熟后在样段中调查单位面积穗数,并取植株样 20 个单茎,带回室内考种,调查穗粒数和千粒重。按小区单收并计产。

1.4 数据处理

用 Microsoft Excel 2010 整理试验数据并制图和表,用 SPSS 19.0 软件进行差异及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 测定项目与方法

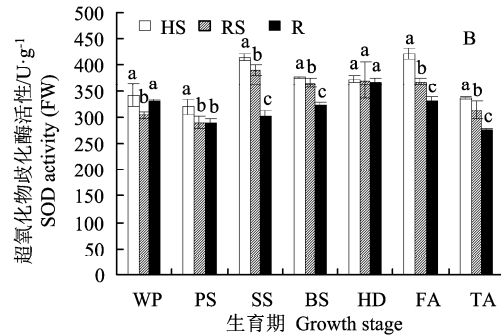
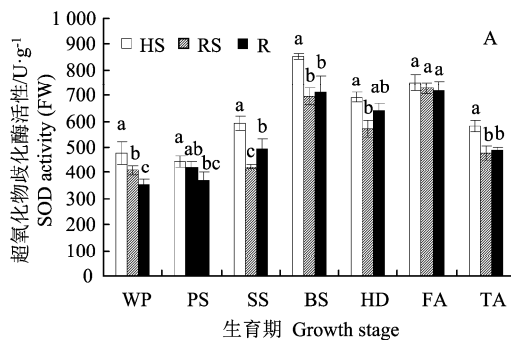
2.1.1 不同耕作方式对小麦 SOD 活性的影响 由图 1(A)可知,小麦在生长发育过程叶片中 SOD 活性呈先升后降趋势,在孕穗期至花后 5 d 维持较高水平。其中,越冬期、拔节期、孕穗期和花后 10 d HS 处理叶片 SOD 活性均显著高于其他 2 个处理。由图 1(B)可知,各处理根系 SOD 活性在拔节期至花后 10 d 均较稳定且显著高于其他时期。其中,除越冬期和抽穗期,HS 处理根系中 SOD 活性均显著高于其他 2 个处理,花后 5 d 和花后 10 d 分别比 RS 和 R 处理高出 15%、28%和 7%、22%。

2.1.2 不同耕作方式对小麦 POD 活性的影响 由图 2(A)可知,叶片中 POD 活性在越冬期至拔节期呈先升后降趋势,在孕穗期至花后 10 d 保持较高的 POD 活性。在返青期和拔节期 RS 处理 POD 活性均高于 HS 和 R 处理;花后 5~10 d HS 处理 POD 活性均高于 RS 和 R 处理,但三者差异并不显著。由图 2(B)可知,根系中 POD 活性在越冬期至花后 10 d 呈先升后降趋势,在孕穗期达到最大值。在拔节期、抽穗期和花后 5 d HS 处理 POD 活性均显著高于其他 2 个处理;花后 10 d,HS 处理 POD 活性最高,显著高于 R 处理但与 RS 处理间差异并不显著。

2.1.3 不同耕作方式对小麦 CAT 活性的影响 由图 3(A)可知,叶片中,HS 和 RS 处理 CAT 活性

呈先降后升趋势, R 处理 CAT 活性呈不断上升趋势。其中, 在返青和拔节期 R 处理 CAT 活性显著高于 HS 处理但与 RS 处理差异并不显著; 越冬期和孕穗期 HS 和 RS 处理 CAT 活性均显著高于 R 处理; 在抽穗期至花后 5 d, CAT 活性均表现为 HS>RS>R。

由图 3 (B) 可知, 在越冬期至花后 5 d 各处理根系中 CAT 活性变化幅度不大, 在花后 10 d 急剧降低。其中, 在越冬期、拔节期、抽穗期和花后 10 d HS 处理根系 CAT 活性均显著高于 RS 和 R 处理。



WP: 越冬期; PS: 返青期; SS: 拔节期; BS: 孕穗期; HD: 抽穗期; FA: 花后 5 d; TA: 花后 10 d, 下同。

WP: Overwintering stage, PS: Regreening stage, SS: Jointing stage, BS: Booting stage, HD: Headed, FA: Five days post-anthesis, TA: Ten days post-anthesis. The same below.

图 1 耕作方式对不同生育期小麦叶片 (A) 和根系 (B) 中的 SOD 活性的影响

Figure 1 Effects of tillage treatments on wheat leaves (A) and roots (B) activity of SOD at different Growing stage

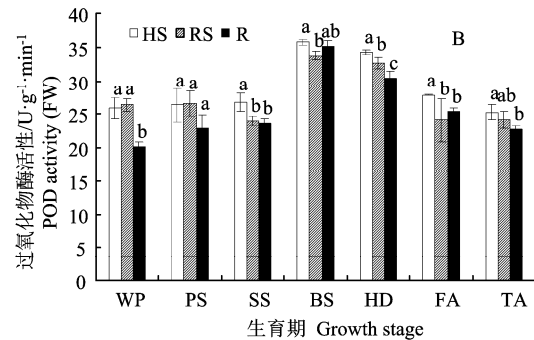
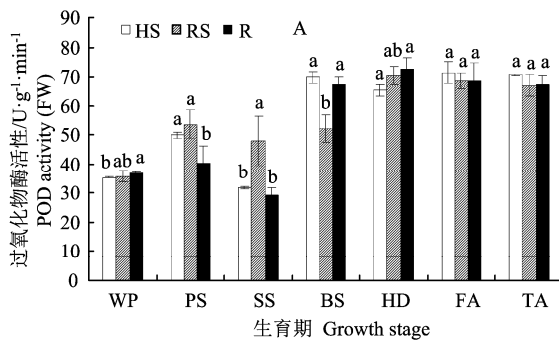


图 2 耕作方式对不同生育期小麦叶片 (A) 和根系 (B) 中的 POD 活性的影响

Figure 2 Effects of tillage treatments on wheat leaves (A) and roots (B) activity of POD at different Growing stage

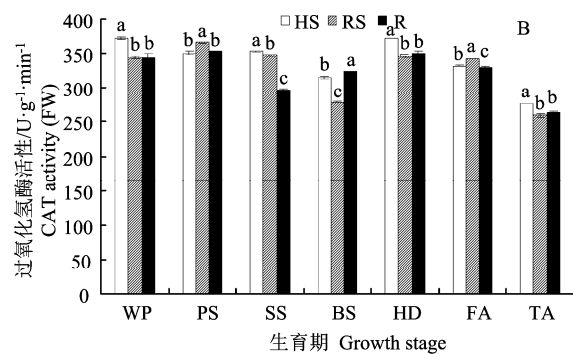
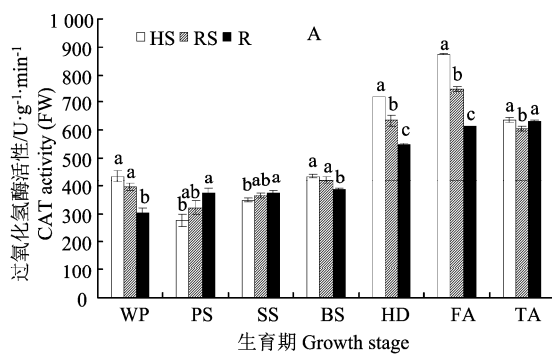


图 3 耕作方式对不同生育期小麦叶片 (A) 和根系 (B) 中的 CAT 活性的影响

Figure 3 Effects of tillage treatments on wheat leaves (A) and roots (B) activity of CAT at different Growing stage

2.1.4 不同耕作方式对小麦 MDA 含量的影响 由图 4 (A) 可知, 不同的耕作处理对小麦叶片中的 MDA 含量有显著性影响, 在越冬期至拔节期叶片中 MDA 含量呈先增加后急剧下降趋势, 在拔节期至花后 10

d 叶片中 MDA 含量呈不断增加趋势。HS 处理下整个生长期叶片 MDA 含量均低于 RS 和 R 处理, 除返青期和抽穗期, 差异均达显著水平。由图 4 (B) 可知, 在越冬期至花后 5 d 根系中 MDA 含量较低,

花后 10 d 根系 MDA 含量急剧增加。不同耕作处理对根系中 MDA 含量影响无明显规律性。其中, 在孕穗期和花后 5 d, RS 处理根系 MDA 含量显著高于其他 2 个处理, R 处理根系 MDA 含量最低; 在返青期至拔节期 RS 处理根系 MDA 含量显著低于 HS 和 R 处理。

2.2 不同耕作方式对小麦产量及产量构成因素的影响

由表 1 可以看出, 耕作方式对小麦的产量及产

量构成因素影响显著。HS 处理下小麦的有效穗数和穗粒数均显著高于 RS 和 R 处理, 分别提高 2 %、2 % 和 3 %、4 %。HS 处理千粒重最高, 显著高于其他 2 个处理, 其次为 RS, R 处理千粒重最低。HS 处理产量最高, 达 8 549.95 kg·hm⁻², 显著高于 RS 和 R 处理, 分别比 RS 和 R 处理高出 5 % 和 8 %。可见, 耕翻+镇压 (HS) 处理可以通过提高小麦各产量构成因素从而提高小麦产量。

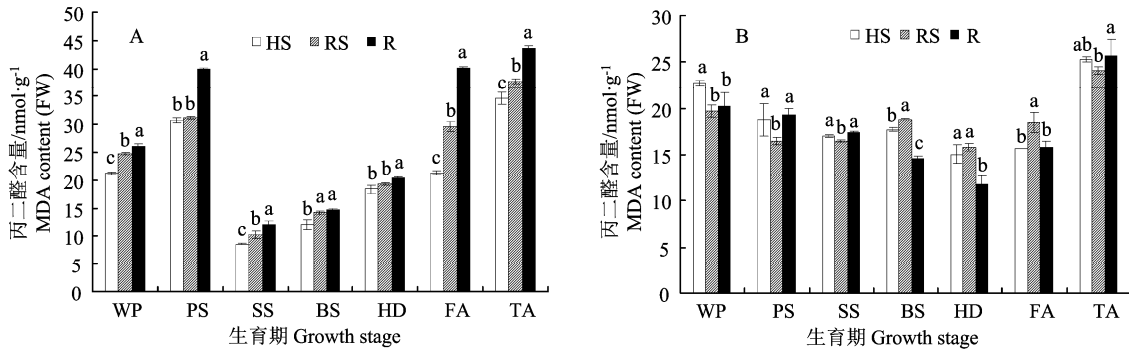


图 4 耕作方式对不同生育期小麦叶片(A)和根系(B)中的 MDA 含量的影响

Figure 4 Effects of tillage treatments on wheat leaves (A) and roots (B) content of MDA at different Growing stage

表 1 耕作方式对小麦产量及其构成因素的影响

Table 1 Effects of tillage treatments on yield and yield components of wheat

处理 Tillage method	有效穗数/10 ⁴ ·hm ⁻² Spike number	穗粒数 Grains per spike	千粒重/g 1 000-grain weight	产量/kg·hm ⁻² Grains yield
HS	702.00 ± 2.31 ^a	32.33 ± 0.33 ^a	41.96 ± 0.05 ^a	8 549.95 ± 167.73 ^a
RS	686.00 ± 2.08 ^b	31.33 ± 0.33 ^b	41.71 ± 0.03 ^b	8 153.28 ± 83.53 ^b
R	685.00 ± 3.61 ^b	31.00 ± 0.00 ^b	40.81 ± 0.02 ^c	7 903.02 ± 51.35 ^b

注: 不同字母表示差异显著 (P < 0.05)。Note: Different letters represent significant differences (P < 0.05).

表 2 小麦抗氧化酶活性和产量的相关性分析

Table 2 Correlation coefficients between antioxidant enzyme activity and yield

指标 Index	叶片抗氧化酶和 MDA 含量 Antioxidant enzyme and content of MDA in leaf				根系抗氧化酶和 MDA 含量 Antioxidant enzyme and content of MDA in root			
	SOD	POD	CAT	MDA	SOD	POD	CAT	MDA
	产量 Grains yield	0.519	-0.163	0.930**	-0.774*	0.166	0.519	0.649

注: *和**分别表示相关性显著 (P < 0.05) 和极显著 (P < 0.01)。Note: * and ** indicate significant correlations at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3 不同耕作方式下小麦抗氧化酶活性和产量的相关性分析

由表 2 可知, 小麦产量与叶片中 CAT 活性呈极显著正相关 (R=0.930, P < 0.01), 与叶片 MDA 含量呈显著负相关 (R=-0.774, P < 0.05)。小麦产量与根系抗氧化酶和 MDA 含量相关性均不显著。

3 讨论与结论

抗氧化酶广泛存在植物细胞中, 小麦在不同生

长阶段根系、叶片抗氧化酶活性以及 MDA 含量的变化是对环境变化响应的综合体现。本研究 3 种耕作方式下根中的 SOD、POD 和 CAT 活性在小麦生长期都保持着较稳定趋势, 叶中的 SOD、POD 和 CAT 活性越冬期至孕穗期不断增长趋势, 随着生育进程的推进开花后 10 d 降低, 而 MDA 含量在越冬期至抽穗期都保持着较低趋势, 开花期 MDA 含量在花后开始上升, 这与前人研究结果相似^[16-18]。这可能是叶片在越冬期至花后 10 d 根系和叶片有较高的抗氧化酶活性, 能够及时清除体内 ROS, 而花后

叶片和根系开始趋向衰老, 生理功能衰退, 抗氧化酶清除小麦体内 ROS 的能力降低, 造成细胞膜过氧化产物 MDA 积累升高。而耕翻+镇压 (HS) 处理在小麦生长期根系和叶片抗氧化酶活性整体高于其他两个处理, 这与张英华和马立婷等^[8-9]结果相似, 可能是翻耕可以提高土壤养分含量和降低土壤紧实度, 促进根系生长与深层分布, 增加根系对土壤中的水肥利用率, 从而提高旗叶的抗氧化酶活性^[7,11-14,19]。刘志鹏等^[20]认为小麦生育后期是产量形成的关键时期, 对籽粒灌浆速率和粒重发挥着重要影响。而 HS 处理下小麦千粒重和产量显著高于其他两种处理, 这可能与 HS 处理较高 SOD、POD 和 CAT 活性相关。本研究中, HS 处理下小麦叶片和根系在抽穗期至花后 10 d 保持较高的抗氧化酶活性, 这对降低叶片 MDA 含量有着重要的作用, 而叶片 MDA 含量和产量呈显著负相关性 ($R=-0.774$, $P<0.01$), 这与高抗氧化酶活性能够及时清除 ROS, 降低旗叶 MDA 含量, 使叶片保持较高生理活性, 延缓衰老增强小麦旗叶光合特性, 从而提高粒重增加产量^[8,18,20-22]。

本研究表明翻耕+镇压处理可为小麦生长提供更适宜的土壤环境, 增加孕穗至花后 5 d 小麦叶片和根系中 SOD、POD 和 CAT 活性, 降低 MDA 含量, 延缓衰老促进籽粒灌浆, 增加小麦穗粒数、千粒重和有效穗数从而提高小麦产量。因此翻耕+镇压可作为该地区小麦高产栽培的耕作措施。

参考文献:

- [1] 赵亚丽, 薛志伟, 郭海斌, 等. 耕作方式与秸秆还田对冬小麦-夏玉米耗水特性和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2014, 47(17): 3359-3371.
- [2] 聂良鹏, 郭利伟, 牛海燕, 等. 轮耕对小麦-玉米两熟农田耕层构造及作物产量与品质的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(3): 468-478.
- [3] SHI Y, YU Z W, MAN J G, et al. Tillage practices affect dry matter accumulation and grain yield in winter wheat in the North China Plain[J]. Soil Tillage Res, 2016, 160: 73-81.
- [4] URAGUCHI S, KIYONO M, SAKAMOTO T, et al. Contributions of apoplasmic cadmium accumulation, antioxidative enzymes and induction of phytochelatins in cadmium tolerance of the cadmium-accumulating cultivar of black oat (*Avena strigosa* Schreb.)[J]. Planta, 2009, 230(2): 267-276.
- [5] KANG H M, CHEN K, BAI J, et al. Antioxidative system's responses in the leaves of six Caragana species during drought stress and recovery[J]. Acta Physiol Plant, 2012, 34(6): 2145-2154.
- [6] 陈珺, 赖齐贤, 何宝龙, 等. 土壤干旱对观赏植物活性氧产生和抗氧化酶活性的影响[J]. 西北植物学报, 2014, 34(7): 1390-1396.
- [7] 高阳, 黄玲, 李新强, 等. 开花后水分胁迫对冬小麦旗叶光合作用和保护酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 201-206.
- [8] 张英华, 杨佑明, 曹莲, 等. 灌浆期高温对小麦旗叶与非叶器官光合和抗氧化酶活性的影响[J]. 作物学报, 2015, 41(1): 136-144.
- [9] 马立婷, 王泮, 田平, 等. 耕作方式与玉米根系功能及其保护酶活性关系研究[J]. 玉米科学, 2017, 25(3): 59-64.
- [10] 黄明, 吴金芝, 李友军, 等. 不同耕作方式对旱作冬小麦旗叶衰老和籽粒产量的影响[J]. 应用生态学报, 2009, 20(6): 1355-1361.
- [11] 高飞, 李霞, 任佰朝, 等. 小麦玉米周年生产中耕作方式对夏玉米根系特性和产量的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(11): 2141-2149.
- [12] 王万宁, 强小嫚, 刘浩, 等. 麦前深松对夏玉米土壤物理性状和生长特性的影响[J]. 水土保持学报, 2017, 31(6): 229-236.
- [13] 王静, 王小纯, 熊淑萍, 等. 耕作方式对砂姜黑土小麦氮代谢及氮素利用效率的影响[J]. 麦类作物学报, 2014, 34(8): 1111-1117.
- [14] 王新兵, 侯海鹏, 周宝元, 等. 条带深松对不同密度玉米群体根系空间分布的调节效应[J]. 作物学报, 2014, 40(12): 2136-2148.
- [15] 赵海泉. 基础生物学实验指导-动物学分册[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2008.
- [16] 焦德茂, 李霞, 黄雪清, 等. 不同高产水稻品种生育后期叶片光抑制、光氧化和早衰的关系[J]. 中国农业科学, 2002, 35(5): 487-492.
- [17] 郑有飞, 胡程达, 吴荣军, 等. 臭氧胁迫对冬小麦光合作用、膜脂过氧化和抗氧化系统的影响[J]. 环境科学, 2010, 31(7): 1643-1651.
- [18] 王法宏, 王旭清, 任德昌, 等. 土壤深松对小麦根系活性的垂直分布及旗叶衰老的影响[J]. 核农学报, 2003, 17(1): 56-61.
- [19] 晋鹏宇, 任伟, 陶洪斌, 等. 深松对夏玉米物质生产、光合性能及根系生长的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(1): 114-120.
- [20] 刘志鹏, 陈曦, 杨梦雅, 等. 氮量及减灌对冬小麦旗叶生理参数和细胞保护酶活性的影响[J]. 麦类作物学报, 2018, 38(2): 175-182.
- [21] 高阳, 黄玲, 李新强, 等. 开花后水分胁迫对冬小麦旗叶光合作用和保护酶活性的影响[J]. 水土保持学报, 2013, 27(4): 201-206.
- [22] 仝星星, 宋希云, 刘树堂, 等. 小麦-玉米轮作耕作方式对玉米灌浆成熟期叶片衰老生理特性的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(5): 954-960.