

麦秸翻压还田对隔茬冬小麦旗叶抗性的生理效应

高茂盛¹ ,廖允成^{1,*} ,吴清丽¹ ,温小霞¹ ,刘永林² ,崔莉荣²

(1. 西北农林科技大学 农学院 ,陕西杨凌 712100 2. 延安市洛川农业科学研究所 ,陕西洛川 727400)

摘要 :为了揭示秸秆翻压还田对冬小麦旗叶叶片衰老及抗性指标的变化规律 ,试验设置 4 个小麦秸秆翻压还田量 (0、4500、6000、7500 kg/hm²) ,测定分析了冬小麦旗叶叶绿素含量、光合速率、丙二醛 (MDA)含量、超氧化物歧化酶 (SOD)活性、过氧化物酶 (POD)活性及可溶性蛋白质含量等抗性指标。结果表明 ,秸秆还田可明显减缓冬小麦植株衰老过程中叶片叶绿素的降解和光合速率下降 ,并有效调节叶片超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)活性下降、可溶性蛋白质含量下降和丙二醛 (MDA)含量的增加 ,延缓了冬小麦生育后期叶片的衰老 ;通过对各抗性指标与光合速率的相关性分析表明 ,各抗性指标在抑制冬小麦衰老过程中的作用大小依次为 :丙二醛 > 可溶性蛋白质 > POD 活性 > SOD 的活性 (丙二醛 - 0.999** ;可溶性蛋白质 0.997** ;POD 活性 0.976* ,SOD 活性 0.954*)。综合各处理的抗性指标得出 ,处理Ⅲ (6000 kg/hm²)在提高作物后期抗逆性能力方面表现较好 ,处理Ⅳ (7500 kg/hm²)表现较差。

关键词 秸秆翻压还田 ;冬小麦 ;抗性指标 ;生理效应

文章编号 :1000-0933 (2007)10-4197-06 中图分类号 :Q948 ,S512.1 文献标识码 :A

Physiological effects of ploughing wheat straw under soil on flag-leaf resistance of winter wheat under wheat-summer corn rotation

GAO Mao-Sheng¹ ,LIAO Yun-Cheng^{1,*} ,WU Qing-Li¹ ,WEN Xiao-Xia¹ ,LIU Yong-Lin² ,CUI Li-Rong²

1 College of Agronomy ,Northwest A & F University ,Yangling ,Shaanxi 712100 ,China

2 The agriculture science institute ,Luochuan ,shaanxi ,727400 China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (10) 4197 ~ 4202.

Abstract :To study the physiological effects of ploughing wheat straw under soil on the senescence and resistant parameters of the flag leaves of winter wheat under wheat-summer corn rotation ,the experiment investigated the chlorophyll contents ,photosynthetic rates ,MDA contents ,SOD and POD activities and solvable protein contents in the flag leaves of Winter wheat at different rates of wheat straw ploughed under soil (0 ,4500 ,6000 kg/hm² and 7500 kg/hm²). The results indicated that ploughing wheat straw under soil could remarkably slow down the declines in the chlorophyll contents and photosynthetic rates ,inhibit the reductions in the SOD and POD activities and the increases in the MDA contents in the leaves of wheat plants during senescence so as to delay leaf senescence of wheat during late growth ;the correlations of different resistant parameters with the photosynthetic rates indicated that during the senescence of winter wheat ,the anti-

基金项目 :国家自然科学基金资助项目 (30671227 ,30070439 ,30300213) ;“十一五”国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD15B06) ;陕西省自然科学基金资助项目 (2006C₁04) ;西北农林科技大学“青年学术骨干支持计划”资助项目

收稿日期 2006-09-15 ;修订日期 2007-04-29

作者简介 :高茂盛 (1986 ~) ,男 ,内蒙古呼和浩特人 ,博士生 ,主要从事农业资源利用研究. E-mail :hsgms@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :yunchengliao@163.com

Foundation item :The project was financially supported by National natural Science foundation of china (No. 30671227 ,30070439 ,30300213) ;State Eleventh five-year plan for supporting science and technology (No. 2006BAD15B06) ;Natural Science foundation of shaanxi province (No. 2006C₁04) ;The northwest A&F University plan for supporting young

Received date 2006-09-15 ;**Accepted date** 2007-04-29

Biography :GAO Mao-Sheng , male ,PH. D ,the research direction is agricultural resource efficient utilization. E-mail :hsgms@163.com

aging contribution of different resistant parameters increased in the order of MDA content > solvable protein content > POD activity > SOD activity (with correlation coefficients standing at -0.999^{**} ; 0.997^{**} , 0.976^{*} and 0.954^{*} , respectively). Among all treatments , ploughing wheat straw under soil had the most favorable effect at the rate of 6000 kg wheat straw / hm^2 and the least favorable effect at the rate of 7500 kg wheat straw / hm^2 .

Key Words : ploughing wheat straw under soil ; winter wheat ; resistant parameters ; the physiological effect

作物生育后期根系和叶片的早衰是影响产量的重要因素之一^[1]。大量研究表明 :叶片在衰老过程中 ,其叶绿素含量显著下降 ,且各种抗氧化酶 (SOD、POD、CAT)活力的下降 ,将会导致体内产生与清除活性氧的动态平衡被打破 ,氧自由基大量积累 ,引起生物大分子损伤和膜脂过氧化 ,从而影响光合作用的正常进行 ,净光合速率明显降低 ,使叶片迅速进入衰老^[2~6]。近年来 ,秸秆还田在农业生产中的作用已有较多报道 ,这些报道多集中在有机肥对作物产量、土壤理化性质、土壤肥力、土壤养分平衡等方面^[7~12] ,而秸秆还田后对隔茬冬小麦旗叶抗性生理指标变化规律的研究却未见报道。本文拟对秸秆翻压还田后冬小麦旗叶叶片衰老及抗性指标的变化规律进行研究 ,旨在通过秸秆翻压还田增加土壤肥力、改善土壤生态环境进而调节冬小麦叶片内部生理生态而延缓冬小麦旗叶后期的衰老幅度 ,进而提高作物的产量。

1 试验设计与方法

1.1 试验设计

2005 年 6 月于西北农林科技大学农作一站进行试验 ,作物种植方式为小麦-玉米一年两熟 ,小麦品种为西农 979 ,玉米品种为陕单 902。麦秸翻压前测定土壤 (0 ~ 40cm)的基本肥力状况为 :土壤有机质 9.28 g/kg ,速效氮 11.53 mg/kg ,速效钾 113.48mg/kg ,速效磷 6.32mg/kg ,pH7.35。

本文研究共设 4 个处理 ,以处理 I 为对照 ,具体试验设置如下 :I . 常规耕作 (施尿素 529kg/ hm^2 ,磷酸二铵 225kg/ hm^2 ,去麦秸 ,耕翻) ;II . I + 小麦秸秆 4500kg/ hm^2 ;III . I + 小麦秸秆 6000 kg/ hm^2 ;IV . I + 小麦秸秆 7500 kg/ hm^2 。小区面积 37.5 m^2 ,长 7.5m ,宽 5 m ,重复 3 次 ,随机排列 ,其它按常规田间管理措施。2005 年 6 月上旬冬小麦收获后 ,麦秸用秸秆还田机粉碎后机械翻压还田 ,随后人工播种玉米 ,玉米收获后去茬免耕人工播种冬小麦。

1.2 测定项目及分析方法

(1)叶片光合速率的测定 :从 2006 年 4 月 24 日 (拔节期)开始 ,每 7d 测 1 次 ,到 5 月 22 日成熟期为止。所用仪器为 Li-6400 便携式光合作用测定仪 (美国 LI-COR 公司) ,在光强 1200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$ 下测定。

(2)叶绿素含量测定 :从 2006 年 4 月 17 日 (苗期)开始 ,每 7d 测 1 次 ,到 5 月 22 日成熟期为止。采用 80% 的丙酮直接浸提法 ,721 型分光光度计比色测定。

(3) 叶片丙二醛 (MDA)含量的测定 :采用硫代巴比妥酸法^[7]。

(4) 叶片 SOD 活性的测定 :采用 NBT 光化还原法^[7]。

(5) 叶片 POD 活性的测定 :采用 Sigma 法^[7] ;

(6) 叶片可溶性蛋白质含量的测定 :采用考马斯亮蓝法^[7]。

(7) 土壤养分的测定 :依照常规分析方法

数据处理用 SPASS、SAS8.01 统计软件和 Excel2003 进行。

2 结果与分析

2.1 玉米收获后各处理速效肥含量对比

玉米收获后对各处理表层土壤的肥力进行了测定。

表 1 为 2005 年 10 月初接茬作物玉米收获后土壤速效氮、速效磷和速效钾含量对比 ,从表 1 可以看出 ,秸秆还田后改变了土壤的肥力状况 ,与对照 (处理 I)相比 ,处理 II 和处理 III 的速效氮、速效磷和速效钾含量均

大于对照且差异显著,处理Ⅳ的速效氮、速效磷和速效钾含量较对照下降且差异显著。说明在适当的还田量范围内,随着还田量的加大,土壤养分含量增加,到了处理Ⅳ(7500 kg/hm²)的还田量,土壤速效氮、速效磷、速效钾等含量减少。

表 1 玉米收获后各处理土壤肥力对比

Table 1 The content of soil available nutrition after ploughing wheat straw under soil			
处理 Treatment	速效氮 (mg/kg) Available nitrogen	速效磷 (mg/kg) Available phosphorus	速效钾 (mg/kg) Available potassium
Ⅲ	14.22a	7.13a	124.23a
Ⅱ	11.75b	6.67b	120.67b
Ⅰ	11.35c	6.20c	111.07c
Ⅳ	8.56d	5.45d	104.24d

不同字母表示差异显著 ($P > 0.05$, LSD test),值为每个处理中 3 次重复的平均值 Different letters mean significant differences at $P > 0.05$ by LSD test ;The figures are the mean of the three replicates in each treatment

2.2 麦秸翻压还田对隔茬冬小麦叶绿素含量的影响

叶绿素含量的高低决定了叶片光合速率的大小,叶绿素含量降低是小麦叶片衰老的主要指标,其含量高低和降解速度的快慢,在一定程度上反映了叶片衰老的快慢^[3]。前人^[4]对冬小麦生育期间叶片叶绿素含量的变化进行了具体的研究,得出的结果也比较一致,即随着生育进程的推进,叶绿素含量在增加,到了开花灌浆期达到最大值,随后又开始下降,在下降的过程中,下降幅度的大小决定了作物衰老的快慢。通过图 1 可以看出,到生育后期(灌浆期)开始,各处理下降速度差异明显,下降速率依次为处理Ⅳ(52%)>处理Ⅰ(43%)>处理Ⅱ(39%)>处理Ⅲ(18%)。

2.3 麦秸翻压还田对隔茬冬小麦灌浆期光合速率的影响

从图 2 可以看出,在冬小麦生育期中旗叶光合速率先上升而后逐渐下降,各处理均在灌浆初期达到了最大值,此后各处理的光合速率开始持续下降,到灌浆末期,处理Ⅰ、处理Ⅱ、处理Ⅲ和处理Ⅳ光合速率依次下降了 5.46、5.35、5.19μmol/(m²·s)和 6.4543μmol/(m²·s);到蜡熟期,处理Ⅰ、处理Ⅱ、处理Ⅲ和处理Ⅳ光合速率依次下降了 8.83、8.78、8.71μmol/(m²·s)和 9.56μmol/(m²·s)。说明随秸秆还田量的加大,冬小麦旗叶叶片光合速率下降幅度明显减缓,以处理Ⅲ的下降速率最为缓慢,但到了 7500 kg/hm² 开始急剧下降,这表明适量(6000 kg/hm²)秸秆翻压还田可以延缓光合速率的下降,还田量过高反而导致了光合速率的急剧下降。

2.4 麦秸翻压还田对隔茬冬小麦旗叶丙二醛(MDA)含量的影响

叶片 MDA 的含量直接反映了细胞膜脂过氧化程度,是衰老的重要标志,丙二醛含量增高说明衰老进程加快^[4]。从图 3 可以看出随着冬小麦生育进程的推进,丙二醛的含量在逐渐增加,在灌浆期达到最大值,随后又开始下降最后到成熟期冬小麦生长停止而降至最低,在灌浆期处理Ⅲ的丙二醛含量最低,说明其在衰老

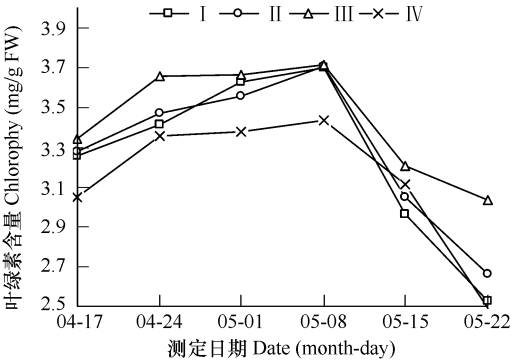


图 1 不同处理各生育期旗叶叶绿素含量

Fig. 1 Chlorophyll dynamic changing of flag leaves in different stage 04-17 苗期 Seeding stage 04-24 拔节期 Jointing stage 05-01 花期 Flowering stage 05-08 ~ 05-15 灌浆期 Corn filling stage 05-22 蜡熟期 Wax-ripe stage ;下同 the same below

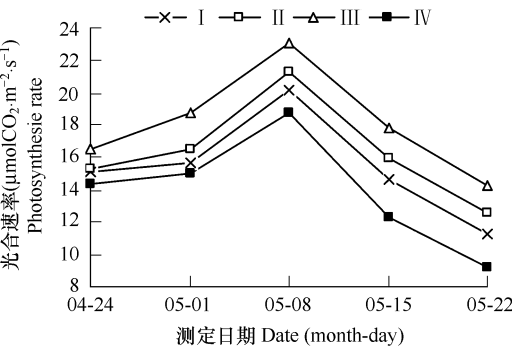


图 2 各处理不同生育期光合速率对比

Fig. 2 The effect of photosynthesis rate in different stage

过程中的膜脂过氧化水平较低,质膜受损程度较轻,这对维持细胞代谢水平具有重要的意义。而处理Ⅳ在灌浆期的丙二醛含量最高,说明质膜受损程度较重。

2.5 麦秸翻压还田对隔茬冬小麦 SOD 活性的影响

超氧化物歧化酶 (SOD) 是植物体内消除活性氧的主要酶之一,也是生物防御膜脂过氧化物及活性氧伤害的重要保护酶之一^[15],可以消除植物体内氧自由基的过多积累,延缓植物的衰老,进而提高作物的产量。从图 4 可以看出,冬小麦旗叶 SOD 活性整个生育期的变化呈单峰变化曲线,开始逐渐升高,到了灌浆期达到最高,随后又急剧下降,前期 SOD 活性升高不显著,后期急剧下降达到显著差异,其中以处理Ⅲ下降幅度最慢。说明适量秸秆翻压还田能降低冬小麦后期叶片 SOD 活性的下降幅度,其中以 6000kg/hm² 的秸秆还田量为好,秸秆还田量过大反而加快了叶片 SOD 活性的下降速度。

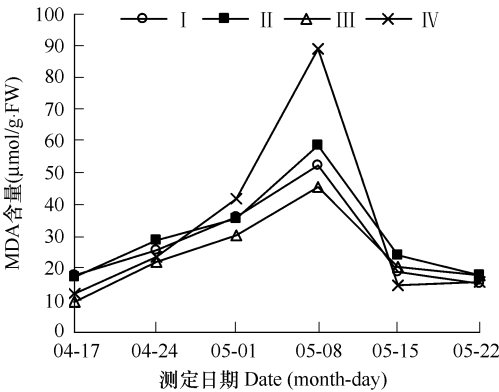


图 3 不同处理冬小麦各生育期旗叶丙二醛含量对比

Fig. 3 The compared of MDA of flag leaves in different stage

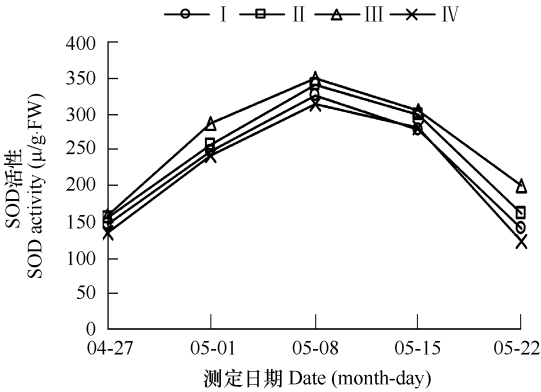


图 4 不同处理对冬小麦旗叶 SOD 活性的影响

Fig. 4 The effect of the SOD activity in different treatment

2.6 麦秸翻压还田对隔茬冬小麦 POD 活性的影响

过氧化物酶是植物体内膜脂过氧化过程中重要的保护酶之一,是植物体内消除氧化物、降低活性氧伤害的一种关键酶,对保护膜结构的稳定性至关重要^[15]。从图 5 可以看出,在开花期以前,冬小麦旗叶叶片 POD 活性随生育进程的推进在急剧上升,到花期后 6~7d 达到最大值,随后又开始下降,到成熟期下降变得非常缓慢,其中以处理Ⅲ表现最为缓慢,说明处理Ⅲ的秸秆还田量能提高冬小麦成熟期旗叶叶片的抗性。

2.7 麦秸翻压还田对隔茬冬小麦蛋白质含量的影响

叶片中可溶性蛋白质主要是参与植物体内的代谢活动,也是植物衰老的一个重要指标。从图 6 可以看出,冬小麦在营养生长阶段,旗叶可溶性蛋白质含量逐渐增加,尤其是在灌浆期蛋白质含量迅速增加,从灌浆期后开始由于氮素向籽粒转运,旗叶蛋白质含量明显下降,到成熟期左右下降幅度开始缓和。各处理在下降

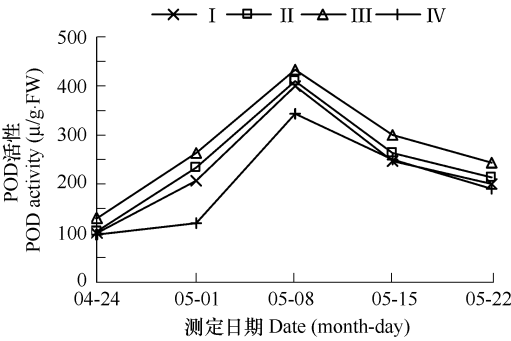


图 5 不同处理对冬小麦旗叶 POD 活性的影响

Fig. 5 The effect of POD activity in different treatment treatment

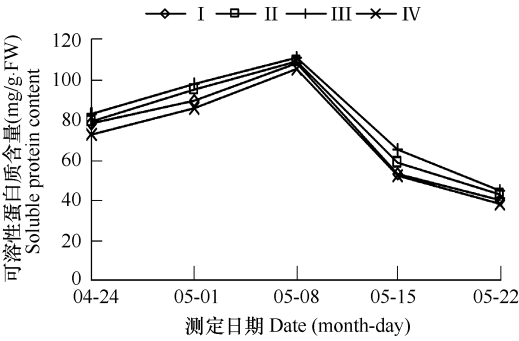


图 6 不同处理对冬小麦旗叶可溶性蛋白质含量的影响

Fig. 6 The effect of the soluble protein content in different treatment

过程中,下降幅度的大小决定了旗叶叶片衰老程度的大小,其中处理 3 的蛋白质含量下降幅度比其它处理小。

2.8 麦秸还田增肥效应与隔茬冬小麦旗叶抗性生理指标的相关性分析

表 2 中的土壤速效肥是 2005 年 10 月初接茬玉米收获后的测定值(见表 1)。通过表 2 可以看出,冬小麦旗叶光合速率与速效氮、磷、钾含量都有相关性,其中速效氮和速效磷与光合速率达到了极显著和显著正相关性,各抗性指标中可溶性蛋白质含量与速效肥含量的正相关性最强,都达到显著和极显著相关性,可溶性蛋白质含量是植物体内重要的抗旱生理指标,秸秆还田后形成的速效肥调节了水分的供应进而提高了可溶性蛋白质的含量使冬小麦抗逆性增强;从各抗性生理指标与光合速率的相关性可以看出,可溶性蛋白质含量和丙二醛含量与光合速率的相关性最强,POD 活性和 SOD 活性次之,说明在冬小麦抗逆过程中可溶性蛋白质含量与丙二醛含量比 SOD 活性和 POD 活性的作用要大。

表 2 土壤肥力与冬小麦旗叶抗性生理指标及抗性生理指标与光合速率的相关性分析

Table 2 The correlation of Soil fertility with physiological parameters of resistance and Photosynthetic rate with physiological parameters of resistance

项目 Items	光合速率 Photosynthetic rate	SOD 活性 SOD Activity	POD 活性 POD Activity	丙二醛含量 MDA content	可溶性蛋白质含量 Soluble protein content
速效氮 Available nitrogen	0.999 **	0.944	0.976 *	-1 **	0.994 **
速效磷 Available Phosphorus	0.983 *	0.986 *	0.981 *	-0.974 *	0.994 **
速效钾 Available Potassium	0.940	0.996 **	0.941	-0.923	0.961 *
光合速率 Photosynthesis Rate	1	0.954 *	0.976 *	-0.999 **	0.997 **

* 表示显著相关 Correlation is significant at the 0.05 level ;* * 表示极显著相关 Correlation is significant at the 0.01 levels

3 结论与讨论

3.1 冬小麦籽粒干物质的 70% ~80% 是在抽穗后形成的,其中 1/3 左右由旗叶供给,因此冬小麦叶片功能期的长短尤其是开花后功能叶的寿命,对冬小麦籽粒的产量有着重要作用。本试验结果表明,不同秸秆量翻压还田后隔茬冬小麦叶片叶绿素含量不同,但其变化规律基本一致,在冬小麦生育后期旗叶叶绿素开始降减,其中以处理Ⅲ的下降速度(18%)最慢,而处理Ⅳ下降速度(52%)最快;不同处理冬小麦光合速率和叶绿素含量变化总趋势类似,拔节~灌浆初期冬小麦叶绿素含量最高,此期光合作用最强,叶绿素含量绝对值的高低可反映其产量潜力,适宜的还田量处理小麦光合速率和叶绿素含量均明显高于对照。王法宏^[4]的研究表明,小麦旗叶叶绿素降解速度下降,光合作用强度增加主要是由于小麦根系在土壤中扩展深度的增加。导致本试验中叶绿素和光合速率变化的可能原因是通过秸秆还田促进了根系的生长,根系在深层土壤的分布增加,进而延缓了小麦旗叶的衰老,高茂盛等^[1]的研究也证实了这一点。

3.2 正常情况下,植物细胞的叶绿体在光合作用过程中会产生一些活性氧,对细胞产生一定的损害。但由于细胞内存在抗氧化酶使这些活性氧得以清除。SOD 是 O₂⁻ 的净化剂,通过去除 O₂⁻ 及减少其它活性氧的浓度,从而对细胞起到保护作用,POD 能清除 H₂O₂,它与 SOD 协同作用,共同维持植物体内活性氧的平衡^[6]。但這些抗性指标如受到外界的影响就会有所变化,试验表明通过适量秸秆还田后冬小麦生育后期旗叶 SOD 活性、POD 活性、丙二醛含量及可溶性蛋白质含量等各项抗衰老指标都比对照有所提高。其原因是秸秆还田后改善了土壤的生态环境、微生物活性增强、土壤中的速效肥含量增多,特别是容易被土壤固定的速效磷和作物难以吸收的钾含量增多和因此而发育健壮的个体有关,通过土壤速效肥含量与各生理指标的相关性分析也验证了这一点。

3.3 施大伟、陈国祥等^[6]研究了在小麦的衰老过程中,POD 活性和 SOD 活性贡献值的大小,结果表明:POD 活性在小麦的衰老中起的作用比 SOD 活性要大,从本试验的结果中也验证这一点。通过各抗性指标与光合速率的相关性分析表明各抗性指标在冬小麦的衰老过程中的作用大小依次为:丙二醛>可溶性蛋白质>POD 活性>SOD 的活性(SOD 活性 0.954*,POD 活性 0.976*,丙二醛 -0.999**,可溶性蛋白质 0.997**)。

References :

[1] Gao M S , Liao Y C , Yin Z Y , *et al.* The Effect of Returning Wheat Straw into Field on the Activity of Root System and Leaf Senescence Character of Winter Wheat. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin* , 2007 27 (2) 0303 — 0308.

[2] Shen W B , Ye M B , Xu L L. Changes of ability of scavenging active oxygen during natural senescence of wheat flag leaves. *Acta Botanical Sinica* , 1997 39 (7) 634 — 640.

[3] Wang G X , Yang C D , Liang H G. Changes of SOD activity and MDA content during development and senescence of broad bean leaves. *Acta Photophysiological Sinica* , 1989 , 15 : 13 — 17.

[4] Li B L , Mei H S. Relationship between oat leaf senescence and activated oxygen metabolism. *Acta Photophysiological Sinica* , 1989 , 15 : 6 — 12.

[5] Hua CH , Wang Y L. Changes of SOD and CAT activities and MDA content during senescence of hybrid rice and three lines leaves. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin* , 2003 , 23 (3) 406 — 409.

[6] Shi D W , Chen G X , Zhang CH J. Comparison of physiological properties between two high-yield wheat varieties during flag natural senescence. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica* , 2005. 14 (2) : 23 — 26.

[7] Zhang Z L. The guidance of plant physiology experiment. Beijing : Higher Education Press , 1990.

[8] Xu F H , Liu Y C , Wang W D. The function of improving phosphate level and the effect of increasing phosphate level or adding dry materials of plant by returning straw to soil directly. *Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University* , 1997 , 9 (3) : 1 — 5.

[9] Li L J , Yang Z F , Li W G. Returning straw to soil on the effect of consecutive crop's yield. *Journal of Anhui Agricultural Sciences* , 2000 , 28 (4) : 450 — 457.

[10] Wang K , Yang Y A , Yuan K N. Effects of Manure On the Enzyme Activities in the Rhizosphere of Wheat. *Journal of Zhejiang Agricultural University* 21 (2) : 111 — 115 , 1995.

[11] Li L L , Huang G B , Zhang R Z. Effect of no-till with stubble retention on soil water regimes in rain fed areas. *Journal of Soil and Water Conservation* , 2005 , 19 (5) : 94 — 97.

[12] Jiang D , Yu Z W , Xu Y M. Effect of combined application of organic manure and fertilizers os senescence of root and flag leaf in winter wheat. *Acta Pedologica Sinica* , 1999 24 (1) : 440 — 447.

[13] Wang F H , Ren D C , Wang X Q. Effect of applying fertilizer on root activity , delaying the senescence of the flag leaf and yield in winter wheat. *Journal of Triticeae Crops* , 2001 21 (3) 51 — 54.

[14] Yamaguchi J , Tanaka A. An image p processing method to measure Plant roots traits. *Soil Sci. Plant Nutr.* , 1990 36 (2) 337 — 343.

[15] Wang F H , Wang X Q , Li S J. Effect of vertical distribution of root on senescence of flag leaf and partition of dry matter in high yielding winter wheat. *Journal of Triticeae Crops* , 2003 23 (1) 53 — 57.

参考文献 :

[1] 高茂盛 , 廖允成 , 尹振燕 , 等. 麦秸还田对隔茬冬小麦根系及叶片衰老的影响. *西北植物学报* 2007 27 (2) 0303 ~ 0308.

[2] 沈文飏 , 叶茂炳 , 徐朗莱 , 等. 小麦旗叶自然衰老过程中清除活性氧能力的变化. *植物学报* 1997 39 (7) 634 ~ 640.

[3] 王根轩 , 杨成德 , 梁厚果. 蚕豆叶片发育与衰老过程中超氧化物歧化酶活性与丙二醛含量变化. *植物生理学报* 1989 , 15 : 13 ~ 17.

[4] 李柏林 , 梅慧生. 燕麦叶片衰老与活性氧代谢的关系. *植物生理学报* , 1989 , 15 : 6 ~ 12.

[5] 华春 , 王仁雷. 杂交稻及其三系叶片衰老过程中 SOD、CAT 活性和 MDA 含量的变化. *西北植物学报* 2003 , 23 (3) 406 ~ 409.

[6] 施大伟 , 陈国祥 , 张成军 , 等. 两种高产小种旗叶自然衰老过程中生理特性的比较. *西北农业学报* 2005. 14 (2) : 23 ~ 26.

[7] 张志良. *植物生理学实验指导*. 北京 : 高等教育出版社 , 1990.

[8] 徐金花 , 刘永春 , 王伟东 , 等. 秸秆还田的增磷作用及对植株的全磷含量干物质积累的影响. *黑龙江八一农垦大学学报* , 1997 , 9 (3) : 1 ~ 5.

[9] 李录久 , 杨哲峰 , 李文高 , 等. 秸秆直接还田对当季作物产量效应. *安徽农业科学* 2000 28 (4) : 450 ~ 457.

[11] 李玲玲 , 黄高宝 , 张仁陟 , 等. 免耕秸秆覆盖对旱作农田水分的影响. *水土保持学报* 2005 , 19 (5) : 94 ~ 97.

[12] 姜东 , 于振文 , 许玉敏 , 等. 有机无机肥配合施用对冬小麦根系和旗叶衰老的影响. *土壤学报* 1999 24 (1) : 440 ~ 447.

[13] 王法宏 , 任德昌 , 王旭清 , 等. 施肥对小麦根系活性、延缓旗叶衰老及产量的效应. *麦类学报* 2001 21 (3) 51 ~ 54.

[15] 王法宏 , 王旭清 , 李松坚 , 等. 小麦根系扩展深度对旗叶衰老及光合产物分配的影响. *麦类学报* 2003 23 (1) 53 ~ 57.