

粉垄耕作对潮土冬小麦田间群体微环境的影响

聂胜委¹, 张玉亭¹, 汤丰收², 何 宁¹, 黄绍敏¹, 张巧萍^{1,3}, 韦本辉⁴

(1.河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; 2.河南省农业科学院经济作物研究所, 河南 郑州 450002; 3.河南农业大学生命科学学院, 河南 郑州 450002; 4.广西农业科学院经济作物研究所, 广西 南宁 530007)

摘 要:研究了新型耕作方法(粉垄耕作)对潮土冬小麦田间群体微环境的影响,探索耕作措施与作物群体微环境的关系,为获得小麦高产提供理论依据。设旋耕 CK(12~16 cm)、粉垄耕作 FL1(20~30 cm)和粉垄耕作 FL2(30~40 cm) 3 个处理,其他一切农事操作均保持一致。结果表明,粉垄耕作(FL1, FL2)对小麦灌浆期群体的冠层温度、群体内地表的温度以及群体内 CO₂ 浓度影响较大。灌浆期,群体的冠层温度 FL1(31.72 °C)、FL2(32.15 °C)比 CK(32.72 °C)低,群体内地表温度 FL1(27.98 °C)、FL2(28.30 °C)比 CK(27.97 °C)高,群体的 CO₂ 浓度 FL1(373.5 mg·L⁻¹)、FL2(373.5 mg·L⁻¹)均显著低于 CK(431.7 mg·L⁻¹)。FL1、FL2 处理群体内相对湿度在孕穗期、灌浆期分别为 58.1%、60.9%和 60.8%、56.6%,高于 CK(52.7%和 57.7%);相反,群体内温度分别为 25.0、23.9 °C 和 32.7、33.2 °C,低于 CK(27.0 °C 和 33.8 °C)。此外,拔节期粉垄耕作的土壤耕层温度比 CK 低 1~2 °C,孕穗期比 CK 高 0~0.5 °C。粉垄耕作措施能够有效地改善小麦生育中后期田间微环境,提高抗逆能力,增加产量。

关键词:粉垄耕作;潮土;冬小麦;群体;微环境

中图分类号:S341.1

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)02-0204-05

doi: 10.13254/j.jare.2014.0328

Effect of Smash Ridging Tillage on Micro-environment of Winter-wheat Group in Fluvo-Aquic Soil Farmlands

NIE Sheng-wei¹, ZHANG Yu-ting¹, TANG Feng-shou², HE Ning¹, HUANG Shao-min¹, ZHANG Qiao-ping^{1,3}, WEI Ben-hui⁴

(1. Institute of Plant Nutrient and Environmental Resources, Henan Academy of Agricultural Science, Zhengzhou 450002, China; 2. Industrial Crops Research Institute, Henan Academy of Agricultural Science, Zhengzhou 450002, China; 3. College of Life Sciences, Henan Agriculture University, Zhengzhou 450002, China; 4. Industrial Crops Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Science, Nanning 530007, China)

Abstract: In this manuscript, effects of a new smash ridging tillage on micro-environment was studied. There were three treatments as followed: smash ridging tillage FL1 (20~30 cm), smash ridging tillage FL2 (30~40 cm), and rotation tillage CK (12~16 cm), respectively. The results showed that there were great effects of smash ridging tillage (FL1 and FL2) on wheat group canopy temperature, wheat group ground temperature and wheat group carbon dioxide content during wheat filling stage, while there were little effects at other growing stages. At wheat filling stage, wheat group canopy temperature of smash ridging tillage FL1 (31.72 °C) and FL2 (32.15 °C) were lower than that of CK (32.72 °C), and carbon dioxide content of smash ridging tillage FL1 (373.5 mg·L⁻¹) and FL2 (373.5 mg·L⁻¹) were significantly ($P \leq 0.05$) higher than that of CK (431.7 mg·L⁻¹); however, wheat group ground temperature of smash ridging tillage FL1 (27.98 °C) and FL2 (28.30 °C) were higher than that of CK (27.97 °C). Furthermore, the relativity humidity of wheat group of FL1 and FL2 at pregnant stage and filling stage were 58.1%, 60.9% and 60.8%, 56.6%, respectively, and they were all higher than that of CK (52.7% and 57.7%). On the contrary, wheat group temperature of FL1 and FL2 at pregnant stage and filling stage were 25.0 °C, 23.9 °C and 32.7 °C, 33.2 °C, respectively, and they were lower than that of CK (27.0 °C and 33.8 °C). Additionally, there were about 1~2 °C lower and 0~0.5 °C higher of soil tillage layers of smashing tillage compared with CK at elongation and pregnant stage, respectively. Smash ridging tillage could effectively improve the micro-environment during the wheat middle and later growth stages, enhance wheat's adversity ability, and obtain higher grain yields.

Keywords: smash ridging tillage; fluvo-aquic soil; winter wheat; group; micro-environment

收稿日期:2014-11-24

基金项目:国家自然科学基金(31301284);河南省农业科学院优秀青年科技基金(2013YQ15);“十二五”科技支撑计划循环农业项目(2012BAD14B08, 2012BAD14B04);河南省重点科技攻关项目(132102110068);河南省产粮大省项目(2015CL01)

作者简介:聂胜委(1979—),男,河南汝州人,博士,副研究员,主要从事长期定位施肥、农作制度、生态修复等方面的研究。

E-mail: nsw2004@126.com

小麦是我国重要的粮食作物,在稳定粮食产量、增加食物供给以及保障粮食安全等方面占有重要的地位。围绕小麦增产,农业科研工作者从育种、施肥、耕作、栽培、植保等领域进行了大量的研究。有研究认为,粉垄耕作可以显著提高作物的产量,它是将旱地传统整地使用的牲畜或机械犁、耙,或人工挖、锄碎土起垄改变为利用专用机械垂直螺旋型钻头,按照作物种植需求将土壤旋磨粉碎并且自然悬浮呈垄,垄与垄之间免耕部分即为人行道(排灌沟),粉垄耕作面上种植相应作物;因该耕作方式将土壤旋磨粉碎且自然呈垄,将其命名为粉垄^[1]。相关研究表明,粉垄耕作技术能够显著提高水稻^[2-3]、马铃薯^[4]、甘蔗^[5]、玉米^[6-7]、花生^[6]、桑树^[8]等作物产量;而且还能够改善水稻、甘蔗等产品品质^[3,5]。同时,改变耕作方式还可以改变土壤和作物的部分功能,与旋耕相比,深松以及深松和旋耕结合的耕作方式能够明显增加 60~200 cm 土层的土壤含水量,有利于小麦旗叶在灌浆后期保持较高的生理活性,增加籽粒产量^[9];深松覆盖的小麦叶片光化学猝灭系数、非光化学猝灭系数和光化学效率值较旋耕耕作高,光抑制程度较小,更有利于提高水分利用效率和增加产量^[10];此外,深松覆盖耕作技术能提高土壤养分含量,增加土壤饱和导水率,减缓地表温度的日变化幅度,提高土壤对降水的利用率^[11]。这说明改变耕作方式能够改变土壤的环境和功能(土壤含水量、温度等),同时影响地上部作物的生长和功能(旗叶生理活性和增加产量等)。作物群体微环境与作物自身的抗性密切相关,通过耕作方式的改变,调节和改善作物生长的土壤环境,进而影响地上部的生长,增强地上部群体抵御外界不良因子的能力,提高作物对环境的适应性。小麦作为我国主要粮食作物之一,研究新型耕作方式(粉垄耕作)对小麦群体微环境的影响,为进一步研究耕作措施与作物群体微环境关系,获得小麦高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于河南省焦作市温县黄庄镇(34°52'N、112°51'E),属暖温带大陆性季风气候,四季分明,光照充足,年平均气温 14~15℃,年积温 4 500℃以上,年日照 2 484 h,年降水量 550~700 mm,无霜期 210 d。土壤类型为潮土,偏碱性,土地肥沃,试验地基础土样有机质、全氮、速效钾、速效磷含量分别为 12.5、0.88 g·kg⁻¹ 和 325.6、23.8 mg·kg⁻¹。

1.2 试验设计

试验采用单因素完全随机设计,设置 3 个处理,各处理为:(1)粉垄 1(FL1):直接用粉垄机械深旋耕作业 1 遍,粉垄深度为 20~30 cm,然后用旋耕机轻度(入土 2~3 cm)旋耕平整 1 遍,施肥,播种;(2)粉垄 2(FL2):用粉垄机械深旋耕作业 1 遍,粉垄深度为 30~40 cm,然后用旋耕机轻度(入土 2~3 cm)旋耕平整 1 遍,施肥,播种;(3)旋耕作为对照(CK):用旋耕机旋耕 2 遍(12~16 cm),施肥,播种。种植制度为小麦、玉米一年两熟轮作。每个小区占地 0.2 hm²,重复 3 次,共计 9 个小区。除耕作方式不同外,其他试验条件如品种、施肥、灌溉、除草等均保持一致。试验选用的小麦品种为理生 828(省审理生 828),于 2013 年 10 月 16 日播种,播量 195 kg·hm⁻²;施肥:尿素 225 kg·hm⁻²,磷酸二铵 375 kg·hm⁻²,氯化钾 150 kg·hm⁻²。追肥本着“前氮后移”的原则,拔节到孕穗阶段施尿素 150 kg·hm⁻²。

1.3 测定项目及分析方法

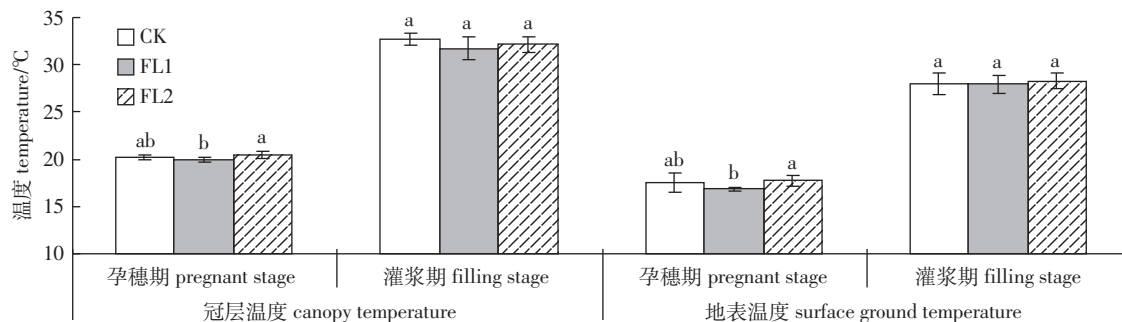
在小麦的拔节期、孕穗期、灌浆期测定土壤耕层温度、湿度,田间群体的冠层温度、群体内地表温度,群体内二氧化碳浓度、空气相对湿度、空气温度;成熟期各处理实收测产。土壤温度、湿度用 Aquameter 计(Made in USA)直接测定,冠层和群体内地表温度用红外线测温仪(Made in Hongkong)测定,群体内二氧化碳、湿度、温度用 CO₂ Meter 计(Made in USA)测定,文中数据用 Excel、DPS 等软件进行整理分析,用 LSD 法进行显著性分析, $P \leq 0.05$ 表示显著性差异水平。

2 结果与分析

2.1 粉垄耕作对冬小麦群体冠层温度和土壤耕层温度及湿度的影响

粉垄耕作对冬小麦孕穗期、灌浆期群体冠层的温度的影响见图 1。由图 1 可以看出,FL1、FL2、CK 处理孕穗期的冠层温度分别为 19.93、20.45、20.18℃,灌浆期的冠层温度分别为 31.72、32.15、32.72℃;灌浆期 FL1、FL2 处理的冠层温度比 CK 略低,粉垄处理间的冠层温度没有明显的规律性和差异性。FL1、FL2、CK 处理孕穗期小麦群体内地表温度分别为 16.85、17.73、17.50℃;灌浆期 FL1(27.98℃)、FL2(28.30℃)处理的地表温度比 CK(27.97℃)略高;FL2 处理的群体内地表温度均高于 FL1,但是未达到差异水平。

土壤耕层温度受多种因素的影响,通过耕作方式的改变不仅改变的是土壤的理化性质,对土壤温、湿



图中同一生长期不同字母代表不同处理间 $P \leq 0.05$ 的显著水平。下同
lowercase letters in the same growing stage mean significant difference at $P \leq 0.05$ level. The same below

图 1 粉垄耕作对冬小麦群体冠层温度和地表温度的影响

Figure 1 Effects of smashing ridge tillage on wheat group canopy temperature and ground temperature

度也产生了较大的影响。由图 2 可以看出,拔节期 FL1、FL2、CK 处理土壤耕层温度分别为 8.50、8.00、9.75 °C,粉垄耕作处理的土壤耕层温度低于 CK;到孕穗期,FL1、FL2、CK 处理土壤耕层温度分别为 12.33、12.50、12.17 °C,FL1、FL2 分别比 CK 高 0.16、0.33 °C。在拔节期、孕穗期,FL1、FL2 处理的土壤耕层湿度均低于 CK。FL1、FL2 2 个处理间的土壤耕层温度在拔节期、孕穗期没有表现出明显的规律性和显著的差异性。

2.2 粉垄耕作对冬小麦田间群体内部微环境的影响

小麦田间群体内部环境受大气、土壤以及作物自身等多种因素的影响,耕作措施改变了土壤理化性

质,进而影响植物的生长和发育,随着地上部群体营养生长的完成,群体自身对其周围小环境的温度、湿度、二氧化碳浓度则会起到一定的调节作用。由表 1 可以看出,孕穗期 FL1、FL2、CK 处理群体内的 CO_2 浓度分别为 431.5、379.6、430.4 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;灌浆期 FL1 (373.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、FL2 (373.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)处理的 CO_2 浓度均显著低于 CK (431.7 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)。FL1、FL2 处理群体内相对湿度在孕穗期、灌浆期分别为 58.1%、60.9%和 60.8%、56.6%,高于 CK (52.7%和 57.7%);此外,FL1、FL2 处理群体内温度分别为 25.0、23.9 °C 和 32.7、33.2 °C,低于 CK (27.0 °C 和 33.8 °C)。在灌浆期,FL1 处理的群体的二氧化碳浓度则要高于 FL2,在孕穗期则显著高于 FL2 处理;FL1 处理在孕穗期的相对湿度和灌浆期的群体内温度显著低于 FL2;相反,FL1 处理在

表 1 粉垄耕作对冬小麦群体内部二氧化碳浓度、温度和相对湿度的影响

Table 1 Effects of smashing ridge tillage on wheat group CO_2 concentration, temperature and relative humidity

指标	生长期	CK	FL1	FL2
二氧化碳浓度 $\text{CO}_2/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	孕穗期 pregnant stage	430.4a	431.5a	379.6b
	灌浆期 filling stage	431.7a	373.5b	373.1b
相对湿度 Relative humidity/%	孕穗期 pregnant stage	52.7c	58.1b	60.9a
	灌浆期 filling stage	57.7b	60.8a	56.6b
群体内温度 Temperature/°C	孕穗期 pregnant stage	27.0a	25.0b	23.9c
	灌浆期 filling stage	33.8a	32.7c	33.2b

注:同一行不同字母代表处理间 $P \leq 0.05$ 的显著水平。

Notes: lowercase letters in the same line mean significant difference at $P \leq 0.05$ levels.

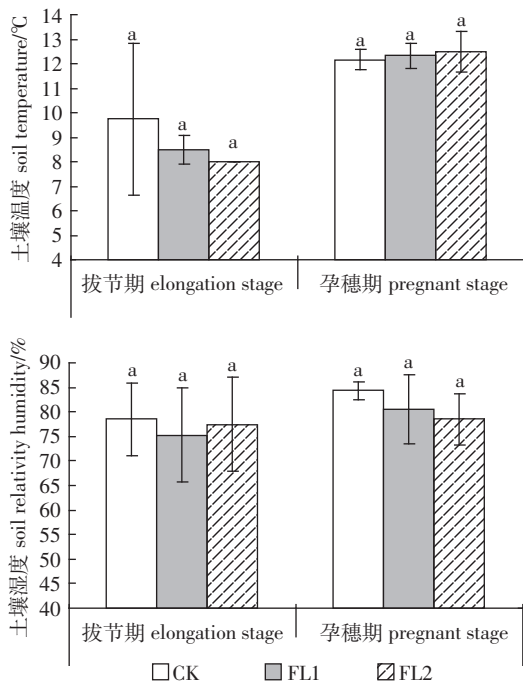


图 2 粉垄耕作对耕层土壤温度和土壤湿度的影响

Figure 2 Effects of smashing ridge tillage on soil tillage layer's temperature and soil humidity

孕穗期的群体内温度和灌浆期的相对湿度显著高于 FL2。

2.3 冬小麦产量的变化

3种耕作方式对小麦产量的影响见图3。由图3可以看出,FL1、FL2、CK各处理实收产量分别为8137.6、8481.2、6518.5 kg·hm⁻²,FL1、FL2分别比CK增产24.5%、30.1%,粉垄耕作处理的小麦产量均显著高于对照,2种耕作方式之间产量差异不显著。

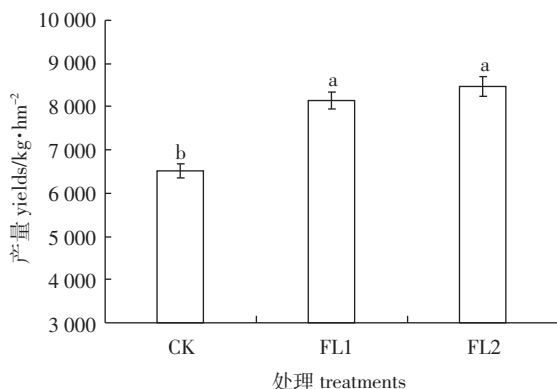


图3 粉垄耕作冬小麦产量的比较

Figure 3 Effects of smashing ridge tillage on winter wheat grain yields

3 讨论

近年来,在小麦、玉米一年两熟区由于连年旋耕作业致使耕层变浅,犁底层上移变厚,土壤的通透性变差,生产力和可持续生产能力下降^[12]。土壤耕作是调节和改善土壤水、肥、气、热最有效的方式,通过改进耕作方式能够快速实现土壤物理、化学性质的改善,提高作物对养分的利用效率。粉垄耕作完全不同于犁翻耕、旋耕机旋耕等整地方式,既有犁翻耕的深松作用,同时具有旋耕后土壤疏松、土粒粉碎均匀的特点。粉垄耕作能够提高作物产量^[2,7],改善作物(水稻)的品质^[3,5],同时还能提高作物的水分利用效率^[13]。本研究表明,粉垄耕作能够显著增加小麦籽粒产量。这与在水稻土上的研究结果粉垄耕作能够增加小麦的穗粒数,最终提高小麦产量一致^[14]。从田间群体微环境的变化来看,粉垄耕作对小麦群体影响最大的是灌浆期,这一阶段对小麦产量具有重要的影响;粉垄耕作群体的冠层温度比对照低,地表温度比对照略高,可以反映出地上部群体的蒸腾作用、光合作用比旋耕耕作的群体要强;而 FL1(373.5 mg·L⁻¹)、FL2(373.5 mg·L⁻¹)处理的 CO₂ 浓度显著($P \leq 0.05$)低于 CK(431.7 mg·L⁻¹),则进一步证明光合作用强的现象,

单位时间内利用的 CO₂ 较多,造成群体内微环境中 CO₂ 浓度减小。由于有关群体微环境的研究报道较少,类似研究认为,深松或深松配合旋耕耕作方式在开花至成熟期小麦的旗叶水势、旗叶最大光化学效率(F_v/F_m)和实际光化学效率($\Phi PSII$)均高于条旋耕,表明深松有利于小麦旗叶在灌浆中后期保持较高的生理活性^[9];深松覆盖灌浆中后期小麦旗叶叶绿素和类胡萝卜素含量明显高于旋耕^[10]。这说明通过耕作措施的改变,不仅仅改变的是土壤环境,同时也通过作物群体改变地上部群体内环境,进而改善群体自身的功能,促进产量的提高。此外,2种粉垄处理间对群体微环境的影响上没有表现出一致的规律性,粉垄耕作作为一种新的耕作方法和耕作制度,在农业生产上还有很多需要改进和完善的地方,本研究是在秸秆不还田的前提下,粉垄耕作的作业效果较好;在小麦、玉米两熟制农区,秸秆还田时,粉垄作业的效果以及难度等均需要考虑和进一步的研究。

4 结论

粉垄耕作(FL1、FL2)对小麦灌浆期的群体冠层温度、群体内地表的温度以及群体内 CO₂ 浓度影响较大,其他时期影响不大。灌浆期 FL1(31.72 °C)、FL2(32.15 °C)的群体冠层温度比 CK(32.72 °C)略低,FL1(27.98 °C)、FL2(28.30 °C)处理的地表温度比 CK(27.97 °C)略高;FL1(373.5 mg·L⁻¹)、FL2(373.5 mg·L⁻¹)处理的 CO₂ 浓度均显著低于 CK(431.7 mg·L⁻¹)。同时,FL1、FL2 耕作群体内相对湿度在孕穗期、灌浆期分别为 58.1%、60.9%和 60.8%、56.6%,高于 CK(52.7%和 57.7%);群体内温度分别为 25.0、23.9 °C和 32.7、33.2 °C,低于 CK(27.0 °C和 33.8 °C)。

此外,拔节期粉垄处理的土壤耕层温度比 CK 低 1~2 °C,孕穗期比 CK 高 0~0.5 °C;粉垄处理的土壤耕层湿度则均低于 CK。FL1(8137.6 kg·hm⁻²)、FL2(8481.2 kg·hm⁻²)的小麦产量均显著高于 CK(6518.5 kg·hm⁻²),分别比对照增产 24.5%、30.1%。2种粉垄处理间对群体微环境的影响上没有表现出一致的规律性,粉垄耕作措施能够有效地改善小麦生育中后期田间微环境,提高抗逆能力,增加产量。

参考文献:

- [1] 韦本辉. 旱地作物粉垄栽培技术研究简报[J]. 中国农业科学, 2010, 43(20): 4330.
- WEI Ben-hui. Effects of smash ridging tillage on dry land crop yields[J].

- Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(20): 4330. (in Chinese)
- [2] 韦本辉, 甘秀芹, 陆柳英, 等. 水稻粉垄旱种苗期根系性状研究[J]. 广东农业科学, 2011(7): 28–29.
WEI Ben-hui, GAN Xiu-qin, LU Liu-ying, et al. Effects of smash ridging tillage on rice root during seeding stage[J]. *Journal of Guangdong Agriculture Sciences*, 2011(7): 28–29. (in Chinese)
- [3] 韦本辉, 刘 斌, 甘秀芹, 等. 粉垄栽培对水稻产量和品质的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(19): 3946–3954.
WEI Ben-hui, LIU Bin, GAN Xiu-qin, et al. Effect of Fenlong cultivation on yield and quality of rice[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(19): 3946–3954. (in Chinese)
- [4] 韦本辉, 甘秀芹, 陈耀福, 等. 稻田粉垄冬种马铃薯试验[J]. 中国马铃薯, 2011, 25(6): 342–344.
WEI Ben-hui, GAN Xiu-qin, CHEN Yao-fu, et al. Planting winter potato in rice field by using smash-ridging technique[J]. *Chinese Potato*, 2011, 25(6): 342–344. (in Chinese)
- [5] 韦本辉, 甘秀芹, 申章佑, 等. 粉垄栽培甘蔗试验增产效果[J]. 中国农业科学, 2011, 44(21): 4544–4550.
WEI Ben-hui, GAN Xiu-qin, SHEN Zhang-you, et al. Yield increase of smash ridging cultivation of sugarcane[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2011, 44(21): 4544–4550. (in Chinese)
- [6] 韦本辉, 甘秀芹, 陈保善, 等. 粉垄整地与传统整地方式种植玉米和花生效果比较[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(6): 3216–3219.
WEI Bei-hui, GAN Xiu-qin, CHEN Bao-shan, et al. Comparison of the cultivation of maize and peanuts by smash-ridging and trational preparation methods[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2011, 39(6): 3216–3219. (in Chinese)
- [7] 靳晓敏, 杜 军, 沈润泽, 等. 宁夏引黄灌区粉垄栽培对玉米生长和产量的印象[J]. 农业科学研究, 2013, 34(1): 50–53.
JIN Xiao-min, DU Jun, SHEN Run-ze, et al. The effects of smash-ridging cultivation technology on the growth and yield of corn in Yellow River irrigation district of Ningxia[J]. *Journal of Agriculture Sciences*, 2013, 34(1): 50–53. (in Chinese)
- [8] 甘秀芹, 韦本辉, 申章佑, 等. 桑树粉垄栽培的根系、植株及产量性状表现[J]. 浙江农业科学, 2011(3): 705–707.
GAN Xiu-qin, WEI Ben-hui, SHEN Zhang-you, et al. Effects of smash ridging tillage on mulberry trees root, stem and yield[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2011(3): 705–707. (in Chinese)
- [9] 褚鹏飞, 于振文, 王 东, 等. 耕作方式对小麦开花后旗叶水势与叶绿素荧光参数日变化和水分利用效率的影响[J]. 作物学报, 2012, 38(6): 1051–1061.
CHU Peng-fei, YU Zhen-wen, WANG Dong, et al. Effect of tillage mode on diurnal variations of water potential and chlorophyll fluorescence characteristics of flag leaf after anthesis and water use efficiency in wheat[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2012, 38(6): 1051–1061. (in Chinese)
- [10] 李友军, 吴金枝, 黄 明, 等. 不同耕作方式对小麦旗叶光合特性和水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(12): 44–48.
LI You-jun, WU Jin-zhi, HUANG Ming, et al. Effects of different tillage systems on photosynthesis characteristics of flag leaf and water use efficiency in winter wheat[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(12): 44–48. (in Chinese)
- [11] 吕军杰, 姚宇卿, 张 洁, 等. 不同耕作方式对坡耕旱地土壤环境及小麦产量的影响[J]. 河南农业科学, 2011, 40(1): 41–44.
LÜ Jun-jie, YAO Yu-qing, ZHANG Jie, et al. Effects of different tillage measures on soil environment and wheat yield in slopping dry land[J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2011, 40(1): 41–44. (in Chinese)
- [12] 石彦琴. 华北平原农田土壤耕层结构质量评价方法构建与实证研究[D]. 北京: 中国农业大学博士学位论文, 2011.
SHI Yan-qin. Quality evaluation on soil structure of the tilled layer in the North China plain: construction method and case studies[D]. Beijing: Dissertation of China Agriculture University, 2011. (in Chinese)
- [13] 李轶冰, 逢焕成, 杨 雪, 等. 粉垄耕作对黄淮海北部土壤水分及其利用效率的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(23): 7478–7486.
LI Yi-bing, PANG Huan-cheng, YANG Xue, et al. Effects of deep vertically rotary tillage on soil water and water use efficiency in northern China's Huang-Huai-Hai region[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(23): 7478–7486. (in Chinese)
- [14] Nie S W, Eneji A E, Huang S M, et al. Smashing-ridging tillage increase wheat yield and yield components in the Huai-he valley, China [J]. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2013, 11(2): 453–455.