

免耕直播下秸秆还田方式对夏玉米苗期生长的影响

王伟^{1,2} 吴晓芳¹ 王晴晴¹ 李兆东^{1,2} 张春岭^{1,2} 陈黎卿^{1,2}

(1. 安徽农业大学工学院, 合肥 230036; 2. 安徽省智能农机装备工程实验室, 合肥 230036)

摘要: 为了研究小麦秸秆还田后玉米免耕播种方式下种床秸秆处理对玉米苗期形态特征、群体整齐度的影响,于2018年6月在安徽宿州市皖北综合试验站进行了田间试验,共设置条带浅耕防堵(ST-X)、侧抛覆秸防堵(SMT-Y)、条带立式浅耕防堵(ST-Z)和条带深松破茬(SST)4种不同免耕播种方式,测定分析了种床土壤平整度 S_{MN} 、横向最大垂直高度差 Δh 、苗期形态特征(叶龄、株高、茎粗、单株根系长)以及苗期群体整齐度 Q 。结果表明,相较于条带深松对照组SST,ST-X、SMT-Y、ST-Z的土壤平整度平均值分别降低7.67、16.33、11.00 mm,种床土壤平整效果排序为:SMT-Y、ST-Z、ST-X、SST;在相同田间管理条件下,相较于SST,ST-X、SMT-Y、ST-Z的苗期群体整齐度分别提高4.34、11.10、10.18个百分点;随着种床土壤平整效果变差,玉米苗期株高稳定性变异系数呈现递增趋势,其群体整齐度从大到小顺序为:SMT-Y、ST-Z、ST-X、SST;侧抛覆秸防堵(SMT-Y)方式种床秸秆覆盖量大,玉米种子发芽后难以突破秸秆层,苗期的平均株高、茎粗、根系长度均最低。相关性分析结果表明, S_{MN} 、 Δh 与 Q 之间均呈线性显著负相关关系($P < 0.01$),决定系数分别为0.963和0.914。综上所述,种床土壤平整效果有助于提高玉米苗期群体整齐度;4种免耕播种方式中,条带立式浅耕防堵(ST-Z)的免耕播种方式,能够有效改善耕层土壤结构,提供清洁平整的种床,抑制种沟积水涝渍,且促进苗期生长,是淮北平原砂姜黑土区夏玉米免耕直播最适宜的种床秸秆处理方式。

关键词: 免耕播种方式; 夏玉米; 种床; 秸秆还田; 土壤平整度; 群体整齐度

中图分类号: S365

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2020)05-0315-09

OSID:



Effects of Different Seedbed Straw Treatments on Summer Maize Seedling Growth under No-tillage Direct Seeding

WANG Weiwei^{1,2} WU Xiaofang¹ WANG Qingqing¹ LI Zhaodong^{1,2} ZHANG Chunling^{1,2} CHEN Liqing^{1,2}

(1. School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

2. Anhui Province Engineering Laboratory of Intelligent Agricultural Machinery and Equipment, Hefei 230036, China)

Abstract: In order to address the effects of different seedbed treatment on the morphological characteristics and population uniformity of maize seedlings under no-tillage seeding manners, a field positioning experiment was conducted in June 2018 at the Wanbei Comprehensive Experimental Station in Suzhou, Anhui Province. Four different no-tillage seeding manners were investigated after wheat straw returning to field, including stripe rotary tillage (ST-X), straw mulching tillage (SMT-Y), stripe vertical tillage (ST-Z) and stripe subsoiling tillage (SST). The seedbed soil flatness, transverse maximum height difference, seedling morphological characteristics (leaf age, plant height, stem diameter and root length per plant) and population's uniformity were determined. Experiment results showed that the average soil flatness of ST-X, SMT-Y and ST-Z was decreased by 7.67 mm, 16.33 mm and 11.00 mm as compared with that of SST of strip subsoiling, respectively, however, only SMT-Y showed significant effect; the seedbed surface flatness from high to low was SMT-Y, ST-Z, ST-X and SST. In addition, the population's uniformity of maize seedling stage of ST-X, SMT-Y and ST-Z was significantly increased by 4.34, 1.10 and 10.18 percentage points, respectively. The better the surface flatness effect of the seedbed was, the better the population's uniformity, the worse the soil flatness

收稿日期: 2020-02-04 修回日期: 2020-03-07

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0301303)和安徽省自然科学基金项目(1808085QE170)

作者简介: 王伟(1989—),男,讲师,主要从事保护性耕作研究,E-mail: wangww0618@163.com

通信作者: 陈黎卿(1979—),男,教授,博士生导师,主要从事智能农机装备研究,E-mail: lqChen@ahau.edu.cn

effect, and the more serious the size of seedlings were. The population's uniformity from large to small was SMT-Y, ST-Z, ST-X and SST. Due to the large amount of straw covered by the side-slumped (SMT-Y) seedbed, it was difficult to break through the straw layer after germination of maize seeds. Thus the average plant height, the stem diameter and the root length of seedlings were the lowest. Correlation analysis showed that there was a linear and significant negative correlation between soil flatness (S_{MN}), horizontal maximum height difference (Δh) and population's uniformity of the seedling stage (Q), the correlation coefficients were 0.963 and 0.914, respectively. In summary, the surface flatness effect of the seedbed helped to improve the population's uniformity of maize seedling stage, the stripe vertical tillage anti-blocking manner was preferred among the four no-tillage seeding manners, which could effectively improve the soil structure of plough layer, provide a clean and flat seedbed, inhibit the waterlogging catastrophe of the gully to promote the growth of seedling, therefore this was the most suitable seedbed straw treatment for summer maize no-tillage seeding in Shajiang black soil region of Huaibei Plain.

Key words: no-tillage manner; summer maize; seedbed; straw returning; soil surface flatness; population uniformity

0 引言

黄淮海平原是中国夏玉米主要种植区。随着保护性耕作技术的大力推广,免耕机械直播成为夏玉米主要种植方式,具有省工省时、蓄水保墒、节本增效的优点^[1-3]。淮北平原地处黄淮海平原南部,夏季雨热同步,土壤质地黏重,易发生旱涝渍害。加之前茬小麦秸秆还田量大,播种机作业壅堵,造成后期苗质弱、群体整齐度差。适宜的种床秸秆处理方式能够保证播种的顺畅性,改善种床土壤平整效果,调节水温平衡,抑制种沟积水涝渍,且促进苗期生长^[4-6]。

在秸秆残茬覆盖影响免耕播种机作业质量方面,国内外学者们采用了不同形式的防堵技术与机具^[7-12],以解决播种顺畅性的问题。而不同防堵方式会产生不同的种床土壤环境,相关研究表明,种床土壤环境(土壤平整度、土壤膨松度及土壤墒情、秸秆覆盖量等)对播种质量起着重要作用^[13-14]。文献^[15-16]初步探究了油菜精量联合直播机作业后厢面平整效果与田间出苗均匀性的关系,发现厢面平整效果与油菜出苗质量呈正相关。赵宏波等^[17]研究了不同机械化秸秆还田方式对种床土壤物理性质和小麦生长的影响,发现秸秆还田方式可不同程度地提高种床土壤含水率和土壤大团聚体含量等。MITCHELL等^[18]研究发现,秸秆覆盖还田与免耕播种有助于提高土壤有机质含量,对作物出苗率、出苗时期有显著影响。张卫卫等^[19]综合土壤作业质量及作物生理特征指标分析,发现机械化作业环节的关键障碍因子影响由大到小为土壤平整度、土壤秸秆覆盖量、耕深、肥药用量,说明种床土壤平整效果对作物苗期群体形态特性影响很大。

免耕机械直播夏玉米时,不同结构形式的防堵

结构产生不同土壤-秸秆复合地貌的种床。现有研究多集中于防堵机构的设计及不同秸秆还田方式的效应,对免耕播种方式下种床土壤环境与玉米苗期形态特征的影响研究较少。本文选取淮北平原砂姜黑土区夏玉米为研究对象,对免耕播种方式下不同防堵装置处理秸秆产生种床地貌与苗期群体生长情况进行研究,以期对砂姜黑土易涝渍区夏玉米免耕直播优选适宜的种床秸秆处理方式提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在安徽省宿州市埇桥区灰古镇安徽农业大学皖北综合试验站(116°97'E、33°63'N)实施,土壤类型为砂姜黑土,前茬处理为小麦秸秆全量覆盖还田,麦收后留茬高度为30~40 cm,秸秆覆盖量为0.82~1.24 kg/m²。实地测量3~10 cm下土壤硬度为8.8~22.5 kg/cm²、土壤含水率为13.6%~35.5%。其中近5年6—10月平均气温为31.4、32.68、31.8、26.6、21.8℃,平均降雨量为111、240.9、120.6、80.9、51.2 mm。

1.2 试验设计

供试品种选用安农591,供试机型选用安装不同防堵方式的玉米免耕播种机,其中播种单体均为勺轮式结构。试验共设置4个处理,分别为条带浅耕防堵(ST-X)、侧抛覆秸防堵(SMT-Y)、条带立式浅耕防堵(ST-Z)和条带深松破茬(SST),各防堵装置结构形式如图1所示,播后种床秸秆处理效果如图2所示。其中条带浅耕防堵(ST-X)利用绕X轴方向动力驱动旋耕刀切断、粉碎种行的秸秆、疏松种床土壤,4行免耕播种机种肥开沟器正前方各安装一套;侧抛覆秸防堵(SMT-Y)利用绕Y轴方向动力驱动拨指将麦秸和残茬抛向播种机两侧,形成

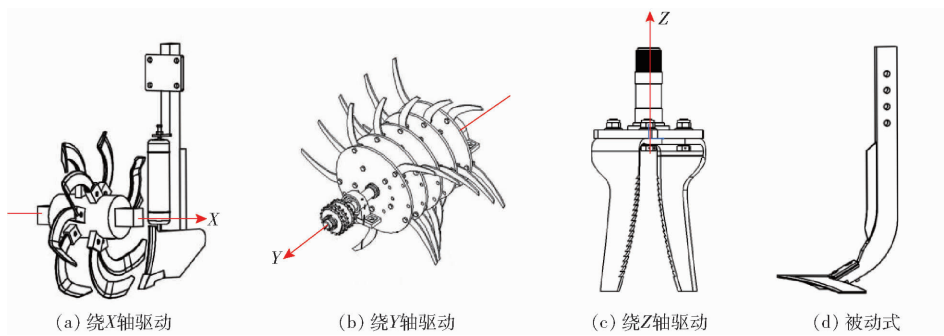


图 1 不同结构形式防堵装置

Fig. 1 Different structure forms of anti-blocking device



图 2 免耕播种机作业后不同种床秸秆处理情况

Fig. 2 Different treatments of soil-straw-seedbed after operation of no-tillage planter

秸秆覆盖的种床环境,免耕播种机全幅宽进行秸秆侧抛覆盖;条带立式浅耕防堵(ST-Z)利用绕Z轴方向动力驱动立式旋耕刀浅耕、旋切破茬,以期实现只切土、不抛土的目的,安装于施肥开沟器正前方;条带深松破茬(SST)利用被动式双圆盘开沟器进行破茬深松打破犁底层改善土壤结构。试验于2018年6月18日播种,10月15日收获,试验前对4款不同防堵形式的玉米免耕播种机施肥量、排种株距(25 mm)、行距(600 mm)调定一致,每个处理播种面积为 $1.0 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。各处理播期、基肥配比量、浇水、田间管理等措施均一致。

1.3 测定内容及方法

1.3.1 种床土壤平整效果

土壤平整度和横向最大垂直高度差是评价种床土壤平整效果的重要指标。利用前期自制的耕作土壤沟形测量系统对种床土壤横向高低落差进行扫描测量^[20]。参照GB/T 5668—2008规定的试验方法,每个处理下选取3个区域的种床土壤微地貌进行扫描。计算其种床土壤垂直高度标准差 S_{MN} 和横向最大垂直高度差 Δh ,以 m 个行程的标准差平均值表示该区域的土壤平整度,其计算式为

$$\begin{cases} S_{MN} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (h_{i,j} - \bar{h})^2}{mn - 1}} \\ \Delta h = \bar{h}_{jmax} - \bar{h}_{jmin} \end{cases} \quad (1)$$

式中 $h_{i,j}$ ——任意扫描点到基准面垂直距离,mm

$\bar{h}$ ——扫描点到基准面的平均垂直高度,mm

$\bar{h}_{jmax}$ ——横向最大垂直高度,mm

$\bar{h}_{jmin}$ ——横向最小垂直高度,mm

m ——被测区域纵向扫描点数

n ——被测区域横向扫描点数

1.3.2 不同叶龄期形态参数

由于种床积水淹涝对苗期玉米生育进程的影响很大,各处理叶龄期的玉米形态特征差异随生育进程的推进逐渐减少^[21]。玉米苗期阶段包括播种—三叶期、三叶期—拔节2个进程,本文播种后间隔7 d测定1次苗期特征参数,分别于2018年6月28日、7月5日、7月12日进行观察取样,每个处理在不同叶龄期采集20株玉米植株,挖出后清除土块,并带回实验室用水清洗。用直尺和游标卡尺进行特征参数测量,主要包括叶龄、株高、茎粗和根系长度。

1.3.3 苗期群体整齐度

根据每个处理随机选定20株测量玉米植株高度并记录,则苗期群体整齐度 Q 计算式为

$$Q = \left(1 - \frac{S_d}{\bar{d}}\right) \times 100\% \quad (2)$$

其中
$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n - 1}}$$

式中 d_i ——苗期玉米株高,mm

$\bar{d}$ ——玉米株高平均值,mm

S_d ——玉米株高标准差,mm

1.4 数据分析

利用Excel 2010进行试验数据预处理,SPSS 22.0软件进行显著性和相关性分析,OriginPro 8.5

软件绘图。

2 结果与分析

2.1 种床土壤平整效果

种床土壤平整效果直接或间接影响玉米播深稳定性变异系数及后期群体生长发育^[22-23]。土壤平整度和横向最大垂直高度差越小,表明种床土壤波动起伏越小,即平整效果越佳,可为玉米发芽以及生长提供良好的种床环境;反之,土壤平整度和横向最大垂直高度差越大,种床土壤平整效果越差,在一定程度上不利于播种质量,降雨量一致的情况下,横向高低起伏越大的区域越易积水,影响土壤中含氧量,容易造成根系发育不良。

由图3可以看出(图中某一测量区域4种秸秆处

理方式的不同小写字母表示差异显著,下同),4种免耕直播防堵方式对种床土壤平整效果存在显著差异。其中每个处理下的3个区域(Q1、Q2、Q3)种床土壤平整度与横向最大高度差变化趋势基本上一致,从大到小依次为SST、ST-X、ST-Z、SMT-Y,依照种床土壤平整效果由好到坏依次为SMT-Y、ST-Z、ST-X、SST。与被动式种床处理的SST相比,ST-X、SMT-Y、ST-Z的种床土壤平整度平均值分别降低7.67、16.33、11.00 mm;在3个驱动式种床秸秆处理中,SMT-Y、ST-Z在3个测量区域相对于ST-X种床土壤平整度和横向最大高度差均显著降低,其中SMT-Y处理的土壤平整效果最好,较ST-X土壤平整度和横向最大高度差平均值分别降低8.66、57.67 mm,较ST-Z分别降低5.33、21.34 mm。

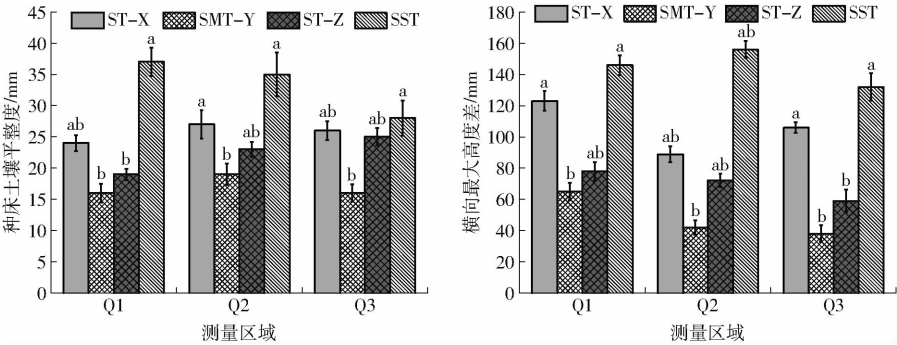


图3 不同秸秆处理方式下种床土壤平整效果
Fig.3 Surface flatness effect of seedbed under different straw treatment methods

2.2 秸秆还田方式对苗期形态特征的影响

播种后3个时间点进行取样测量,每个时间点测量的20个幼苗样本叶片数的平均值计为各处理

的叶龄期。图4为各处理不同叶龄期苗期形态特征测量对比结果。条带式浅耕播种(ST-Z)在6月28日叶龄期有显著的生长优势;7月12日的4个处

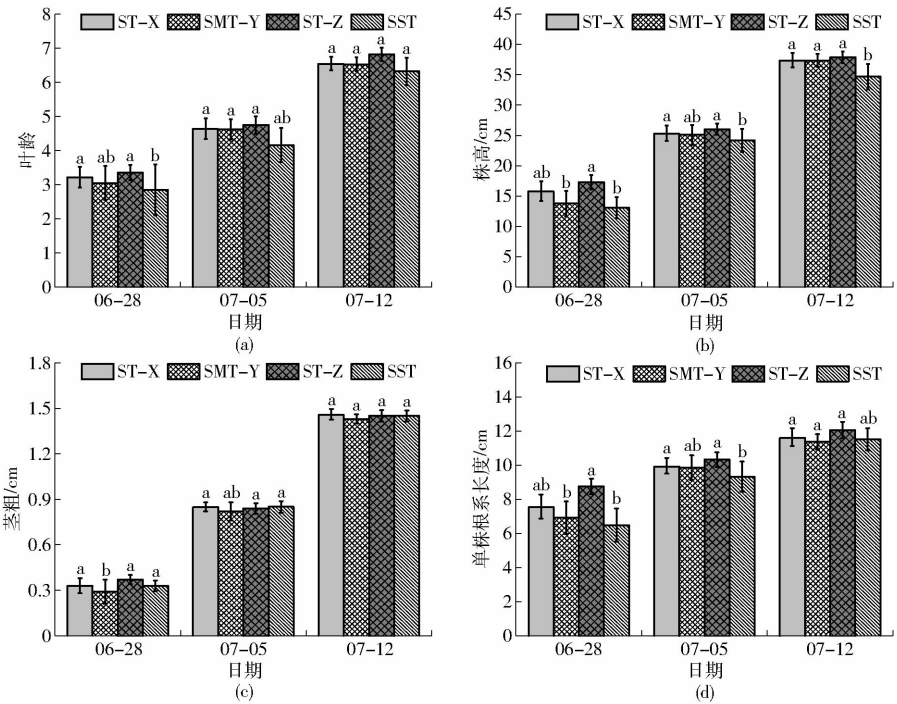


图4 不同种床秸秆还田方式苗期形态测量统计结果

Fig.4 Statistical results of morphological measurement under different treatments of straw in seedbed

理间苗期的叶龄、茎粗、单株根系长度显著性差异降低；在此之前呈现出种床土壤平整效果越差，苗期形态特征指标越差。

由图4可以看出,4个处理间株高、单株根系长度显著性差异顺序一致,由大到小依次为ST-Z、ST-X、SMT-Y、SST。其中条带深松破茬(SST)在3叶期到7叶期的株高、茎粗及单株根系长度显著小于其他3个驱动式防堵种床秸秆处理。叶龄为3叶期时,ST-Z处理的株高最大,其次是ST-X与SMT-Y处理,分别比SST处理高27.8%、17.0%、1.8%。7叶期左右时,ST-X、SMT-Y、ST-Z处理间的株高差异不显著;4个处理之间茎粗差异不显著;单株根系长度SST分别比ST-Z、ST-X、SMT-Y处理低35.0%、16.8%、6.7%。由图4b、4d可知,3种驱动式防堵处理中,叶龄从3叶期至5叶期过

程中,ST-Z相对于ST-X的株高相对增幅由8.4%降至2.5%、单株根系长度相对增幅由13.4%降至3.4%;相对于SMT-Y的株高相对增幅由20.3%降至3.6%,单株根系长度相对增幅由20.9%降至4.5%。分析表明,免耕直播下种床秸秆还田方式对玉米苗期形态特征有显著性差异,随着苗期生育进程的推进各处理间苗期的叶龄、茎粗、单株根系长度显著性差异逐渐降低,且驱动式防堵种床秸秆处理(ST-X、SMT-Y、ST-Z)苗期株高特征显著优于条带深松处理(SST)。

2.3 秸秆还田方式对苗期群体整齐度的影响

苗期群体整齐度与夏玉米后期产量有极显著相关性^[24-25]。图5为7月5日叶龄期各处理田间玉米苗情长势与种床土壤平整效果拟合曲面,其中侧抛覆盖(SMT-Y)处理的种床土壤平整度和

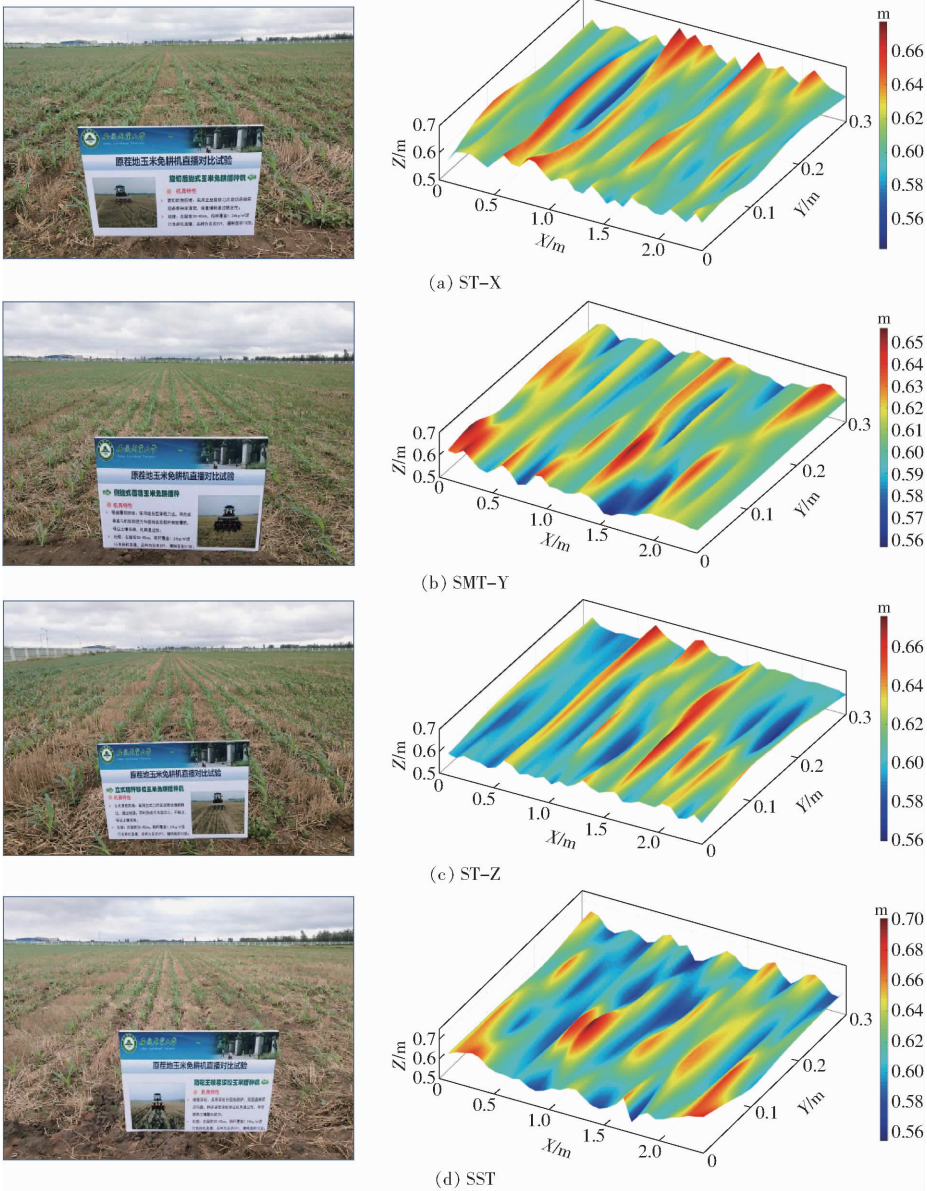


图5 玉米苗期长势与种床土壤平整度效果对比

Fig.5 Comparison of maize seedling growth and fitting surface of planting-strip flatness effect

横向最大高度差分别为 1.47、7.82 cm,4 个处理中种床土壤平整效果最佳;而 SST 处理的种床土壤平整度和横向最大高度差分别为 3.52、14.3 cm,其土壤横向高低起伏落差大,种床平整效果较差。由图 5 可知,采用免耕驱动式防堵 ST-X、SMT-Y、ST-Z 处理的苗情长势明显优于 SST 处理,且该处理种床土壤平整效果最差。4 个处理下各区域的平均株高及群体整齐度如表 1 所示,取 Q1、Q2、Q3 区域测量的平均值作为各处理下的苗期形

态特征值,SST 处理苗期形态特征指标最差,田间苗期群体整齐度由大到小依次为 SMT-Y、ST-Z、ST-X、SST。其中 ST-X、SMT-Y、ST-Z、SST 的苗期平均群体整齐度分别为 87.28%、94.04%、93.12%、82.94%,3 种免耕驱动式防堵处理相较于 SST 分别提高 4.34、11.10、10.18 个百分点。其中 SMT-Y 在驱动式防堵处理下的苗期群体整齐度最高,与 ST-X 处理之间存在显著性差异,其次是 ST-Z 处理。

表 1 玉米苗期群体整齐度统计结果
Tab.1 Statistical results of population uniformity of maize seedling

参数	ST-X			SMT-Y			ST-Z			SST		
	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3	Q1	Q2	Q3
平均株高 $\bar{d}/\text{cm}$	17.26	16.50	16.73	13.75	14.38	14.65	17.26	16.50	16.73	12.50	13.14	12.86
株高标准差 S_d/cm	1.71	1.98	1.75	0.76	0.93	0.86	1.14	1.24	1.08	3.56	2.29	1.07
群体整齐度 $Q/\%$	88.20	86.46	87.19	94.47	93.53	94.12	93.38	92.43	93.56	81.47	82.56	84.78

2.4 种床土壤平整效果与苗期群体整齐度的相关性

为了进一步分析种床土壤平整效果与玉米苗期群体整齐度之间的关系,利用 OriginPro 8.5 对其关系进行函数拟合,结果如图 6 所示。在相同田间管理条件下,随着种床土壤平整效果变差,玉米苗期株高稳定性变异系数呈现递增趋势,具有良好的线性相关关系,其中群体整齐度(Q)与种床土壤平整度(S_{MN})、横向最大垂直高度差(Δh)的线性拟合模型函数决定系数均在 0.9 以上,各处理位于同一田块且气温和降雨量一致, S_{MN} 、 Δh 与 Q 之间均呈极显著负相关,播种幅宽内种床土壤平整度和横向最大垂直高度差越大,其种沟土壤地貌波动起伏差异越明显,导致同一区域的土壤水分稳定性、温湿差异大,出现大小苗现象。反之种床土壤平整度和横向最大垂直高度差越小,其种沟土壤起伏差异越小,即种沟平整效果好,播深稳定性变异系数小,因此土壤水分稳定性、温湿差异不明显,出苗的整齐度随之提高。

3 讨论

种床土壤平整效果是影响种-肥播深稳定性及夏玉米苗期生长发育的一个重要因素。本文研究结果表明,机械化免耕直播方式下 4 种防堵装置处理对种床土壤平整效果依次为侧抛覆秸防堵(SMT-Y)、条带立式浅耕防堵(ST-Z)、条带浅耕防堵(ST-X)、条带深松破茬防堵(SST)。其中条带深松处理的土壤平整度和横向最大垂直高度差明显高于绕 X、Y、Z 轴浅旋的 3 种驱动式防堵处理。由于各处理位于同一田块且气温和降雨量一致,土壤平

整度与横向最大垂直高度差越大,其种床土壤坑洼不平、种沟土壤起伏差异越明显,导致洼地积水涝渍、同一区域温湿差异大的现象,进而影响夏玉米苗期生长发育。苗期研究结果表明,夏玉米免耕机直播下种床土壤平整效果越佳,苗期群体整齐度越高,这与张青松等^[26]的厢面平整效果有助于提高播种出苗质量结论一致。其原因可能是秸秆覆盖量、土壤平整效果影响种床区域性水分入渗、蒸发差异性大^[27]。其中苗期群体整齐度由大到小依次为 SMT-Y、ST-Z、ST-X、SST,良好的种床土壤平整效果可

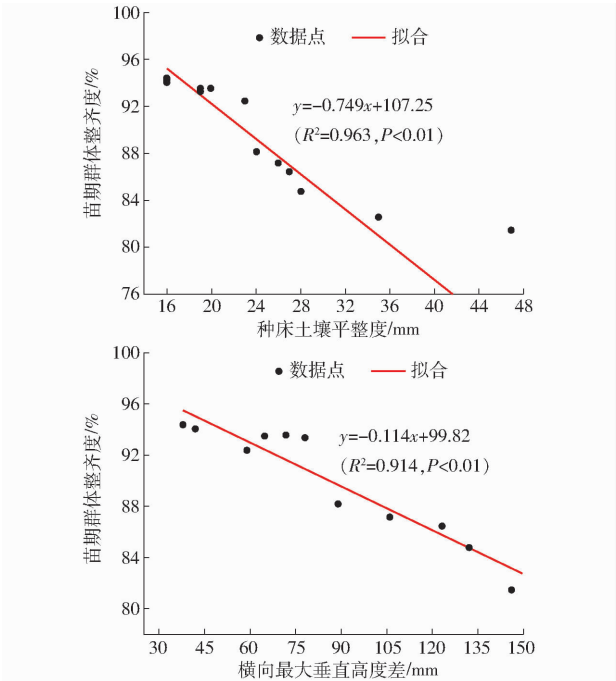


图 6 种床土壤平整效果与苗期群体整体度的相关性
Fig.6 Correlation between surface flatness effect of seedbed and population uniformity of seedling stage

以提高播种机作业播种深度稳定性,种带土壤平整度和横向最大垂直高度差与苗期群体整齐度呈极显著负相关关系($P < 0.01, R^2 > 0.9$),此结果与张祥彩等^[28]、解文艳等^[29]研究结果一致。叶龄在3叶期时,各处理间株高、茎粗、单株根系长度由大到小依次为ST-Z、ST-X、SMT-Y、SST,因为驱动拨指绕Y轴方向将种床前方全幅宽秸秆进行侧抛覆盖,而绕X、Z轴方向驱动立式、卧式旋切刀对种带秸秆清洁后镇压覆秸,较ST-X、ST-Z处理,SMT-Y处理下种床秸秆覆盖量太大,玉米种子发芽后突破秸秆层需要一定的时间,这与文献[30-31]研究结果相吻合。此外采用立式浅耕防堵(ST-Z)较其他3种处理在一定程度上提高了种带土壤平整效果,增强了夏玉米苗期的整齐度、茎粗及根系长度等。4种免耕防堵种床处理方式中,侧抛覆秸防堵(SMT-Y)处理下种床土壤平整效果最明显,且苗期群体整齐度最佳,但是苗期的平均株高、茎粗和根系长度最低,因此建议优先选用条带防堵机构将种带内的秸秆清除,并疏松、平整种床土壤,减少种床秸秆覆盖含量,以达到较优的种床环境。

根据上述研究,夏玉米免耕直播下不同秸秆还田处理方式种床土壤平整效果对玉米苗期生长特性具有显著影响,有利于优选适宜的防堵机构,保证种床土壤环境。后续研究中应进一步开展在降雨、日照等外界因素条件下不同种床土壤

平整效果对土壤温度、土壤水分、土壤养分等差异性分析,进而分析免耕直播方式对种床土壤环境影响机制。

4 结论

(1)夏玉米免耕机直播后 S_{MN} 、 Δh 与 Q 之间均呈线性显著负相关关系($P < 0.01$),决定系数分别为0.963和0.914。即随着种床土壤平整效果变差,玉米苗期株高稳定性变异系数呈现递增趋势,其群体整齐度从大到小依次为SMT-Y、ST-Z、ST-X、SST。侧抛覆秸防堵(SMT-Y)处理苗期群体整齐度最高,但是苗期的平均株高、茎粗和根系长度均最低。

(2)夏玉米叶龄从3叶期至7叶期,免耕直播处理的株高、茎粗、单株根系长度显著高于条带深松处理。3个驱动式防堵免耕播种处理中,ST-Z在3叶期到5叶期的株高和单株根系长度显著大于ST-X、SMT-Y,随着生育进程的推进,各处理叶龄期的玉米形态特征差异显著性降低。

(3)苗期群体整齐度、苗壮(株高、茎粗、单株根系长度等)特征分析表明,条带立式浅耕防堵(ST-Z)的免耕播种方式较优,能够有效改善土壤平整效果,提供清洁种带,有利于提高播深稳定性及抑制种沟积水,是砂姜黑土易涝渍区夏玉米免耕直播适宜的种床秸秆处理方式。

参 考 文 献

- [1] 何进,李洪文,陈海涛,等. 保护性耕作技术与机具研究进展[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(4):1-19. HE Jin, LI Hongwen, CHEN Haitao, et al. Research progress of conservation tillage technology and machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(4):1-19. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180401&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.04.001. (in Chinese)
- [2] HE Jin, LI Hongwen, RASILEY R G, et al. Soil properties and crop yields after 11 years of no tillage farming in wheat-maize cropping system in North China Plain[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 113(1):48-54.
- [3] 朱强根,朱安宁,张家宝,等. 黄淮海平原保护性耕作下玉米季土壤动物多样性[J]. 应用生态学报,2009,20(10):2417-2423. ZHU Qianggen, ZHU Anning, ZHANG Jiabao, et al. Diversity of soil fauna in corn fields in Huang-Huai-Hai Plain of China under effects of conservation tillage[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(10):2417-2423. (in Chinese)
- [4] 李德成,张甘霖,龚子同. 我国砂姜黑土种的系统分类归属研究[J]. 土壤,2011,43(3):623-629. LI Decheng, ZHANG Ganlin, GONG Zitong. On taxonomy of Shajiang black soils in China[J]. Soils, 2011, 43(3):623-629. (in Chinese)
- [5] 魏翠兰,高伟达,李录久,等. 不同初始条件对砂姜黑土收缩特征的影响[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(10):229-236. WEI Cuilan, GAO Weida, LI Lujia, et al. Effects of initial conditions on soil shrinkage characteristic of Shajiang black soil[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(10):229-236. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171028&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.10.028. (in Chinese)
- [6] 郭静,周可金,刘芳,等. 小麦秸秆还田量和还田方式对砂姜黑土地玉米生长发育的影响[J]. 浙江农业学报,2017,29(4):521-527. GUO Jing, ZHOU Kejin, LIU Fang, et al. Effects of returning amount and manner of wheat straw on maize growth in concretion black soil field[J]. Acta Agricultural Zhejiangensis, 2017, 29(4):521-527. (in Chinese)
- [7] 廖庆喜,高焕文,舒彩霞. 免耕播种机防堵技术研究现状与发展趋势[J]. 农业工程学报,2004,20(1):108-112. LIAO Qingxi, GAO Huanwen, SHU Caixia. Present situations and prospects of anti-blocking technology of no-tillage planter[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(1):108-112. (in Chinese)
- [8] 陈海涛,侯磊,侯守印,等. 大垄玉米原茬地免耕播种机防堵装置设计与优化试验[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(8):64-73.

- CHEN Haitao, HOU Lei, HOU Shouyin, et al. Design and optimization experiment of anti-blocking mechanism of no-tillage planter for grand ridge with raw corn stubble[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 59–67. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180807&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.08.007. (in Chinese)
- [9] 赵宏波, 何进, 李洪文, 等. 条带式旋切后抛防堵装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(5): 65–75. ZHAO Hongbo, HE Jin, LI Hongwen, et al. Design and experiment of strip rotary-cut-throw anti-blocking implement[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(5): 65–75. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180508&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.008. (in Chinese)
- [10] 高娜娜, 张东兴, 杨丽, 等. 驱动分禾杆与被动分禾栅板组合式防堵机构设计[J/OL]. 农业机械学报, 2014, 45(6): 85–91. GAO Na'na, ZHANG Dongxing, YANG Li, et al. Design of anti-blocking mechanism combined driven divider with passive residue separating device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(6): 85–91. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20140614&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2014.06.014. (in Chinese)
- [11] 刘俊孝, 王浩, 王庆杰, 等. 玉米少免耕播种机种带灭茬清理装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊): 132–140. LIU Junxiao, WANG Hao, WANG Qingjie, et al. Design and experiment of strip cleaning device of no and minimum-tillage corn planter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.): 132–140. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180518&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.018. (in Chinese)
- [12] 王韦韦, 朱存玺, 陈黎卿, 等. 玉米免耕播种机主动式秸秆移位防堵装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(24): 10–17. WANG Weiwei, ZHU Cunxi, CHEN Liqing, et al. Design and experiment of active straw-removing anti-blocking device for maize no-tillage planter[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(24): 10–17. (in Chinese)
- [13] 沈学善, 李金才, 屈会娟, 等. 砂姜黑土区秸秆还田对玉米生育及水分利用效率的影响[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(2): 28–33. SHEN Xueshan, LI Jincai, QU Huijuan, et al. Effects of straw returned to the field on growth and water use efficiency of maize in lime concretion black soil region[J]. Journal of China Agricultural University, 2011, 16(2): 28–33. (in Chinese)
- [14] 刘继龙, 任高奇, 付强, 等. 秸秆还田下土壤水分时间稳定性与玉米穗质量的相关性[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(5): 320–326. LIU Jilong, REN Gaoqi, FU Qiang, et al. Relationship between temporal stability of soil water and corn ear weight under straw returning[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(5): 320–326. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190536&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.05.036. (in Chinese)
- [15] 李兆东. 油菜气压式精量集排器排种技术及其工作机理解析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016. LI Zhaodong. Study on seeding technology working mechanism of pneumatic-typed precision centralized metering device for rapeseed[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016. (in Chinese)
- [16] 刘立超, 张青松, 廖庆喜, 等. 油菜机械直播作业厢面土壤粗糙度测量与分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(12): 38–47. LIU Lichao, ZHANG Qingsong, LIAO Qingxi, et al. Measurement and analysis of surface roughness of rapeseed mechanized direct seeding operation[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(12): 38–47. (in Chinese)
- [17] 赵宏波, 何进, 李洪文, 等. 秸秆还田方式对种床土壤物理性质和小麦生长的影响[J/OL]. 农业机械学报, 2018, 49(增刊): 60–67. ZHAO Hongbo, HE Jin, LI Hongwen, et al. Effect of straw returning manners on seedbed soil physical properties and winter wheat growth[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.): 60–67. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180509&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.05.009. (in Chinese)
- [18] MITCHELL J P, SHRESTHA A, MATHESIUS K, et al. Cover cropping and no-tillage improve soil health in an arid irrigated cropping system in California's San Joaquin Valley, USA[J]. Soil and Tillage Research, 2017, 1659(1): 325–335.
- [19] 张卫卫, 刘正平, 郝向泽, 等. 稻田全程机械化作业环节的关键障碍因子研究[J]. 中国农机化学报, 2018, 39(5): 116–118. ZHANG Weiwei, LIU Zhengping, HAO Xiangze, et al. Study on the key obstacle factors of mechanized operation in rice fields[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2018, 39(5): 116–118. (in Chinese)
- [20] 王韦韦, 李俊, 王晴晴, 等. 耕作土壤沟形测量系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2019, 50(7): 93–99. WANG Weiwei, LI Jun, WANG Qingqing, et al. Design and experiment for tillage soil groove measurement system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(7): 93–99. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20190709&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.07.009. (in Chinese)
- [21] 刘祖贵, 刘战东, 肖俊夫, 等. 苗期与拔节期淹涝抑制夏玉米生长发育、降低产量[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 44–52. LIU Zugui, LIU Zhandong, XIAO Junfu, et al. Waterlogging at seedling and jointing stages inhibits growth and development, reduces yield in summer maize[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(5): 44–52. (in Chinese)
- [22] TOLON-BECERRA A, TOURN M, BOTTA G F, et al. Effects of different tillage regimes on soil compaction, maize (*Zea mays* L.) seedling emergence and yields in the eastern Argentinean pampas region[J]. Soil and Tillage Research, 2011, 117: 184–190.
- [23] HE Jin, ZHANG Zhiqiang, LI Hongwen, et al. Development of small/medium size no-till and minimum-till seeders in Asia: a review[J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2014, 7(4): 1–12.
- [24] 范继征, 闫飞燕, 石达金, 等. 不同耕作方式对玉米田土壤物理性质及产量的影响[J]. 玉米科学, 2016, 24(1): 96–101.

FAN Jizheng, YAN Feiyan, SHI Dajin, et al. Effect of different management on soil physical properties and maize yield[J]. Journal of Maize Sciences, 2016,24(1):96 – 101. (in Chinese)

[25] 谷思玉,朱玉伟,郭兴军,等. 不同耕作方式下黑土物理性状及其玉米苗期生长的影响[J]. 华北农学报,2018, 33(4): 226 – 231.

GU Siyu, ZHU Yuwei, GUO Xingjun, et al. Effect of different tillage ways on seeding growth of maize and soil physical propertise in mollisol region[J]. Acta Agricultural Boreali-Sinica,2018, 33(4):226 – 231. (in Chinese)

[26] 张青松,肖文立,廖庆喜,等. 油菜直播机深松浅旋组合式种床整备装置的设计与试验[J]. 华中农业大学学报,2016, 35(4):121 – 125.

ZHANG Qingsong, XIAO Wenli, LIAO Qingxi, et al. Design and test of deep loose and shallow rotation combination seedbed equipment for rape direct seeder[J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2016,35(4):121 – 125. (in Chinese)

[27] 张西平,程伍群,绳莉丽,等. 耕作及种植方式对土壤入渗参数和畦灌水流运动的影响[J]. 农业工程学报,2019, 35(12):89 – 97.

ZHANG Xiping, CHENG Wuqun, SHENG Lili, et al. Effects of tillage and planting patterns on soil infiltration parameters and water flow of border irrigation[J]. Transactions of the CSAE, 2019, 35(12): 89 – 97. (in Chinese)

[28] 张祥彩,李洪文,何进,等. 耕作方式对华北一年两熟区土壤及作物特性的影响[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(增刊 1):77 – 82.

ZHANG Xiangcai, LI Hongwen, HE Jin, et al. Effects of different tillage managements on characteristics of soil and crop inannual double cropping areas in Northern China[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(Supp.1): 77 – 82. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s115&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S1.015. (in Chinese)

[29] 解文艳,樊贵盛,周怀平,等. 秸秆还田方式对旱地玉米产量和水分利用效率的影响[J]. 农业机械学报,2011,42(11): 60 – 67.

XIE Wenyan, FAN Guisheng, ZHOU Huaiping, et al. Effect of straw-incorporation on corn yield and water use efficiency in arid farming areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(11):60 – 67. (in Chinese)

[30] 汪可欣,付强,张中昊,等. 秸秆覆盖与表土耕作对东北黑土根区土壤环境的影响[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(3): 131 – 137.

WANG Kexin, FU Qiang, ZHANG Zhonghao, et al. Effects of straw mulching mode and tillage methods on soil environment of root zone in northeast black soil[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(3):131 – 137. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20160319&journal_id=jcsam. DOI: 10.6041/j.issn.1000-1298.2016.03.019. (in Chinese)

[31] BOOMSMA C R, SANTINI J B, WEST T D, et al. Maize grain yield responses to plant height variability resulting from crop rotation and tillage system in a long-term experiment[J]. Soil and Tillage Research, 2010, 106(2): 227 – 240.

~~~~~

(上接第 241 页)

[35] 李卫民,李同昇,武鹏. 基于引力模型与加权 Voronoi 图的农村居民点布局优化:以西安市相桥街道为例[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 9(1): 77 – 82.

LI Weimin, LI Tongsheng, WU Peng. Layout optimization of rural settlements based on gravity model and weighted Voronoi diagram: a case of Xiangqiao subdistrict[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(1): 77 – 82. (in Chinese)

[36] 王阳,王占岐,陈媛. 基于 Topsis 和矩阵法的山区农村居民点整治时分分区研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 324 – 330,334.

WANG Yang, WANG Zhanqi, CHEN Yuan. Zoning and time series of mountain rural residential land consolidation based on Topsis and prioritization matrix method[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(6):324 – 330, 334. (in Chinese)

[37] 张颖,徐辉. 基于 MCR 模型的农村居民点布局适宜性分区及优化模式研究:以南京市六合区金牛湖街道为例[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(11): 1485 – 1492.

ZHANG Ying, XU Hui. Research on suitability subareas of rural residential distribution based on MCR model and optimization model: a case study of Jinniuhu Street in Nanjing, Luhe District[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2014, 23(11):1485 – 1492. (in Chinese)

[38] 徐心茹,金晓斌,张志宏,等. 基于县域尺度的中国住宅用地市场健康度研究[J]. 地理研究, 2017, 36(1): 85 – 96.

XU Xinru, JIN Xiaobin, ZHANG Zhihong, et al. Evaluation of health status in national housing market at the county level [J]. Geographical Research, 2017, 36(1): 85 – 96. (in Chinese)

[39] 项晓敏,金晓斌,杜心栋,等. 基于 Ward 系统聚类的中国农用地整治实施状况分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 257 – 265.

XIANG Xiaomin, JIN Xiaobin, DU Xindong, et al. Analysis of farmland consolidation implementation status in China based on Ward hierarchical clustering[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(6): 257 – 265. (in Chinese)

[40] 杨志恒. 基于 Ward 法的区域空间聚类分析[J]. 中国人口资源与环境, 2010, 20(3): 382 – 386.

YANG Zhiheng. Region spatial cluster algorithm based on Ward method[J]. China Population, Resources and Environment, 2010, 20(3): 382 – 386. (in Chinese)