



高盼,刘玉涛,徐莹莹,等. 秸秆覆盖与翻埋两种还田模式对农田土壤物理性质及玉米产量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2021(11):13-17.

秸秆覆盖与翻埋两种还田模式对农田土壤物理性质及玉米产量的影响

高盼,刘玉涛,徐莹莹,杨慧莹,王晨,王宇先,徐婷

(黑龙江农业科学院齐齐哈尔分院,黑龙江齐齐哈尔161006)

摘要:为了探索半干旱区玉米秸秆覆盖与翻埋两种还田模式对土壤物理性质及玉米产量的影响,本试验设置常规栽培(CK)和秸秆覆盖还田、秸秆翻埋还田2种还田方式,在玉米成熟期进行土壤容重、土壤孔隙度、土壤三相比R值及玉米产量的测定。结果表明:与CK相比,成熟期覆盖还田和翻埋还田各土层的平均土壤容重分别下降4.35%和5.80%、土壤孔隙度分别提高了5.13%和6.03%、土壤含水量较CK均降低了14.81%、水分利用率分别提高了16.35%和16.20%、土壤温度分别降低了7.69%和22.31%。秸秆还田在20~40 cm土层显著降低了土壤三相比R值,覆盖还田和翻埋还田处理的土壤三相比R值分别较CK降低了56.50%和63.43%。翻埋还田和覆盖还田的百粒重分别较CK增加了15.42%和1.25%,产量分别较对照增加17.20%和15.02%。说明秸秆覆盖还田处理和翻埋还田处理均能改善土壤物理性质、提高水分利用效率和玉米产量。

关键词:玉米;秸秆还田;秸秆覆盖;秸秆翻埋;土壤物理性质;水分利用效率;产量

齐齐哈尔西部半干旱区具有丰富的秸秆资源,每年可产生各种秸秆达1亿t以上^[1-2],作物秸秆含有相当数量的C、N、P、K等营养元素,又具有改善土壤的理化性状、提高土壤肥力、增加作物产量等作用^[3]。随着机械化水平的提高,秸秆还田作为农业生产中广泛采用的土壤培育措施已被认可,其中玉米生产中的秸秆还田已经在各地进行了大量的试验和推广,甘肃农业大学平凉试验站长期玉米秸秆还田定位试验研究表明,秸秆还田随着年限的延长对土壤容重、土壤孔隙度、土壤pH有很好的改良效果^[4-5]。也有研究证实,秸秆还田较常规整作可增加土壤含水量、显著降低土壤温度^[6],但在实际生产中,由于各地自然条件的差异,秸秆类型的不同,还田量大小的差异,都会对土壤理化性状产生较大的影响,基于此,本试验结合齐齐哈尔半干旱区气候条件和玉米实际生产条件,为探索提高玉米秸秆资源利用效率和耕地质量的技术措施,开展了玉米秸秆还田效果试

验,研究玉米不同秸秆还田方式对土壤物理性质和产量的影响,解析不同秸秆还田方式下对土壤容重、孔隙度和水分利用率的影响,筛选出适合半干旱地区玉米保墒、增产的种植方式,为西部半干旱区玉米高产高效栽培技术及玉米秸秆还田应用提供实践参考。

1 材料与amp;方法

1.1 试验区概况

本试验在黑龙江省农业科学院齐齐哈尔分院试验基地进行,地势平坦,肥力中等,为碳酸盐黑钙土,属于中温带大陆性季风气候,年平均降水量350 mm,始霜期为9月28日,无霜期为150 d。试验区土壤的基本理化性质为0~20 cm土壤碱解氮100 mg·kg⁻¹,有效磷16.9 mg·kg⁻¹,速效钾134 mg·kg⁻¹,有机质26.5 g·kg⁻¹,pH7.82。

1.2 材料

供试玉米品种为嫩单19。

1.3 方法

1.3.1 试验设计 采用大区对比试验,本试验设置CK(对照)、秸秆覆盖还田、秸秆翻埋还田共3个处理,每个处理用地0.35 hm²,不设重复,各处理具体操作详见表1。试验为全量秸秆还田,还田量为14 700 kg·hm⁻²。试验在2018年5—10月玉米生长季进行调查。采用免耕播种一体机深施金正大牌控释肥,总养分≥48%,氮:磷:

收稿日期:2021-08-24

基金项目:黑龙江省应用技术与开发计划(GA20B102-04);科技计划创新激励项目(CNYGG-2021026,CNYGG-2021024)。

第一作者:高盼(1990—),女,硕士,助理研究员,从事土壤培肥与改良研究。E-mail:panneygao@126.com。

通信作者:刘玉涛(1968—),男,学士,研究员,从事耕作与栽培研究。E-mail:2013968839@qq.com。

钾=26:11:11。供试品种嫩单19于4月25日机械精量播种,密度6.75万株·hm²,播后喷灌,灌

水量35 mm,玉米4叶期化学除草,化除后7 d,免耕生育期不动土壤,成熟期测产。

表1 不同处理的具体操作

| 处理 | 秸秆处理 | 播种 |
|--------|---|-----------------------|
| CK | 秸秆不还田,机械打包移出田外 | 按照常规播种方式播种 |
| 秸秆翻埋还田 | 机械收获时秸秆粉碎,长度小于≤10 cm,土壤结冻前用栅栏式五铧犁深翻还田25~35 cm,翻耕后重耙1次 | 播种前再耙1次,机械平播同时一次性施入底肥 |
| 秸秆覆盖还田 | 机械收获时秸秆粉碎,长度小于≤10 cm,全部覆盖地表 | 免耕播种同时一次性施入底肥 |

1.3.2 测定项目及方法 成熟期采用环刀法测定0~20和20~40 cm土层土壤容重,按S形5点取样。土壤孔隙度(%)=(1-土壤容重/土壤密度)×100,式中:土壤密度采用2.65 g·cm⁻³。成熟期采用便携式TDR测量仪测定0~20和20~40 cm土层土壤水分和温度。采用冀保毅等^[7]的土壤三相比偏离值R分析土壤三相比,其公式为:

2 结果与分析

2.1 气象分析

由表2可知,2018年和2011-2017年平均总生育期降雨量分别为485.1和347.0 mm。虽然2018年度总降雨量比2011-2017年度的平均值多138.1 mm,但2018年度5月降雨量比2011-2017年减少45.8%。造成了齐齐哈尔西部干旱区春季玉米生长季的干旱。

表2 生育期降雨量 单位:mm

| 年份 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
|--------------|------|-------|-------|------|------|
| 2018年 | 17.9 | 100.6 | 201.4 | 88.0 | 77.2 |
| 2011-2017年平均 | 33.0 | 95.7 | 75.6 | 73.6 | 69.1 |

2.2 不同秸秆还田模式对土壤物理性状的影响

土壤容重和孔隙度是土壤物理性状的重要组成部分,关系到土壤的水、肥、气、热等状况,也影响着作物生长和产量^[8]。由表3可知,不同秸秆还田方式下,0~20和20~40 cm土壤容重均表现为CK>覆盖还田>翻埋还田,说明2种秸秆还田方式均能降低土壤容重,而翻埋还田处理下,由于上下土层相互混合,土壤容重降低效果较显著。与CK相比,成熟期覆盖还田和翻埋还田各土层的平均土壤容重分别下降4.35%和5.80%。

不同土层的土壤孔隙度测定结果表明,与CK相比,秸秆还田能够提高相应深度土层的土壤孔隙度,而翻埋还田能够打破犁底层,显著提高下层土壤孔隙度。和CK相比,覆盖还田和翻埋还田各土层平均土壤孔隙度分别提高了5.13%和6.03%。

$$R = \frac{\sqrt{0.4 \times (X - 50)^2 + (Y - 25)^2 + 0.6 \times (Z - 25)^2}}{100}$$

$$X = 100 \times (1 - \text{土壤孔隙度})$$

$$Y = 100 \times \text{土壤含水率}$$

$$Z = 100 \times (\text{土壤孔隙度} - \text{土壤含水率})$$

式中:R为所测土壤样品三相比与适宜状态下土壤三相比在空间距离上的差值;X为所测土壤样品固相的数值;Y为所测土壤样品液相的数值;Z为所测土壤样品气相的数值;0.4为土壤固相数据所占有的权重;0.6为土壤气相数据所占有的权重。

成熟期时每个处理随机挑选长势均匀一致的5 m双行,选取5穗考察穗长度、秃尖长度、穗粒数、出籽率、含水率、百粒重(烘干重)并记算公顷籽粒产量(14%标准含水量),其余脱粒晒干后称量计产。

1.3.3 数据分析 采用Excel 2010和DPS 8.50统计分析软件进行数据处理。

表3 不同秸秆还田模式对土壤容重和孔隙度的影响

| 处理 | 土壤容重/(g·cm ⁻³) | | 土壤孔隙度/% | |
|------|----------------------------|-------------|--------------|--------------|
| | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm |
| 覆盖还田 | 1.31±0.11 b | 1.33±0.11 b | 47.60±0.27 a | 46.60±0.19 b |
| 翻埋还田 | 1.30±0.09 c | 1.30±0.08 c | 47.20±0.18 a | 47.80±0.26 a |
| CK | 1.37±0.09 a | 1.39±0.07 a | 45.70±0.22 b | 43.90±0.24 c |

注:不同字母表示P<0.05水平差异显著。下同。

2.3 不同还田模式对土壤水分和温度的影响

由表 4 可知, 土壤含水量在 0~20 cm 各处理土层含水量表现为 CK>覆盖还田=翻埋还田, 差异达到显著水平。与 CK 相比, 覆盖还田、翻埋还田土壤含水量均降低了 14.81%。20~40 cm 土层含水量却表现为翻埋还田=CK>覆盖还田,

表 4 不同秸秆还田模式对土壤含水量和土壤温度的影响

| 处理 | 土壤含水量/% | | 土壤温度/℃ | |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm |
| 覆盖还田 | 23.00±0.37 b | 19.00±0.32 a | 12.00±0.19 a | 10.10±0.17 a |
| 翻埋还田 | 23.00±0.31 b | 20.00±0.24 a | 10.10±0.12 b | 9.20±0.11 a |
| CK | 27.00±0.40 a | 20.00±0.29 a | 13.00±0.14 a | 11.90±0.19 a |

2.4 不同还田模式下土壤三相比

由表 5 可知, 0~20 cm 土层土壤三相比 R 值表现为翻埋还田>覆盖还田>CK, 20~40 cm 土层土壤三相比 R 值表现为 CK>覆盖还田>翻埋还田, 且差异显著。秸秆还田的 20~40 cm 土层显著降低了土壤三相比 R 值, 覆盖还田和翻埋还田处理的土壤三相比 R 值较 CK 分别降低了

表 5 不同还田模式对土壤三相比的影响

| 处理 | 固相/% | | 液相/% | | 气相/% | | 三相比 R 值 | |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm | 0~20 cm | 20~40 cm |
| 覆盖还田 | 52.40±0.69 b | 53.40±0.81 b | 30.13±0.48 a | 25.27±0.22 b | 17.47±0.31 b | 21.33±0.26 a | 7.91±0.31 a | 3.58±0.11 b |
| 翻埋还田 | 52.80±0.92 b | 52.20±0.74 b | 29.90±0.23 a | 26.00±0.19 b | 17.30±0.11 b | 21.80±0.31 a | 7.92±0.28 a | 3.01±0.21 c |
| CK | 54.30±0.65 a | 56.10±0.65 a | 26.99±0.31 b | 27.80±0.19 a | 18.71±0.26 a | 16.10±0.21 b | 5.92±0.11 b | 8.23±0.37 a |

2.5 不同还田模式对水分利用率的影响

由表 6 可知, 不同秸秆还田处理均有助于提

表 6 不同秸秆还田模式对水分利用率的影响

| 处理 | 收获时土壤 贮水量/mm | 产量/ (kg·hm ⁻²) | 生育期降 雨量/mm | 灌溉补 水量/mm | 水分利用率/ (kg·hm ⁻² ·mm ⁻¹) | 水分利用效率 较 CK 提高/% |
|------|-----------------|-------------------------------|---------------|--------------|--|---------------------|
| 覆盖还田 | 90.82 | 11264.60 | 485.10 | 35.00 | 22.98 | 16.35 |
| 翻埋还田 | 91.35 | 11477.60 | 485.10 | 35.00 | 22.95 | 16.20 |
| CK | 87.70 | 9793.52 | 485.10 | 35.00 | 19.75 | - |

2.6 不同秸秆还田模式对玉米产量的影响

由表 7 可知, 不同处理穗长、穗粗、穗行数和行粒数差异不显著, 百粒重差异达到显著水平, 表现为翻埋还田>覆盖还田>CK, 其中翻埋还田

表 7 不同还田模式对玉米产量变化及构成因素的影响

| 处理 | 穗长/cm | 穗粗/cm | 穗行数 | 行粒数 | 百粒重/g | 产量/(kg·hm ⁻²) | 增产比/% |
|------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------|-------|
| 覆盖还田 | 19.20±0.19 a | 5.10±0.11 a | 16.00±0.25 a | 39.00±0.49 a | 24.30±0.23 b | 11264.60±800.15 | 15.02 |
| 翻埋还田 | 19.30±0.23 a | 5.10±0.13 a | 16.70±0.24 a | 40.00±0.35 a | 27.70±0.36 a | 11477.60±769.32 | 17.20 |
| CK | 19.70±0.14 a | 5.00±0.11 a | 14.70±0.19 a | 38.70±0.39 a | 24.00±0.29 b | 9793.50±700.66 | - |

各处理间差异不显著。

不同处理土壤温度在 0~20 cm 土层表现为 CK>覆盖还田>翻埋还田, 其中翻埋还田显著低于 CK 和覆盖还田。覆盖还田、翻埋还田土壤温度分别较 CK 降低了 7.69% 和 22.31%。在 20~40 cm 土层, 不同处理土壤温度差异未达到显著水平。

56.50% 和 63.43%。不同处理的土壤固相率在 0~20 和 20~40 cm 土层与 CK 差异均达到显著水平, 与 CK 相比, 覆盖还田和翻埋还田的土壤固相率在 0~20 和 20~40 cm 土层均有降低。覆盖还田和翻埋还田的土壤液相率在 0~20 cm 土层较 CK 增加 11.63% 和 10.78%, 而土壤气相率在 20~40 cm 土层增加了 32.48% 和 35.40%。

高水分利用率。与 CK 相比, 覆盖还田和翻埋还田水分利用率提高分别 16.35% 和 16.20%。

和覆盖还田分别较 CK 增加了 15.42% 和 1.25%。不同处理产量表现为翻埋还田>覆盖还田>CK, 翻埋还田和覆盖还田分别较 CK 增产 17.20% 和 15.02%。

3 讨论

3.1 不同还田方式对土壤容重的影响

土壤容重是土壤物理性质的重要指标之一,相关研究表明,秸秆还田可以降低土壤容重,增加土壤孔隙度和土壤通气能力,更好地改善土壤的物理结构^[9-11]。邹洪涛等^[12]研究表明,不同秸秆还田方式可以使容重降低 $0.19\sim 0.23\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,这与李东升等^[13]的研究结果一致。本研究试验表明CK土壤容重最大,为 $1.38\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,其次为覆盖还田,较CK降低了4.35%,而秸秆翻埋还田处理土壤容重较低,较对照降低了5.80%;主要原因是翻埋还田直接将耕作层土壤翻转,形成了疏松的秸秆层,能够协调水气状况。还有将秸秆与土壤充分混合的优势,在疏松土壤的基础上,增加土壤有机碳源,保持稳定的土壤结构。免耕覆盖秸秆还田处理虽然表层土壤有了明显改善,但由于短期的免耕秸秆还田对土壤扰动较小,亚耕层土壤紧实状况仍然存在;说明,秸秆翻埋还田处理能够显著降低土壤容重、增加土壤孔隙度,有效改善土壤物理性状。

3.2 不同还田方式对土壤含水量的影响

秸秆还田后的土壤物理结构存在显著差异,直接影响土壤的入渗性能和接纳雨水的的能力,使得饱和导水率和土壤蓄水保墒能力显著提高^[13]。由表4可知,在 $0\sim 20\text{ cm}$ 土层,覆盖还田处理土壤含水量较高。主要原因是秸秆覆盖后缓解了土壤水分流失和蒸发,稳固耕层结构,降低雨水造成的冲刷伤害,提高土壤表层水分含量^[14]。不同秸秆还田处理均有助于提高水分利用率,与CK相比,覆盖还田和翻埋还田水分利用率分别提高16.35%和16.20%。由于秸秆还田后土壤中的秸秆残体未完全腐解,秸秆残体吸收土壤中多余的水分,并且有效保持了土壤水分,进而增大了土壤含水量^[15]。在 $0\sim 20\text{ cm}$ 土层,翻埋还田土壤温度较CK降低了22.31%,原因是秸秆在温度较低的生育期一定程度上缓冲了外界冷空气与土壤之间的热传递,而翻埋处理的秸秆大都混拌于土壤中,阻隔了太阳辐射与地面的接触面积,所以翻埋秸秆还田处理的土壤温度有所下降。

3.3 不同还田方式对土壤三相比的影响

土壤三相比作为土壤固、液、气相的直接反映,还影响着土壤的化学性质,所以土壤三相比能作为衡量土壤水、肥、气、热的重要指标,土壤三相

比理想状态是 $50:25:25$ ^[7],土壤三相比R值越小,土壤结构越接近理想状态。本研究表明,在 $0\sim 20\text{ cm}$ 土层CK处理R值最低,主要是因为秸秆覆盖和翻埋还田可抑制土壤水分的蒸发,降低了土壤固相率,提高了土壤液相率,但气相率有所降低。而R值在 $20\sim 40\text{ cm}$ 土层差异达到显著水平,表现为 $\text{CK} > \text{覆盖还田} > \text{翻埋还田}$,秸秆翻埋还田在 $20\sim 40\text{ cm}$ 土层土壤三相比R值较CK降低了63.43%。主要是因为翻埋还田加土壤深层蓄水量,提高了土壤液相和气相的比值,可使表层土壤保持较松散状态,这与前人研究结果一致^[16-17]。

3.4 不同还田方式对玉米产量的影响

研究发现,免耕秸秆全量还田可增加玉米叶面积,提高叶片光合能力,进而促进干物质积累和产量提高。还有研究表明长期秸秆还田能够提升玉米株高及穗位高,有效延缓玉米根系衰老,有利于后期玉米对养分的吸收和产量的形成^[18-20]。本研究中翻埋还田方式产量最高为 $11\,477.60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,较CK增产17.20%,说明秸秆翻埋还田深翻能够打破犁底层,改善土壤中下层孔隙状况,提升土壤储水保水性能,更有利于秸秆的腐解和秸秆中营养的释放,为微生物提供了碳源,改善了土壤物理性状,增加了土壤微生物活性,进而增加土壤微生物量,提高了土壤肥力和产量。

4 结论

本试验结果表明秸秆覆盖还田和翻埋还田均可以降低土壤容重、增加土壤孔隙度,降低土壤表层温度,降低土壤固相率、提高表层土壤液相率和深层土壤气相率,使土壤三相比接近理想状态,秸秆还田在 $20\sim 40\text{ cm}$ 土层显著降低了土壤三相比R值,覆盖还田和翻埋还田处理的土壤三相比R值较CK分别降低了56.50%和63.43%。不同秸秆还田处理均有助于提高水分利用率,翻埋还田处理和覆盖还田处理分别比对照CK增产17.20%和15.02%。

参考文献:

- [1] 王宁堂,王军利,李建国,等.农作物秸秆综合利用现状、途径及对策[J].陕西农业科学,2007(2):112-115.
- [2] 梁榕旺,徐淑莉.我国秸秆资源现状及其利用[J].畜牧与饲料科学,2011,32(11):21-22.
- [3] 董智,解宏图,张立军,等.东北玉米带秸秆覆盖免耕对土壤性状的影响[J].玉米科学,2013,21(5):100-108.
- [4] 匡恩俊,迟凤琴,宿庆瑞,等.不同还田方式下玉米秸秆腐解规律的研究[J].玉米科学,2012,20(2):99-106.

- [5] 张聪,慕平,尚建明,等.长期持续秸秆还田对土壤理化特性、酶活性和产量性状的影响[J].水土保持研究,2018,25(1):92-98.
- [6] 杨晶秋,刘金城.玉米秸秆直接还田后的转化及对土壤养分平衡的影响[J].土壤通报,1993(3):123-125.
- [7] 冀保毅,李潮海,赵亚丽,等.一种用立体几何知识分析土壤三相数据的方法:CN 103197045A[P].2013-07-10.
- [8] 徐燕,霍仕平,邱诗春,等.玉米秸秆还田对土壤理化特性影响的研究[J].中国农学通报,2016,32(23):87-92.
- [9] 蔡红光,梁尧,闫孝贡,等.东北黑土区秸秆不同还田方式下玉米产量及养分累积特征[J].玉米科学,2016,24(5):68-74.
- [10] 高飞,贾志宽,路文涛,等.秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响[J].生态学报,2011,31(3):777-783.
- [11] 张帅,孔德刚,常晓慧,等.秸秆深施对土壤蓄水能力的影响[J].东北农业大学学报,2010,41(6):127-129.
- [12] 邹洪涛,马迎波,徐萌,等.辽西半干旱区秸秆深还田对土壤含水量、容重及玉米产量的影响[J].沈阳农业大学学报,2012,43(4):494-497.
- [13] 李东升,周为华,范佳,等.秸秆还田对土壤特性和作物生产的影响[J].安徽农学通报,2010,16(15):4-15.
- [14] 王珍,冯浩.秸秆不同还田方式对土壤入渗特性及持水能力的影响[J].农业工程学报,2010,26(4):75-80.
- [15] 张帅,孔德刚,常晓慧,等.秸秆深施对土壤蓄水能力的影响[J].东北农业大学学报,2010,41(6):127-129.
- [16] 刘义国,刘永红,刘洪军,等.秸秆还田量对土壤理化性状及小麦产量的影响[J].中国农学通报,2013,29(3):131-135.
- [17] 吴菲.玉米秸秆连续多年还田对土壤理化性状和作物生长的影响[D].北京:中国农业大学,2005.
- [18] 刘园,KHAN M J,靳海洋,等.秸秆生物炭对湖土作物产量和土壤性状的影响[J].土壤学报,2015,52(4):849-858.
- [19] 白伟,逢焕成,牛世伟,等.秸秆还田与施氮量对春玉米产量及土壤理化性状的影响[J].玉米科学,2015,23(3):99-106.
- [20] 付国占,李潮海,王俊忠,等.残茬覆盖与耕作方式对土壤性状及夏玉米水分利用效率的影响[J].农业工程学报,2005,21(1):52-56.

Effects of Maize Straw Mulching and Burying Returning to the Field on Soil Physical Properties and Maize Yield

GAO Pan, LIU Yu-tao, XU Ying-ying, YANG Hui-ying, WANG Chen, WANG Yu-xian, XU Ting
(Qiqihar Branch, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Qiqihar 161006, China)

Abstract: In order to explore the effects of maize straw mulching and burying returning to the field on soil physical properties and maize yield in semi-arid area, in this experiment, conventional cultivation (CK), straw mulching and straw burying were set up. The soil bulk density, soil porosity, soil three-phase ratio R value and maize yield were measured at the mature stage of maize. The results showed that compared with CK, the average soil bulk density of each soil layer of mulching and burying at maturity decreased by 4.35% and 5.80% respectively, and the soil porosity increased by 5.13% and 6.03% respectively. The soil water content of mulching and burying treatment decreased by 14.81% and 14.81%, the water use efficiency increased by 16.35% and 16.20%, and the soil temperature decreased by 7.69% and 22.31% respectively. Straw returning significantly reduced the soil three-phase R value in the soil layer of 20-40 cm, and the R value of mulching and burying treatment decreased by 56.50% and 63.43% compared with CK. Compared with CK, the weight of 100-seed increased by 15.42% and 1.25% respectively, and the yield increased by 17.20% and 15.02% respectively. In conclusion, straw mulching and burying can improve soil physical properties, water use efficiency and maize yield.

Keywords: maize; straw returning; straw mulching; straw burying; soil physical properties; water use efficiency; yield

著作权使用声明

本刊已许可中国知网、维普网、万方数据等知识服务平台以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。

《黑龙江农业科学》编辑部