

小麦玉米轮作区周年耕作模式对夏玉米生长的影响

赵东波¹, 高建胜¹, 郭良海¹, 管培燕², 郭建军¹, 崔慧妮¹, 欧文静¹, 李拥军¹, 郭智慧^{1*}

(1. 德州市农业科学研究院, 山东德州 253015; 2. 德州学院, 山东德州 253023)

摘要 [目的]探究冬小麦夏玉米区周年不同耕作模式对夏玉米生育期、干物质积累及产量的影响,为基于机械化的新型耕作制度改革提供科学依据。[方法]以冬小麦夏玉米周年耕作模式为研究对象,于2018—2021年进行了连续3年的大田试验。采取裂区设计,小麦季设旋耕、深松加旋耕和深翻加旋耕3个主处理,玉米季设免耕播种、灭茬播种、灭茬旋耕播种3个副处理,调查夏玉米生育期和主要的农艺性状,测定夏玉米各生育期叶面积、干物质积累和产量。[结果]深松免耕周年耕作措施的夏玉米出苗率高、苗期整齐度好;深松或深翻与免耕或灭茬组成的周年耕作模式动态叶面积大,干物质积累量多,其玉米平均产量均在12 300 kg/hm²以上,显著高于其他周年耕作组合。[结论]小麦季深松或深翻与玉米季灭茬或直播的周年耕作模式,尤其小麦季深翻与玉米季灭茬的周年耕作模式在黄淮海一年两熟区可显著提高夏玉米产量,带动德州市粮食大面积均衡增产,助力德州市吨半粮生产能力建设。

关键词 周年耕作;夏玉米;深翻;深松;产量

中图分类号 S513 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)14-0031-05

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.14.008



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Annual Tillage Patterns on the Growth of Summer Maize

ZHAO Dong-bo, GAO Jian-sheng, GUO Liang-hai et al (Dezhou Academy of Agricultural Science, Dezhou, Shandong 253015)

Abstract [Objective] To explore the effects of annual different tillage patterns on the growth period, dry matter accumulation and yield of summer maize in winter wheat and summer maize area, so as to provide scientific basis for the reform of new farming system based on mechanization. [Method] Taking the annual tillage pattern of winter wheat and summer maize as the research object, field experiment was carried out for three consecutive years from 2018 to 2021. The split-plot design was adopted. Three main treatments of rotary tillage, subsoiling plus rotary tillage and deep turning plus rotary tillage were set in the wheat season, and three sub-treatments of no tillage sowing, stubble killing sowing and stubble killing rotary tillage sowing were set in the maize season. The growth period and main agronomic characters of summer maize were investigated, and the leaf area, dry matter accumulation and yield of summer maize in each growth period were measured. [Result] The annual tillage measures of subsoiling and no tillage had high seedling emergence rate and good seedling uniformity. The annual tillage model composed of subsoiling or deep turning and no tillage or stubble has large dynamic leaf area and large dry matter accumulation. The average yield of maize was more than 12 300 kg/hm², which was significantly higher than other annual tillage combinations. [Conclusion] The annual tillage mode of subsoiling or deep turning in wheat season and stubble elimination or direct seeding in maize season, especially the annual tillage mode of deep turning in wheat season and stubble elimination in maize season could significantly improve the yield of summer maize in the double cropping area of Huang-Huai-Hai, which was expected to drive the balanced increase of grain production in a large area in Dezhou City and help the construction of production capacity of tons and a half of grain in Dezhou.

Key words Annual farming; Summer corn; Deep turning; Deep loosening; Yield

玉米是我国第一大粮食作物,在保障国家粮食安全中占有重要地位^[1]。由于耕地资源限制及种植业结构调整,2015年全国玉米种植面积4 496.84万hm²,之后逐年减少,2020年降至4 126.43万hm²;2015年玉米单产5 892.85 kg/hm²,2020年达到6 316.97 kg/hm²(国家统计局 <https://data.stats.gov.cn/adv.htm?m=advquery&cn=C01>)。黄淮海地区是我国玉米的主产区之一,目前农户普遍采用小麦季旋耕播种、玉米季免耕播种、双季秸秆还田的耕作措施,长期“旋耕免耕”的耕作组合造成该地区耕层变浅、犁底层上升、土壤环境变差,进而导致作物产量降低^[2-5]。蒋飞等^[6]研究表明,鲁西南地区秸秆全层深翻处理下,玉米开花期、叶面积和叶干重均增加,整株干重在开花期和成熟期均明显高于免耕,产量比免耕和旋耕分别高10.6%和4.3%;刘洋等^[7]研究表明,在辽西地区一次

全方位深松、连年秋翻、连年沟垄交替深松,单从玉米产量来看,以一次全方位深松效果最为明显,比对照增产13.7%;吕巨智等^[8]研究表明,广西热带地区春季深松和夏季免耕播种条件下,玉米单株干物质积累量较传统耕作增加26.41%。前人对玉米播种前的耕作方式研究较多,结果表明受光照、降雨、土壤等因属影响,不同玉米生产区对应的优势耕作模式并不相同^[9];而对于黄淮海冬小麦-夏玉米一年两熟轮作区,周年不同耕作措施对夏玉米的影响研究较少。鉴于此,笔者通过系统研究小麦季与玉米季周年不同耕作组合对玉米生长发育及产量的影响,探究黄淮海冬小麦-夏玉米一年两熟轮作区优势耕作组合,为基于机械化的新型耕作制度改革提供科学依据。

1 材料与方法

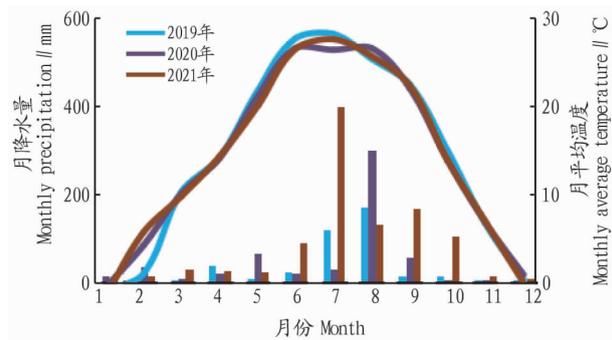
1.1 试验地概况 试验区位于山东省德州市德城区黄河涯镇(116.346 7°E, 37.360 0°N),该地属于暖温带大陆性气候,雨热同期,降水主要集中在7—9月份,降水量年份间差异较大(图1)。试验区属于典型的冬小麦-夏玉米轮作区,此前长期采用“小麦季秸秆粉碎还田旋耕后播种、玉米季秸秆覆盖还田免耕播种”的保护性耕地措施。试验区以砂质土壤为主,土壤肥沃,呈弱碱性,试验地0~20 cm土层基础理化

基金项目 财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系德州综合试验站(CARS-02-66);山东省玉米产业技术体系德州综合试验站(SDAIT-02-19);山东省青年自然科学基金项目(ZR2020QC103)。

作者简介 赵东波(1988—),男,山东东明人,农艺师,硕士,从事玉米育种及栽培研究。*通信作者,高级农艺师,从事玉米育种与栽培研究工作。

收稿日期 2022-02-14

性状如下:有机质 18.15 g/kg,全氮 1.08 g/kg,全磷 1.03 g/kg,全钾 18.9 g/kg,速效磷 21.3 mg/kg,速效钾 140.8 mg/kg,pH 7.7。



注:气象数据来自德州国家气象观测站;折线图为温度;柱状图为降雨量

Note: Meteorological data were from National Meteorological Observatory of Dezhou; line chart was temperature and histogram was precipitation

图1 2019—2021年试验区月平均降水量和月平均温度比较

Fig.1 Comparison of monthly average rainfall and monthly mean temperature in experiment site from 2019 to 2021

1.2 试验材料 试验玉米品种为当地主栽品种登海 605;小麦品种为济麦 22。

1.3 试验设计 2018—2021 年试验采用裂区设计,小麦季设旋耕(A)、深松(B)和深翻(C)3个主处理,玉米季设免耕(X)、灭茬(Y)、旋耕(Z)3个副处理(表1)。小区面积 $12\text{ m} \times 20\text{ m} = 240\text{ m}^2$,每个处理3个重复,第1年随机机组排列,以后固定位置。采用冬小麦-夏玉米一年两熟轮作模式,冬季种植“济麦22”并统一管理,不进行调查。夏季选用当地主栽品种“登海605”,6月中旬播种(表2),种植密度设定为 $75\ 000\text{ 株}/\text{hm}^2$,行距 60 cm。玉米播种前基施复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15,总养分≥45%) $300\text{ kg}/\text{hm}^2$ 。3年的试验轮作过程中小麦和玉米的管理方式均相同,仅在耕作方式上有差异。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 生育期。生育期的判定标准均为群体 60%及以上植株达到某生育期。记载各处理玉米出苗、拔节期、大喇叭口期、抽雄期、吐丝期、成熟期、收获日期等。

1.4.2 苗期调查。小区内 60%植株有 4 片可见叶片时调查出苗数,并连续测定 20 株株高,计算出苗率和出苗整齐度(出苗整齐度用苗期株高整齐度表示,即平均株高/标准偏差)。

1.4.3 叶面积。拔节期、开花期与成熟期,每小区连续测 5 株,测量每株玉米全部展开绿叶的叶长和最大叶宽,乘以 0.75,累加得到全株叶面积。

1.4.4 干物质累积。在拔节期、大喇叭口期、开花期与成熟期,每小区连续选取 5 株,并将其分为叶片、茎鞘和籽粒 3 部分,分别烘至恒重后称重。

1.4.5 农艺性状调查。成熟期测量株高、穗位高和茎粗,每小区连续测量 5 株;调查小区株数、倒伏(含倒折)、空秆、双

穗等农艺性状。

表1 不同周年耕作模式比较

Table 1 Comparison of annual farming modes

| 耕作模式 Farming mode | 小麦季耕作处理 Tillage treatment in wheat season | 次年玉米季耕作处理 Cultivation treatment in the next maize season |
|----------------------|--|---|
| AX | 旋耕(A);夏玉米收获后,玉米秸秆粉碎还田,旋耕 2 遍,粉碎的玉米秸秆与表层土壤(0~10 cm)混合,然后播种小麦,下同 | 免耕(X):小麦收获后秸秆全部覆盖还田,直接播种玉米,下同 |
| AY | 旋耕(A) | 灭茬(Y):小麦收获后灭茬,小麦秸秆均匀覆盖在土壤表面,然后播种玉米。下同 |
| AZ | 旋耕(A) | 旋耕(Z):小麦收获后,直接旋耕 2 遍,粉碎的小麦秸秆与表层土壤(0~10 cm)混合,然后播种玉米,下同。 |
| BX | 深松(B);夏玉米秸秆粉碎后深松犁深松 30~35 cm,再旋耕 1 遍,玉米秸秆主要分布于 0~10 cm 土壤,然后播种小麦,下同 | 免耕(X) |
| BY | 深松(B) | 灭茬(Y) |
| BZ | 深松(B) | 旋耕(Z) |
| CX | 深翻(C);夏玉米秸秆粉碎后深翻 1 遍,深度为 25~30 cm,旋耕 1 遍,粉碎的玉米秸秆分布于 0~30 cm 土壤,然后播种小麦,下同 | 免耕(X) |
| CY | 深翻(C) | 灭茬(Y) |
| CZ | 深翻(C) | 旋耕(Z) |

表2 夏玉米播种和收获日期比较

Table 2 Comparison of sowing and harvest dates of summer maize

| 年份 Year | 播种 Sowing | 灌溉 Irrigation | 出苗 Emergence | 收获 Harvest |
|------------|--------------|------------------|-----------------|---------------|
| 2019 | 06-18 | 06-19 | 06-24 | 10-07 |
| 2020 | 06-19 | 06-20 | 06-25 | 10-06 |
| 2021 | 06-18 | 06-19 | 06-24 | 10-12 |

1.4.6 考种和测产。成熟期各小区选取中间 2 行统计收获穗数并实收测产,自然风干脱粒测产,采用谷物水分测定仪(PM-8188-A)测定籽粒含水量,计算玉米籽粒产量(折算为 14%含水量);随机选择 20 个果穗进行考种,调查穗粒数(穗行数×行粒数)、单穗重、穗长、穗粗、秃尖长等穗部性状。

1.5 数据处理与分析 采用 Microsoft Excel 2019 进行数据整理;采用 IBM SPSS Statistics 26 软件统计和分析数据;采用单因素(one-way ANOVA)和 Duncan's 法进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同处理对玉米生育期的影响 由表 3 可知,除播种至出苗外,玉米季灭茬旋耕播种(AZ、BZ、CZ 处理)的玉米各生育期略晚于玉米季免耕播种(AX、BX、CX 处理)和灭茬播种(AY、BY、CY 处理);从夏玉米播种到成熟期的平均天数来看,AX 和 AY 处理较短(107.0 d),AZ 和 BZ 处理较长(108.7 d),最长平均天数处理与最短平均天数处理间差异显著。

表 3 不同处理对夏玉米生育期的影响

Table 3 Effects of different treatments on the growth period of summer maize

d

| 处理编号 Treatment code | 播种至出苗 Sowing to emergence dates | 播种至拔节 Sowing to jointing dates | 播种至抽雄 Sowing to tasseling dates | 播种至吐丝 Sowing to silking dates | 播种至成熟 Sowing to maturity dates |
|------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| AX | 6.0 b | 24.0 c | 52.0 d | 52.0 d | 107.0 c |
| AY | 6.0 b | 23.0 d | 52.3 d | 52.3 d | 107.0 c |
| AZ | 7.0 a | 24.7 b | 54.3 b | 54.0 b | 108.7 a |
| BX | 7.0 a | 24.0 c | 53.0 c | 53.0 c | 108.0 abc |
| BY | 7.0 a | 24.0 c | 53.0 c | 53.0 c | 108.0 abc |
| BZ | 7.0 a | 26.0 a | 54.3 b | 54.0 b | 108.7 a |
| CX | 7.0 a | 24.0 c | 53.0 c | 53.0 c | 107.7 abc |
| CY | 7.0 a | 24.0 c | 54.0 b | 55.7 a | 107.3 bc |
| CZ | 6.7 a | 26.0 a | 55.0 a | 54.0 b | 108.3 ab |

注:同列不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences between treatments at 0.05 level

2.2 不同处理对玉米苗期性状的影响 由表 4 可知,不同处理苗期株高由高到低依次为 AY 处理>AX 处理>AZ 处理、BY 处理>BX 处理>BZ 处理、CX 处理>CY 处理>CZ 处理,玉米季免耕播种 (AX、BX、CX 处理) 和灭茬后播种 (AY、BY、CY 处理) 夏玉米出苗率较高,苗期平均株高较高,出苗整齐度较

好,均优于玉米季灭茬旋耕后播种 (AZ、BZ、CZ 处理)。综上所述可知,小麦季灭茬后深松或深翻再旋耕播种 (B 或 C 处理) 较好,玉米季免耕播种或灭茬播种 (X 或 Y 处理) 较好。其中 AY 和 BY 处理的夏玉米苗期表现较好、出苗率较高、苗期平均株高较高、苗期整齐度较好。

表 4 不同处理对夏玉米苗期性状的影响

Table 4 Effects of different treatments on seedling stage characters of summer maize

| 处理编号 Treatment code | 2019 年 | | | 2020 年 | | | 2021 年 | | |
|------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| | 出苗率 Emergence rate//% | 苗期株高 Seedling plant height//cm | 出苗整齐度 Emergence uniformity | 出苗率 Emergence rate//% | 苗期株高 Seedling plant height//cm | 出苗整齐度 Emergence uniformity | 出苗率 Emergence rate//% | 苗期株高 Seedling plant height//cm | 出苗整齐度 Emergence uniformity |
| AX | 94.9 | 16.4±1.8 c | 9.05 | 93.4 | 16.5±2.0 bed | 8.28 | 93.1 | 17.6±2.0 b | 8.96 |
| AY | 95.1 | 16.7±1.8 c | 9.07 | 96.1 | 17.7±2.0 bc | 9.08 | 94.4 | 17.8±1.6 b | 10.84 |
| AZ | 92.0 | 13.8±1.9 d | 7.21 | 92.1 | 14.9±2.0 ef | 7.30 | 91.8 | 15.1±2.6 c | 5.78 |
| BX | 94.4 | 18.5±1.9 b | 9.83 | 94.8 | 17.9±2.4 b | 7.40 | 94.7 | 19.5±2.0 a | 9.69 |
| BY | 96.9 | 20.3±1.7 a | 12.15 | 95.7 | 20.0±1.9 a | 10.73 | 96.1 | 19.8±1.7 a | 11.74 |
| BZ | 93.0 | 13.8±2.5 d | 5.65 | 92.8 | 15.4±2.4 def | 6.44 | 91.9 | 15.0±2.3 c | 6.67 |
| CX | 95.6 | 16.6±1.8 c | 9.03 | 95.5 | 16.3±2.4 cde | 6.71 | 95.2 | 17.5±2.3 b | 7.65 |
| CY | 94.4 | 15.8±1.3 c | 12.50 | 96.5 | 16.3±1.6 cde | 10.03 | 95.8 | 16.6±1.3 b | 12.97 |
| CZ | 92.6 | 13.9±2.1 d | 6.68 | 93.7 | 14.5±2.4 f | 6.09 | 93.7 | 14.4±1.8 c | 7.92 |

注:同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences between treatments at 0.05 level

2.3 不同处理对玉米叶面积动态的影响 由表 5 可知,2019—2021 年玉米拔节期、大喇叭口期、开花期和成熟期的叶面积无显著差异。从小麦季 B 与 C 处理对夏玉米各生育期叶面积的影响来看,仅拔节期各处理间有显著差异;B 和 C 处理拔节期、大喇叭口期、成熟期的玉米叶面积高于 A 处理。

玉米季 X 与 Y 处理在玉米成熟期前叶面积显著高于 Z 处理,但成熟期 Z 处理叶面积高于 X 和 Y 处理。由图 1 可知,AX、AY、BX、BY、CX 和 CY 处理夏玉米成熟前叶面积显著高于 AZ、BZ 和 CZ 处理,但至成熟期时前者的叶面积较后者低。

表 5 玉米各生育期不同处理叶面积比较

Table 5 Comparison of leaf area of different treatments at different maize growth stages

cm²

| 时段 Stage | 项目 Item | 拔节期 Jointing stage | 大喇叭口期 Great trumpet stage | 开花期 Flowering stage | 成熟期 Maturity stage |
|------------------|------------|-----------------------|------------------------------|------------------------|-----------------------|
| 年份 Year | 2019 | 1 034.4 a | 4 685.5 a | 6 493.7 a | 1 973.9 a |
| | 2020 | 998.1 a | 4 716.2 a | 6 538.6 a | 1 974.4 a |
| | 2021 | 1 027.9 a | 4 724.9 a | 6 583.6 a | 1 948.5 a |
| 小麦季 Wheat season | A | 964.7 c | 4 634.8 b | 6 585.1 a | 1 874.0 b |
| | B | 1 060.9 a | 4 726.0 a | 6 516.6 a | 2 007.5 a |
| | C | 1 034.7 b | 4 765.8 a | 6 514.2 a | 2 015.2 a |
| 玉米季 Maize season | X | 1 094.1 b | 4 952.7 a | 6 721.1 a | 1 763.6 b |
| | Y | 1 143.7 a | 5 017.9 a | 6 744.9 a | 1 776.0 b |
| | Z | 822.6 c | 4 156.0 b | 6 149.9 b | 2 357.2 a |

注:同列相同时段下不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases of the same time stage in the same column indicated significant differences between treatments at 0.05 level

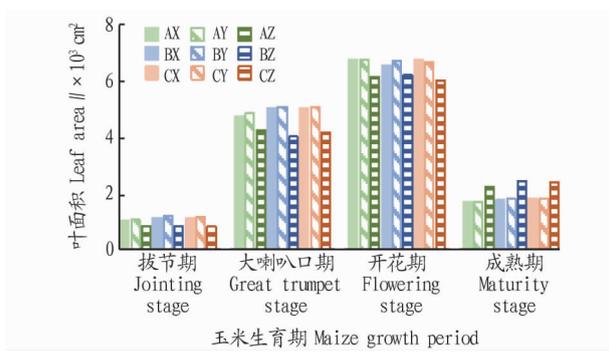


图2 不同处理对玉米各生育期叶面积的影响

Fig.2 Effects of different treatments on leaf area of maize at different growth stages

2.4 不同处理对玉米植株干重的影响 由表6可知,2019—2021年玉米拔节期、大喇叭口期、开花期、成熟期的叶片、茎鞘和籽粒的植株干重间无显著差异。小麦季3种耕作模式中,B、C处理各生育期植株干重均比A处理玉米高,且各处理间差异显著;B和C处理间拔节期无显著差异,大喇叭口期B处理的玉米植株干重高于C处理,且各处理间差异显著;而开花期和成熟期C处理的植株干重最高,与B、A处理间差异显著。玉米季3种耕作模式各生育期植株干重排序均为Y处理>X处理>Z处理,处理间差异显著。由图3可知,小麦季与玉米季9个周年耕作组合处理中,玉米各生育期BY和CY处理的植株干重均最高,与其他处理间差异显著。

表6 不同处理对玉米生育期植株干重的影响

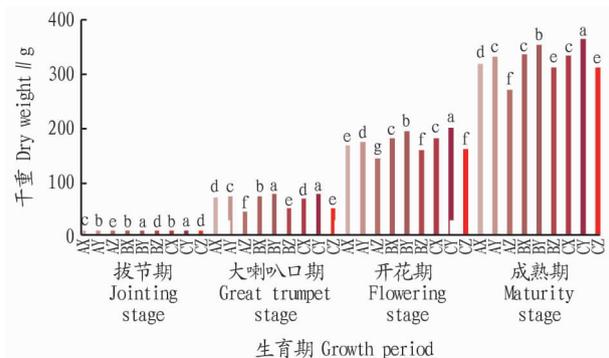
Table 6 Effects of tillage measures on total dry matter in maize growth period

| 时段 Stage | 项目 Item | 拔节期 Jointing stage | | | | 大喇叭口期 Great trumpet stage | | | |
|---------------------|------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | | 叶片 Leaf | 茎鞘 Stem-sheath | 籽粒 Grain | 植株 Whole plant | 叶片 Leaf | 茎鞘 Stem-sheath | 籽粒 Grain | 植株 Whole plant |
| 年份 Year | 2019 | 7.4 a | 2.5 a | 0 | 9.9 a | 25.2 a | 40.2 a | 0 | 65.4 a |
| | 2020 | 7.4 a | 2.5 a | 0 | 9.9 a | 25.1 a | 40.0 a | 0 | 65.0 a |
| | 2021 | 7.3 a | 2.5 a | 0 | 9.8 a | 25.1 a | 40.1 a | 0 | 65.1 a |
| 小麦季 Wheat season | A | 7.2 b | 2.5 b | 0 | 9.6 b | 22.5 c | 40.1 a | 0 | 62.6 c |
| | B | 7.4 a | 2.6 a | 0 | 10.0 a | 26.6 a | 40.8 a | 0 | 67.4 a |
| | C | 7.4 a | 2.6 a | 0 | 10.0 a | 26.2 b | 39.4 b | 0 | 65.5 b |
| 玉米季 Maize season | X | 7.4 b | 2.6 b | 0 | 10.0 b | 26.0 b | 45.4 b | 0 | 71.4 b |
| | Y | 7.5 a | 2.7 a | 0 | 10.2 a | 27.0 a | 48.4 a | 0 | 75.4 a |
| | Z | 7.2 c | 2.3 c | 0 | 9.4 c | 22.3 c | 26.5 c | 0 | 48.8 c |

| 时段 Stage | 项目 Item | 开花期 Flowering stage | | | | 成熟期 Maturity stage | | | |
|---------------------|------------|---------------------|-------------------|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|-------------|-------------------|
| | | 叶片 Leaf | 茎鞘 Stem-sheath | 籽粒 Grain | 植株 Whole plant | 叶片 Leaf | 茎鞘 Stem-sheath | 籽粒 Grain | 植株 Whole plant |
| 年份 Year | 2019 | 29.6 a | 144.0 a | 0 | 173.6 a | 49.9 a | 129.6 a | 147.5 a | 327.0 a |
| | 2020 | 29.7 a | 144.1 a | 0 | 173.9 a | 50.0 a | 130.2 a | 147.5 a | 327.7 a |
| | 2021 | 29.4 a | 143.9 a | 0 | 173.3 a | 49.5 a | 128.9 a | 146.9 a | 325.2 a |
| 小麦季 Wheat season | A | 26.4 b | 135.2 c | 0 | 161.6 c | 49.4 a | 119.6 b | 138.6 c | 307.6 c |
| | B | 31.4 a | 146.7 b | 0 | 178.1 b | 49.9 a | 133.9 a | 150.6 b | 334.4 b |
| | C | 30.9 a | 150.2 a | 0 | 181.1 a | 50.1 a | 135.3 a | 152.6 a | 337.9 a |
| 玉米季 Maize season | X | 29.5 b | 146.8 b | 0 | 176.4 b | 51.1 b | 132.9 b | 146.0 b | 329.9 b |
| | Y | 32.2 a | 157.8 a | 0 | 190.0 a | 55.2 a | 139.8 a | 156.1 a | 351.1 a |
| | Z | 26.9 c | 127.5 c | 0 | 154.3 c | 43.0 c | 116.1 c | 139.8 c | 298.9 c |

注: 同列相同时段下不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column of the same time stage indicated significant differences between treatments at 0.05 level



注: 不同小写字母表示不同处理在0.05水平差异显著

Note: Different lowercases indicated significant differences between treatments at 0.05 level

图3 不同处理对玉米各生育期植株干重的影响

Fig.3 Effects of different treatments on dry weight of maize at different growth periods

2.5 不同处理对玉米主要农艺性状的影响 由表7可知,B处理的倒伏率较A和C处理略高,Z处理显著高于X和Y处理,其中AZ、BZ、CZ处理的倒伏率显著高于其他处理。Z处理空秆率高于X和Y处理,其中BZ、CZ处理空秆率高于其他处理。各处理平均株高由高到低依次为B处理>C处理>A处理、Y处理>X处理>Z处理,其中BX处理平均株高最高,为284.4 cm,而AZ处理平均株高最低,为253.5 cm。CY处理平均穗位最高,为134.1 cm,AZ处理平均穗位最低,为122.0 cm。各处理茎粗为1.8~2.0 cm。

2.6 不同处理对玉米产量及其构成因素的影响 由表8可知,小麦季B和C处理的小麦产量显著高于A处理,X和Y处理的玉米产量显著高于Z处理;BX、BY、CX、CY处理的玉米平均产量均在12300.0 kg/hm²以上,显著高于其他5个处理。BX、BY、CX、CY处理单穗重、穗粒数显著高于其他处理,千粒重为296.8~306.8 g/L;CY处理的穗长和穗粗表现最

好,而且秃尖不严重。

表 7 不同处理对玉米主要农艺性状的影响

Table 7 Effects of different treatments on major agronomic characters of maize

| 处理编号 Treatment code | 倒伏率 Lodging ratio//% | 空秆率 Bare plant rate//% | 株高 Plant height//cm | 穗位高 Spike position//cm | 茎粗 Stem diameter//cm |
|------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|
| AX | 2.4 c | 0.4 c | 271.3 d | 131.0 bc | 1.8 d |
| AY | 3.6 c | 1.0 bc | 274.8 bed | 133.6 ab | 1.8 d |
| AZ | 10.8 ab | 0.9 bc | 253.5 e | 122.0 d | 1.8 e |
| BX | 2.7 c | 0.6 c | 284.4 a | 129.6 c | 1.9 c |
| BY | 4.6 c | 0.2 c | 279.1 b | 133.2 ab | 2.0 a |
| BZ | 14.2 a | 1.6 ab | 256.4 e | 124.4 d | 1.8 de |
| CX | 2.0 c | 0.5 c | 274.0 cd | 124.8 d | 2.0 b |
| CY | 3.4 c | 0.2 c | 276.9 bc | 134.1 a | 2.0 a |
| CZ | 9.4 b | 1.9 a | 255.3 e | 122.9 d | 1.8 d |
| A | 5.6 a | 0.8 a | 266.5 b | 128.9 a | 1.8 b |
| B | 7.2 a | 0.8 a | 273.3 a | 129.1 a | 1.9 a |
| C | 5.0 a | 0.9 a | 268.7 ab | 127.3 a | 1.9 a |
| X | 2.3 b | 0.5 b | 276.6 a | 128.5 b | 1.9 a |
| Y | 3.8 b | 0.5 b | 276.9 a | 133.6 a | 1.9 a |
| Z | 11.5 a | 1.5 a | 255.1 b | 123.1 c | 1.8 b |

注:同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences between treatments at 0.05 level

表 8 不同处理对玉米产量及其构成因素的影响

Table 8 Effects of different treatments on maize yield and its components

| 处理编号 Treatment code | 穗长 Ear length cm | 穗粗 Ear diameter cm | 秃尖长 Bare tip length//cm | 穗粒数 Grains per panicle//粒 | 单穗重 Panicle weight g | 千粒重 1 000-grain weight//g/L | 产量 Yield kg/hm ² |
|------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| AX | 16.8 d | 5.4 cd | 1.0 c | 536 cd | 158.5 d | 297.6 d | 11 536.5 bc |
| AY | 17.7 c | 5.5 bc | 1.0 c | 538.8 c | 164.9 c | 301.4 bc | 11 593.5 b |
| AZ | 16.8 d | 5.3 d | 1.6 a | 480.4 e | 146.0 e | 296.8 d | 10 563.0 d |
| BX | 17.9 bc | 5.5 b | 1.1 c | 575.4 ab | 175.4 ab | 304.1 ab | 12 391.5 a |
| BY | 18.3 b | 5.8 a | 1.2 c | 563.2 b | 176.4 a | 301.8 bc | 12 408.0 a |
| BZ | 16.8 d | 5.4 bc | 1.5 ab | 511.5 d | 157.6 d | 299.2 cd | 11 436.0 bc |
| CX | 17.5 c | 5.5 b | 1.2 bc | 573.5 ab | 172.3 b | 306.8 a | 12 462.0 a |
| CY | 19.3 a | 5.8 a | 1.0 c | 587.1 a | 176.3 a | 303.6 b | 12 528.0 a |
| CZ | 16.5 d | 5.4 cd | 1.5 ab | 521.2 cd | 159.2 d | 297.0 d | 11 256.0 c |

注:同列不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著

Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences between treatments at 0.05 level

3 结论与讨论

耕作方式有区域适应性,周年耕作模式对产量的效应受土壤、气候等环境因子影响,增产效应略有差别^[10]。研究发现,小麦季灭茬后深松或深翻再旋耕播种与玉米季免耕播种或灭茬播种结合的周年耕作模式下夏玉米苗期表现较好,出苗率较高,苗期平均株高较高,苗期整齐度较好,有利于叶的发育;玉米成熟期积累的生物质量最多,协调产量构成因素,提高了夏玉米的产量。经过 3 年的周年轮作,试验结果表现稳定。张德伟等^[11]研究显示,小麦播种前深松或者深翻到次年玉米季,玉米秸秆经 8 个月的分解能改善土壤耕层、增加土壤含水量、降低土壤容重和坚实度,有利于玉米根系发育,促进矿物质的吸收,进而影响夏玉米的生育期。张丽华等^[12]研究显示,小麦播种前秸秆深翻还田和秸秆覆盖深松还田处理 2 年的处理比对照玉米产量分别增加 8.36% 和 14.35%。郭良海等^[13]指出,夏玉米播种前再次旋耕,小麦秸秆导致耕层土壤松软、空隙过大,不利于玉米的播种出苗,因此玉米苗期长势比较弱。李景等^[14]研究显示,长期免耕和深松提高了土壤团聚体颗粒态有机碳及全氮含量,夏玉米播种前旋耕等翻动土壤的耕作模式对于土壤耕层结构具有破

坏作用。

综上所述,小麦季深松或深翻与玉米季灭茬或直播的周年耕作模式,尤其小麦季深翻与玉米季灭茬的周年耕作模式在黄淮海一年两熟区可显著提高夏玉米产量,为基于机械化的新型耕作制度改革提供科学依据,有望带动德州市粮食大面积均衡增产,助力德州市吨半粮生产能力建设^[15]。

参考文献

- [1] 曹玉军,姚凡云,王丹,等.不同栽培技术因子对雨养春玉米产量与氮素效率差异的影响[J].中国农业科学,2020,53(15):3036-3047.
- [2] 张向前,杨文飞,徐云姬.中国主要耕作方式对旱地土壤结构及养分和微生态环境影响的研究综述[J].生态环境学报,2019,28(12):2464-2472.
- [3] 赵影星,宋彤,陈源泉,等.华北平原麦-玉米轮作的土壤氮磷钾分布及淋洗研究[J].中国农业大学学报,2022,27(2):1-14.
- [4] 关劫兮,陈素英,邵立威,等.华北典型区域土壤耕作方式对土壤特性和作物产量的影响[J].中国生态农业学报,2019,27(11):1663-1672.
- [5] 崔宁波,范月圆,董晋.玉米秸秆覆盖还田保护性耕作技术在东北地区的应用与发展路径[J].玉米科学,2021,29(6):112-117,126.
- [6] 蒋飞,李印峰,郝福庭,等.不同耕作措施对夏玉米生长及产量的影响[J].山东农业科学,2021,53(9):33-37.
- [7] 刘洋,孙占祥,白伟,等.不同耕法对土壤含水量、玉米生长发育及产量的影响[J].辽宁农业科学,2011(2):10-14.

(下转第 45 页)

然因素的综合影响^[12-14]。各田块内速效养分如水解氮处于三级水平之上;有效磷达到二级水平;速效钾基本处于一、二级范围内;且差异不显著。速效养分能够较灵敏地反映土壤氮、磷、钾素动态和供应水平^[15-16],且含量稳定,莼菜生长和产量未出现显著差异且保持稳定,说明田内速效养分能满足莼菜生长所需。该研究还发现莼菜田内速效钾含量略高于水稻田^[13],而莼菜田为多年长期淹水状态,淹水时间长于水稻田,再次印证了长期淹水环境有利于钾元素通过“向下淋溶”效应而富集在土壤中的这一结论^[13-14]。全量养分如全氮含量超过相关标准,且出现显著或者极显著差异,但还处于三级水平之上;有机质含量和底质含水量相对于其他田块间达极显著或者显著水平,基本都处于一、二级范围以内。导致上述结果的原因可能是土壤中难溶解的有机氮的差异致使全氮含量出现显著差异,小气候和小环境以及独特的当地土壤母质导致有机质含量差异;由于莼菜田实行的是活泉水流动灌溉,各类速效养分交换频繁,导致差异不显著,但又能够满足莼菜生长所需。说明有机质虽然出现了显著差异,但仍能够持续为莼菜田提供足够的速效养分,是速效养分供应的基石,且对于莼菜减少对重金属的吸收,保持天然无公害的特性具有重要作用^[15]。

各田块间 pH 无显著差异,且处于 5.5~8.5 正常值范围内,有利于维持土壤养分的有效性、微生物的生物量和多样性以及土壤酶活性^[16-19]。同时 DDT 和六六六含量极低,未出现显著差异且远低于国家相关标准,说明周边小环境生态条件优越、农事活动较少、保护措施严格。

各田块水土农化指标与莼菜生长和产量之间无显著相关性。说明莼菜田内水土营养元素和优良生态环境完全能够满足莼菜生长需要,莼菜长势和产量已经达到稳定的平衡状态。鉴于莼菜对环境条件要求较高,对水土中各种农化因子含量变化极为敏感,因此,可以考虑在人工控制条件下调节某些因子,以探索对莼菜生长和产量产生显著影响的“临界浓度”,构建更高的水土养分平衡状态,从而实现产量提升^[20]。

由于莼菜是国家一级濒危植物,对水土质量和生态环境要求极高,水土中的农化因子含量对其生长发育、产量以及

品质都有全方位的影响。该试验结果提供了当前莼菜田中水土的部分化学性质,为保护这一珍稀植物资源,进一步促进莼菜产业可持续发展,有必要对利川莼菜田水土农化因子含量等化学因素的变化持续监测和研究,为确立莼菜的最佳生长条件和研发标准化高产栽培管理技术,以及制定保护策略奠定基础。

参考文献

- [1] 于丹.中国北部莼菜(*Brasenia schreberi*) 地史分布与生态适应[J].植物研究,1991,11(4):99-105.
- [2] 倪学明,於炳,周远捷,等.睡莲科的属间关系研究[J].武汉植物学研究,1994,12(4):311-320.
- [3] 于永福.中国野生植物保护工作的里程碑:《国家重点保护野生植物名录(第一批)》出台[J].植物杂志,1999(5):3.
- [4] 刘虹,黄文,黄凌丽,等.莼菜资源及其营养成分研究进展[J].植物学研究,2019,8(1):7-14.
- [5] 张帆,杨朝东,王晓娥,等.莼菜活体黏液毛结构及离子通透性生理研究[J].长江大学学报(自然科学版),2020,17(3):85-90.
- [6] 董翔,刘虹,马梦雪,等.利川莼菜种质资源原环境保护区的莼菜群落特征[J].生物资源,2018,40(3):252-256.
- [7] 孙志国,张敏,程东来,等.国家地理标志产品利川莼菜的保护现状分析[J].长江蔬菜,2010(6):1-4.
- [8] 廖志文,巩细民,胡承孝,等.湖北省不同区域水稻土的养分状况[J].华中农业大学学报(自然科学版),2007,26(2):186-190.
- [9] 王伟妮,鲁剑巍,鲁明星,等.水土土壤肥力现状及变化规律分析:以湖北省为例[J].土壤学报,2012,49(2):319-330.
- [10] 王苗苗,吴宜钟,吴亚胜,等.莼菜优质高产种植技术[J].现代农业科技,2018(1):64-65.
- [11] 刘蔺琼,罗西,胡美华,等.西湖莼菜优质高产栽培技术[J].长江蔬菜,2019(16):38-40.
- [12] 王淑英,胡克林,路苹,等.北京平谷区土壤有效磷的空间变异特征及其环境风险评价[J].中国农业科学,2009,42(4):1290-1298.
- [13] 王胜佳,陈义,吴春艳,等.施用不同肥料对稻田作物产量与土壤肥力的长期影响[J].浙江农业学报,2004,16(6):372-376.
- [14] 刘灿华,袁天佑,闫军营,等.减氮配施腐植酸对耕层土壤理化性质的影响[J].中国土壤与肥料,2020(5):77-83.
- [15] 鲁洪娟,周德林,叶文玲,等.生物有机肥在土壤改良和重金属污染修复中的研究进展[J].环境污染与防治,2019,41(11):1378-1383.
- [16] 唐琨,朱伟文,周文新,等.土壤 pH 对植物生长发育影响的研究进展[J].作物研究,2013,27(2):207-212.
- [17] 郑先坤,冯秀娟,陈哲,等.离子型稀土矿开采环境问题及废弃地修复治理研究进展[J].应用化工,2019,48(3):681-684.
- [18] 王昆昆,廖世鹏,任涛,等.连续秸秆还田对油菜水稻轮作土壤磷素有效性及作物磷素利用效率的影响[J].中国农业科学,2020,53(1):94-104.
- [19] 李峰,周方亮,黄雅楠,等.减施化肥下紫云英和秸秆还田对土壤养分及活性有机碳的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(1):67-75.
- [20] 龚汉雨,宋雪扬,邓楚洪,等.重金属离子含量对利川莼菜生长的影响[J].生物资源,2018,40(1):83-91.
- [1] 及养分吸收的影响[J].江苏农业科学,2021,49(20):113-119.
- [2] 张丽华,徐晨,于江,等.半湿润区秸秆还田对土壤水分、温度及玉米产量的影响[J].水土保持学报,2021,35(4):299-306.
- [3] 郭良海,高建胜,郭智慧,等.播种方式对夏玉米农艺性状及产量的影响[J].安徽农业科学,2018,46(17):59-61.
- [4] 李景,吴会军,武雪萍,等.长期免耕和深松提高了土壤团聚体颗粒态有机碳及全氮含量[J].中国农业科学,2021,54(2):334-344.
- [5] 徐萍,杨俊杰,冯佐龙,等.华北平原小麦新型耕作施肥播种方式增产增效研究[J].中国生态农业学报,2022,30(5):831-841.

(上接第 35 页)

- [8] 吕巨智,范继征,谢小东,等.不同耕作方式对玉米生长发育、产量及品质的影响[J].山东农业科学,2021,53(7):34-38.
- [9] 殷文,郭瑶,范虹,等.西北干旱灌区不同地膜覆盖利用方式对玉米水分利用的影响[J].中国农业科学,2021,54(22):4750-4760.
- [10] TOLIVER D K, LARSON J A, ROBERTS R K, et al. Effects of no-till on yields as influenced by crop and environmental factors[J]. Agronomy journal, 2012, 104(2): 530-541.
- [11] 张德伟,蒋雨洲,刘春梅,等.秋翻结合秸秆还田对土壤性状、玉米生长