

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2021.01039

## 内蒙古平原灌区“春麦冬播”种植效应及品种适应性

董玉新<sup>1,2</sup> 韦炳奇<sup>1</sup> 吴 强<sup>1</sup> 张永平<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> 内蒙古农业大学农学院, 内蒙古呼和浩特 010018; <sup>2</sup> 呼伦贝尔学院农林学院, 内蒙古呼伦贝尔 021008

**摘要:** 针对内蒙古春播小麦生育期短、干热风、高温逼熟等因素制约产量提高, 且收获后光温资源极大浪费的现状, 以及试种冬小麦发现的冬季冻害、春季干旱或“倒春寒”影响返青率及前茬限制等问题, 本研究以“春麦冬播”种植模式为切入点, 采用不同春化类型小麦品种, 通过连续2年的田间试验, 系统研究了不同小麦品种越冬出苗、叶片生理、根系性状及产量形成的差异, 以期筛选适宜冬播的小麦品种。结果表明: 供试的全部春性小麦品种及部分冬性品种可以以种子形式完成春化作用, 第2年正常抽穗成熟。冬播条件下春季田间出苗率较春播小麦有所降低, 但根系发达, 对低温及干旱的适应性强。通过系统聚类筛选出适宜内蒙古平原灌区冬播的3个小麦品种, 包括春性品种永良4号、冬性品种宁冬11号和半冬性品种河农7106, 其共同特征为越冬出苗率高、抗逆性强、根系发达、产量表现较高, 其中永良4号产量可达到与春播相同的水平。

**关键词:** 春麦冬播; 品种; 产量; 内蒙古平原灌区

## Cropping effect and variety adaptability of winter-seeded spring wheat in Inner Mongolia Plain irrigation area

DONG Yu-Xin<sup>1,2</sup>, WEI Bing-Qi<sup>1</sup>, WU Qiang<sup>1</sup>, and ZHANG Yong-Ping<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup> Agricultural College, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, Inner Mongolia, China; <sup>2</sup> College of Agricultural and Forestry, Hulunbuir University, Hulunbeir 021008, Inner Mongolia, China

**Abstract:** Growing spring wheat in Inner Mongolia is challenging because of the short growing period, dry-hot winds, and heat-forced maturity. There are also problems with growing winter wheat varieties, such as frost damage, spring droughts, or “late spring cold”. These factors have restricted efforts to increase yields. In order to cope with these challenges, this study adopted a “winter-seeded spring wheat” planting model for growing wheat in Inner Mongolia and investigated wheat varieties with different vernalization requirements through two consecutive field trials. The effects of different varieties on seed germination and seedling emergence, growth, leaf physiological, root traits, and yield formation were analyzed. The results indicated that the spring varieties and some winter varieties of the tested wheat varieties were overwintered as seed and passed the vernalization stage, and matured normally in the following year. Under winter sowing conditions, the spring field germination rate of the tested wheat varieties was lower than that of spring sowing wheat, but the root system developed, and the adaptability to low temperature and drought was stronger. Three wheat varieties suitable for winter-sowing in the Inner Mongolia plain irrigation area were screened out by systematic clustering, including the spring variety Yongliang 4, winter cultivar Ningdong 11 and semi-winter cultivar He-nong 7106. Their common characteristics were higher overwintering emergence rate, stronger stress resistance, relatively well-developed root system and higher yield performance, among which, Yongliang 4 could reach the same level as spring-seeded.

**Keywords:** winter-seeded spring wheat; variety; yield; Inner Mongolia plain irrigation area

内蒙古自治区是我国最大的春小麦主产区, 小麦播种面积和总产量约占全国春小麦的1/3以上<sup>[1]</sup>。

内蒙古春小麦生产受出苗期长、分蘖期短、穗分化时间短、灌浆时间短及干热风、高温逼熟等因素的

本研究由国家自然科学基金项目(31560365)资助。

The work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31560365).

\* 通信作者(Corresponding author): 张永平, E-mail: imauzyp@163.com

第一作者联系方式: E-mail: imaudyx@sina.com

Received (收稿日期): 2020-05-03; Accepted (接受日期): 2020-10-14; Published online (网络出版日期): 2020-11-20.

URL: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20201120.1438.006.html>

制约, 产量长期处于中低产水平<sup>[2]</sup>。同时, 该地区春播小麦收获后有长达 50 d 以上的无霜期不能利用, 光温资源极大浪费, 也限制了粮食总产量的进一步提高。相对而言, 种植冬小麦有较长的生育期能够积累比春麦较多的光合产物, 幼穗分化期长, 分蘖成穗率高, 穗粒较多, 成熟早, 避免了干热风高温逼熟危害, 粒重较高, 具有较大的增产潜力<sup>[3]</sup>。大量研究表明, 改春播为冬播可以充分利用我国北方“两季不足, 一季有余”地区的自然资源, 稳定小麦面积, 提高单产, 改善品质; 同时可提高土地利用率, 增加复种指数等<sup>[2-5]</sup>。冬小麦栽培实践业已证明, 该地区冬小麦适宜播期在 9 月中旬<sup>[2,6-7]</sup>, 但此阶段主要大田作物玉米和向日葵尚未正常成熟及收获, 加之冬麦播前还需整地过程。因此, 冬小麦适期播种已不现实, 只能推迟。实践证明, 过晚播种易造成冬前苗弱, 不能安全越冬及返青率低<sup>[7]</sup>, 加之缺乏抗寒品种<sup>[6]</sup>等原因致使内蒙古冬小麦未得到大面积推广。为此, 20 世纪 50 年代, 国内外传统春小麦种植地区曾出现过“春麦冬播”的生产实践并表现出一定的优越性<sup>[8]</sup>。内蒙古平原灌区“春麦冬播”是指将传统的小麦春播改为秋末冬初播种, 翌春出苗的种植模式, 在生产上称为“田间寄籽”, 既可采用冬性小麦品种, 也可用于春性小麦种植<sup>[9]</sup>。大量实践证明“春麦冬播”表现出不同程度增产效应, 其原因主要有: 发育提前, 生长健壮, 有利于逃避和抵抗病虫害; 幼穗分化早, 分化时间长, 分蘖能力强, 奠定了穗大、粒多、粒重的基础; 扎根早, 根系发达, 能较多的利用土壤水分, 减轻干旱威胁; 冬播后经过低温胁迫诱导, 可增强抗寒性, 有效降低早春冻害影响<sup>[10,19-23]</sup>。当然, 冬播小麦安全越冬也存在较多的限制的因素, 如品种、播种期是否适宜, 播种量、播种深度以及越冬期间的土壤温度、水分条件等<sup>[10-11]</sup>。

冬播小麦种子以“寄籽”形式越冬的过程中, 易受低温侵害, 进而影响第 2 年田间出苗率, 最终导致产量下降。因此, 耐寒宜冬播小麦品种的鉴定筛

选及其高产栽培研究对于推广“春麦冬播”种植模式, 稳步提高小麦播种面积和保证国家粮食安全具有重要意义。目前, 国内外关于冬小麦晚播方面的研究已有较多报道<sup>[12-14]</sup>, 而对我国传统春麦区“春麦冬播”的研究尚不多见, 虽然上世纪出现过“春麦冬播”的生产实践, 但正式报道较少。本研究通过广泛收集北方麦区冬、春性小麦品种, 在前期研究确定的“春麦冬播”适宜播种期(11月中上旬)基础上<sup>[23]</sup>, 开展 2 年冬、春播试验, 比较分析不同小麦品种种子萌发出苗、叶片生理、根系性状和产量形成的差异, 旨在筛选适宜“春麦冬播”的小麦品种, 为内蒙古平原灌区大面积推广“春麦冬播”提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2014—2016 年在内蒙古自治区呼和浩特市内蒙古农业大学教学农场( $40^{\circ}81'N$ ,  $111^{\circ}70'E$ )进行。呼和浩特市地处内蒙古自治区中西部, 属于温带大陆性气候, 海拔 1050 m, 年平均气温 6.7 , 无霜期 124 d, 年均降水量为 434.9 mm, 年均蒸发量 1696 mm。试验地 0~20 cm 土层土壤基础肥力见表 1。2014/2015 年度和 2015/2016 年度小麦生长期降雨量分别为 157 mm 和 204.2 mm, 降水量分布和气温变化见图 1。

### 1.2 试验设计

田间试验采用裂区设计, 播种期为主区, 设冬播和春播 2 个水平, 冬播时期为立冬前后(2014 年 11 月 08 日和 2015 年 11 月 10 日), 春播时期为 3 月中下旬(2015 年 3 月 18 日和 2016 年 3 月 20 日); 品种为副区, 2014/2015 年度采用 13 个供试小麦品种, 2015/2016 年度采用 10 个供试小麦品种(名称与来源见表 2)。试验设 3 次重复, 每小区面积为 8  $m^2$ 。播种方式为人工开沟撒播, 行距 20 cm, 播种量为 375  $kg\text{hm}^{-2}$ , 播种同时施用磷酸二铵 300  $kg\text{hm}^{-2}$ 。全生育期灌水 4 次, 随拔节水追施尿素 375  $kg\text{hm}^{-2}$ 。其他田间管理同常规春小麦栽培。

表 1 试验地 0~20 cm 土层土壤基础肥力

Table 1 Initial soil properties along the root zone profile of 0~20 cm layer

年份 Year	pH	有机质 Organic matter (%)	碱解氮 Available N (mg kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Available K (mg kg <sup>-1</sup> )
2014/2015	7.61	2.06	36.39	23.02	123.47
2015/2016	7.73	2.01	37.98	21.64	118.06

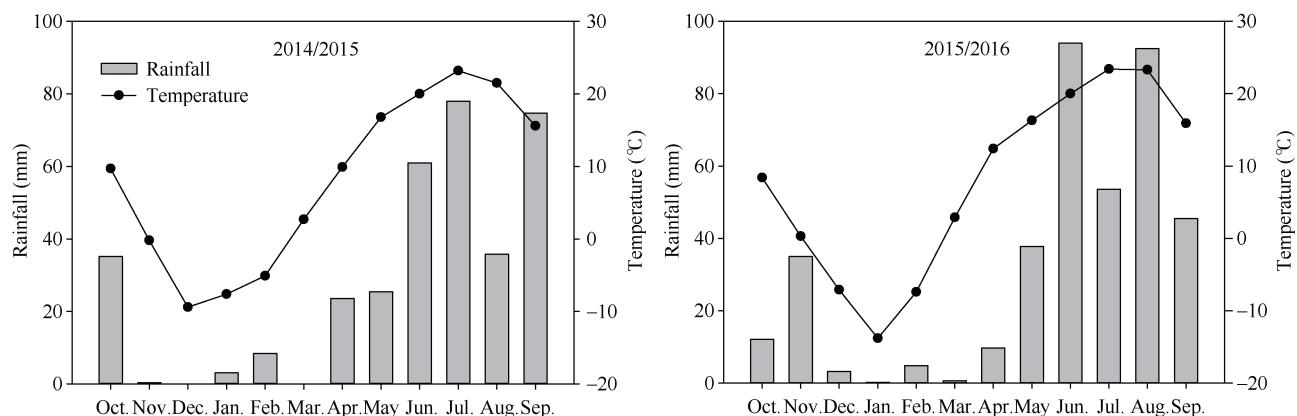


图1 2个试验年度的气温和降水量分布变化

Fig. 1 Temperature and rainfall of the two years in the experiment

表2 供试小麦品种的名称及来源

Table 2 Name and origin of tested wheat varieties

年份 Year	品种 Variety	春化类型 Vernalization type	来源 Origin
2014/2015	巴麦 12 号 Bamai 12	春性 Springness	巴彦淖尔市农牧业科学院 Bayannaoer Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences
	巴麦 13 号 Bamai 13	春性 Springness	巴彦淖尔市农牧业科学院 Bayannaoer Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences
	农麦 2 号 Nongmai 2	春性 Springness	内蒙古自治区农牧业科学院 Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences
	永良 4 号 Yongliang 4	春性 Springness	宁夏永宁县小麦育种繁殖所 Wheat Breeding and Reproduction Institute of Yongning County
	周麦 26 号 Zhoumai 26	半冬性 Semi-winteriness	周口市农业科学院 Zhoukou Academy of Agricultural Sciences
	鲁原 502 Luyuan 502	半冬性 Semi-winteriness	山东省农业科学院 Shandong Academy of Agricultural Sciences
	河农 7106 Henong 7106	半冬性 Semi-winteriness	河北农业大学 Hebei Agricultural University
	宁冬 11 号 Ningdong 11	冬性 Winteriness	宁夏农林科学院 Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences
	中麦 0818 Zhongmai 0818	冬性 Winteriness	中国农业科学院 Chinese Academy of Agricultural Sciences
	中麦 1062 Zhongmai 1062	冬性 Winteriness	中国农业科学院 Chinese Academy of Agricultural Sciences
	石优 20 号 Shiyou 20	冬性 Winteriness	石家庄市农林科学研究院 Shijiazhuang Academy of Agricultural and Forestry Sciences
	农大 212 Nongda 212	冬性 Winteriness	中国农业大学 China Agricultural University
	济麦 22 号 Jimai 22	冬性 Winteriness	山东省农业科学院 Shandong Academy of Agricultural Sciences
2015/2016	巴麦 12 号 Bamai 12	春性 Springness	巴彦淖尔市农牧业科学院 Bayannaoer Academy of Agricultural and Animal Sciences
	巴麦 13 号 Bamai 13	春性 Springness	巴彦淖尔市农牧业科学院 Bayannaoer Academy of Agricultural and Animal Sciences

(续表 2)

年份 Year	品种 Variety	春化类型 Vernalization type	来源 Origin
2015/2016	农麦 2 号 Nongmai 2	春性 Springness	内蒙古自治区农牧业科学院 Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences
	农麦 201 Nongmai 201	春性 Springness	内蒙古自治区农牧业科学院 Inner Mongolia Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences
	永良 4 号 Yongliang 4	春性 Springness	宁夏永宁县小麦育种繁殖所 Wheat Breeding and Reproduction Institute of Yongning County
	周麦 26 号 Zhoumai 26	半冬性 Semi-winteriness	周口市农业科学院 Zhoudou Academy of Agricultural Sciences
	鲁原 502 Luyuan 502	半冬性 Semi-winteriness	山东省农业科学院 Shandong Academy of Agricultural Sciences
	河农 7106 Henong 7106	半冬性 Semi-winteriness	河北农业大学 Hebei Agricultural University
	宁冬 11 号 Ningdong 11	冬性 Winteriness	宁夏农林科学院 Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences
	新冬 42 号 Xindong 42	冬性 Winteriness	伊犁州农业科学研究所 Yili Institute of Agricultural Sciences

### 1.3 测试项目与方法

1.3.1 田间出苗率调查 出苗后在每个小区随机选取  $1.0\text{ m} \times 3$  样段, 计数行内出苗数, 根据播种量、千粒重和行距计算  $1.0\text{ m}$  内实际播种种子数, 计算出苗率。

$$\text{出苗率}(\%) = \frac{\text{出苗数}}{\text{播种种子数}} \times 100$$

1.3.2 叶片生理指标测定 于小麦三叶期在各处理小区选取代表性植株 10 株, 摘取所有绿叶, 切碎后混合, 采用氮蓝四唑(NBT)显色法<sup>[15]</sup>测定超氧化物歧化酶(SOD)活性; 采用愈创木酚法<sup>[15]</sup>测定过氧化物酶(POD)活性; 采用硫代巴比妥酸法<sup>[16]</sup>测定叶片丙二醛(MDA)含量; 采用茚三酮法<sup>[16]</sup>测定叶片游离脯氨酸含量; 采用考马斯亮蓝法<sup>[15]</sup>测定叶片可溶性蛋白含量; 采用蒽酮法<sup>[15]</sup>测定可溶性糖含量。

1.3.3 根系取样及测定 于小麦开花期对各处理用根钻取样, 根钻直径为  $10\text{ cm}$ 。取样时, 采用 BOLINDER 等<sup>[17]</sup>的方法取样, 即取样位置为行间、行上和与行相切 3 处。每隔  $20\text{ cm}$  取 1 次, 取根深度  $80\text{ cm}$ 。取回的根系样品过  $3\text{ mm}$  筛后, 将根从土样中用镊子将根挑出, 用清水冲洗后采用 Epson Perfection V700 PHOTO 扫描仪扫描根样, 再利用 WinRHIZO Pro 软件分析得出根系相关参数。

1.3.4 考种与测产 小麦成熟时, 在各小区选取典型  $1\text{ m}^2 \times 2$  样点, 单独收获, 晒干脱粒测产。同时在各处理小区选取具有代表性的  $50\text{ cm}$  典型样段带

回室内, 进行考种。考种指标包括穗长、穗宽、有效小穗数、不孕小穗数等穗部性状及穗数、穗粒数、千粒重等产量构成因素。

### 1.4 数据处理

试验数据均采用 Microsoft Excel 2007、SAS 9.0、R 3.5.3、SigmaPlot 12.5 软件进行统计分析及作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 冬播条件下不同春化类型小麦品种出苗率差异

不同小麦品种春季田间出苗率存在显著差异(表 3 和表 4)。2014/2015 年度, 中麦 0818、农大 212 和济麦 22 号虽未在冬前出苗, 但种子均存在不同程度吸胀情况, 越冬期间基本冻死。其余各小麦品种均以“寄籽”形式越冬, 其中永良 4 号、宁冬 11 号及河农 7106 第 2 年春季出苗率近 50%。2015/2016 年度, 各小麦品种均以“寄籽”形式越冬, 且第 2 年春季出苗率均在 50% 以上, 其中永良 4 号、河农 7106、宁冬 11 号第 2 年春季田间出苗率可达 65% 以上。综合 2 年结果来看, 春播处理小麦的出苗率显著高于冬播处理, 以“寄籽”形式越冬的小麦第 2 年春季出苗率总体偏低, 可能原因是越冬期间低温冻害导致部分种子活性下降所致。冬播条件下, 永良 4 号、河农 7106 和宁冬 11 号与其他小麦品种相比较, 第 2 年春季田间出苗率较高。

表3 不同播期下小麦品种田间出苗率的差异(2014/2015)

Table 3 Emergence rates of different wheat varieties under two sowing dates in 2014 and 2015

品种 Variety	出苗率 Emergence rate (%)	
	冬播 Winter sowing	春播 Spring sowing
周麦 26 号 Zhoumai 26	44.2±0.3 c	86.5±0.4 de
宁冬 11 号 Ningdong 11	48.0±0.3 b	85.9±0.4 f
中麦 0818 Zhongmai 0818	0.6±0.2 j	87.1±0.2 c
巴麦 13 号 Bamai 13	37.2±0.4 g	86.5±0.5 de
农麦 2 号 Nongmai 2	42.5±0.4 d	85.6±0.4 fg
巴麦 12 号 Bamai 12	41.5±0.6 e	86.1±0.3 ef
中麦 1062 Zhongmai 1062	25.6±0.4 h	84.9±0.5 h
石优 20 号 Shiyou 20	15.3±0.4 i	88.4±0.4 a
农大 212 Nongda 212	0.5±0.3 j	85.3±0.4 gh
济麦 22 号 Jimai 22	0.7±0.4 j	87.6±0.4 b
河农 7106 Henong 7106	47.5±0.5 b	86.1±0.3 ef
永良 4 号 Yongliang 4	49.1±0.4 a	86.7±0.3 cd
鲁原 502 Luyuan 502	38.2±0.4 f	85.2±0.4 gh

同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。

Values followed by different lowercase letters are significant differences at  $P < 0.05$ .

表4 不同播期下小麦品种田间出苗率的差异(2015/2016)

Table 4 Emergence rates of different wheat varieties under two sowing dates in 2015 and 2016

品种 Variety	出苗率 Emergence rate (%)	
	冬播 Winter sowing	春播 Spring sowing
周麦 26 号 Zhoumai 26	61.9±1.0 d	87.4±0.5 ab
宁冬 11 号 Ningdong 11	67.2±0.4 b	86.8±0.5 cd
农麦 2 号 Nongmai 2	59.5±0.6 e	86.5±0.5 de
农麦 201 Nongmai 201	63.2±0.6 c	87.3±0.4 abc
巴麦 12 号 Bamai 12	58.1±0.4 f	87.0±0.2 bcd
巴麦 13 号 Bamai 13	60.2±0.6 e	86.7±0.5 d
新冬 42 号 Xindong 42	63.7±0.7 c	85.9±0.6 f
河农 7106 Henong 7106	66.5±0.6 b	87.0±0.4 bcd
永良 4 号 Yongliang 4	68.7±0.6 a	87.6±0.4 a
鲁原 502 Luyuan 502	53.5±0.8 f	86.1±0.7 ef

同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。

Values followed by different lowercase letters are significant differences at  $P < 0.05$ .

## 2.2 冬播条件下不同春化类型小麦品种产量及其构成因素的差异

方差分析表明, 播期、品种及其互作效应对小麦籽粒产量及其构成因素影响均达到极显著水平(表 5 和表 6)。2014/2015 年度, 冬播永良 4 号产量最高达  $5216 \text{ kg hm}^{-2}$ , 显著高于其他品种, 其次为宁冬 11 号、河农 7106、周麦 26 号等; 石优 20 冬播条件下产量最低, 仅有  $1349 \text{ kg hm}^{-2}$ 。中麦 0818、中麦 1062、石优 20、农大 212 和济麦 22 春播后均未抽穗。

2015/2016 年度, 冬播永良 4 号产量最高为  $6623 \text{ kg hm}^{-2}$ , 与其春播产量差异不显著, 但显著高于其他品种, 其他依次为宁冬 11 号、河农 7106、新冬 42 号等; 农麦 201 表现最低, 仅为  $4769 \text{ kg hm}^{-2}$ 。新冬 42 号春播未抽穗。从产量构成因素来看, 2 年试验结果表现一致, 与春播处理相比, “寄籽”小麦虽然穗数有所减少, 但穗粒数和千粒重则显著增加。穗数主要与田间出苗率及品种特性有关, 冬播田间出苗率的降低直接导致有效穗数的减少。相关分析表明, 不同品种小麦穗数与产量呈极显著正相关,

表 5 不同播期下小麦品种产量及其构成因素的差异(2014/2015)

Table 5 Wheat yield and yield component for different varieties under two sowing dates in 2014 and 2015

播期 Sowing date	品种 Variety	穗数 Spikes ( $\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$ )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grain weigh (g)	籽粒产量 Yield ( $\text{kg hm}^{-2}$ )
冬播 Winter sowing	周麦 26 号 Zhoumai 26	452.6 $\pm$ 10.3 f	35.3 $\pm$ 0.6 f	44.50 $\pm$ 0.43 a	4977 $\pm$ 135 d
	宁冬 11 号 Ningdong 11	500.4 $\pm$ 8.9 d	38.3 $\pm$ 0.5 b	40.31 $\pm$ 0.30 gh	5408 $\pm$ 186 b
	中麦 0818 Zhongmai 0818	—	—	—	—
	巴麦 13 号 Bamai 13	463.2 $\pm$ 6.2 f	33.6 $\pm$ 0.4 h	41.86 $\pm$ 0.16 d	4560 $\pm$ 191 efg
	农麦 2 号 Nongmai 2	477.7 $\pm$ 6.1 e	35.6 $\pm$ 0.4 f	40.01 $\pm$ 0.26 h	4763 $\pm$ 194 e
	巴麦 12 号 Bamai 12	454.9 $\pm$ 5.8 f	33.7 $\pm$ 0.6 gh	42.16 $\pm$ 0.30 d	4518 $\pm$ 182 fg
	中麦 1062 Zhongmai 1062	363.6 $\pm$ 7.5 i	38.0 $\pm$ 0.4 bc	41.13 $\pm$ 0.46 f	3978 $\pm$ 199 hi
	石优 20 号 Shiyou 20	197.7 $\pm$ 7.6 k	38.9 $\pm$ 0.7 a	39.10 $\pm$ 0.38 i	2105 $\pm$ 90 k
	农大 212 Nongda 212	—	—	—	—
	济麦 22 号 Jimai 22	—	—	—	—
	河农 7106 Henong 7106	511.1 $\pm$ 9.3 d	34.1 $\pm$ 0.6 g	43.10 $\pm$ 0.44 c	5258 $\pm$ 176 c
	永良 4 号 Yongliang 4	526.6 $\pm$ 7.9 c	35.3 $\pm$ 0.3 f	43.88 $\pm$ 0.42 b	5710 $\pm$ 250 a
	鲁原 502 Luyuan 502	418.8 $\pm$ 8.1 g	36.9 $\pm$ 0.7 d	43.09 $\pm$ 0.37 c	4661 $\pm$ 116 ef
春播 Spring sowing	周麦 26 号 Zhoumai 26	403.2 $\pm$ 8.2 h	33.9 $\pm$ 0.6 gh	43.17 $\pm$ 0.24 c	4130 $\pm$ 157 h
	宁冬 11 号 Ningdong 11	243.8 $\pm$ 5.8 j	37.7 $\pm$ 0.5 c	37.05 $\pm$ 0.26 l	2384 $\pm$ 77 j
	中麦 0818 Zhongmai 0818	—	—	—	—
	巴麦 13 号 Bamai 13	600.7 $\pm$ 11.4 b	32.7 $\pm$ 0.5 i	40.41 $\pm$ 0.26 g	5556 $\pm$ 257 b
	农麦 2 号 Nongmai 2	604.4 $\pm$ 9.4 b	32.5 $\pm$ 0.3 i	37.73 $\pm$ 0.10 k	5188 $\pm$ 167 c
	巴麦 12 号 Bamai 12	592.9 $\pm$ 8.0 b	31.9 $\pm$ 0.5 j	41.54 $\pm$ 0.39 e	5500 $\pm$ 301 b
	中麦 1062 Zhongmai 1062	—	—	—	—
	石优 20 号 Shiyou 20	—	—	—	—
	农大 212 Nongda 212	—	—	—	—
	济麦 22 号 Jimai 22	—	—	—	—
	河农 7106 Henong 7106	460.8 $\pm$ 3.1 f	35.2 $\pm$ 0.4 f	38.73 $\pm$ 0.17 j	4397 $\pm$ 242 a
	永良 4 号 Yongliang 4	639.9 $\pm$ 12.0 a	31.8 $\pm$ 0.4 j	42.06 $\pm$ 0.43 d	5991 $\pm$ 316 a
	鲁原 502 Luyuan 502	370.7 $\pm$ 8.0 i	36.1 $\pm$ 0.3 e	40.58 $\pm$ 0.33 g	3801 $\pm$ 194 i
相关系数 r		0.9522**	-0.6494	0.4756	
方差分析 ANOVA	品种 Variety (V)	502.06**	82.18**	189.81**	51.65**
	播期 Sowing date (D)	33.37**	98.49**	568.24**	38.70**
	品种×播期 V×D	427.74**	13.97**	20.65**	62.39**

同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ ); \*\*表示处理间差异达极显著水平( $P < 0.01$ ); r 为各产量构成因素与籽粒产量的简单相关系数。

Values followed by different lowercase letters are significant differences at  $P < 0.05$ ; \*\* means correlation coefficient reach the significant level at  $P < 0.01$ ; r means correlation coefficient of index and yield.

表 6 不同播期下小麦品种产量及其构成因素的差异(2015/2016)

Table 6 Wheat yield and yield component for different varieties under two sowing dates in 2015 and 2016

播期 Sowing date	品种 Variety	穗数 Spikes ( $\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$ )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grain weigh (g)	籽粒产量 Yield ( $\text{kg hm}^{-2}$ )
冬播 Winter sowing	周麦 26 号 Zhoumai 26	565.6 $\pm$ 11.4 gh	30.3 $\pm$ 0.4 ef	44.42 $\pm$ 0.47 a	5524 $\pm$ 192 f
	宁冬 11 号 Ningdong 11	625.5 $\pm$ 6.5 e	32.9 $\pm$ 0.5 a	41.08 $\pm$ 0.22 e	6204 $\pm$ 222 cde
	农麦 2 号 Nongmai 2	559.4 $\pm$ 10.9 h	32.8 $\pm$ 0.5 a	39.31 $\pm$ 0.40 g	5341 $\pm$ 256 fg
	农麦 201 Nongmai 201	555.1 $\pm$ 9.9 h	28.7 $\pm$ 0.6 h	38.83 $\pm$ 0.21 h	4796 $\pm$ 197 hi
	巴麦 12 号 Bamai 12	531.3 $\pm$ 7.6 ij	31.3 $\pm$ 0.6 cd	42.11 $\pm$ 0.21 d	5108 $\pm$ 307 gh
	巴麦 13 号 Bamai 13	541.7 $\pm$ 8.0 i	30.2 $\pm$ 0.6 ef	41.21 $\pm$ 0.15 e	4827 $\pm$ 169 hi

(续表 6)

播期 Sowing date	品种 Variety	穗数 Spikes ( $\times 10^4 \text{ hm}^{-2}$ )	穗粒数 Grains per spike	千粒重 1000-grain weigh (g)	籽粒产量 Yield ( $\text{kg hm}^{-2}$ )
冬播 Winter sowing	新冬 42 号 Xindong 42	582.1 $\pm$ 8.4 f	32.3 $\pm$ 0.4 ab	40.88 $\pm$ 0.54 e	5550 $\pm$ 175 f
	河农 7106 Henong 7106	639.2 $\pm$ 8.6 d	29.9 $\pm$ 0.4 fg	43.13 $\pm$ 0.42 c	6030 $\pm$ 114 de
	永良 4 号 Yongliang 4	658.8 $\pm$ 7.3 c	31.6 $\pm$ 0.6 bc	43.58 $\pm$ 0.37 b	6623 $\pm$ 171 ab
	鲁原 502 Luyuan 502	523.5 $\pm$ 10.2 j	32.6 $\pm$ 0.5 a	42.73 $\pm$ 0.30 c	5387 $\pm$ 237 fg
春播 Spring sowing	周麦 26 号 Zhoumai 26	504.1 $\pm$ 5.0 k	29.3 $\pm$ 0.7 gh	42.77 $\pm$ 0.20 c	4718 $\pm$ 180 i
	宁冬 11 号 Ningdong 11	304.5 $\pm$ 9.6 m	32.7 $\pm$ 0.5 a	37.05 $\pm$ 0.37 j	2745 $\pm$ 159 k
	农麦 2 号 Nongmai 2	693.2 $\pm$ 6.6 ab	31.5 $\pm$ 0.6 bc	37.35 $\pm$ 0.16 j	5945 $\pm$ 261 e
	农麦 201 Nongmai 201	687.1 $\pm$ 11.1 ab	29.1 $\pm$ 0.3 gh	37.89 $\pm$ 0.15 i	5591 $\pm$ 206 f
	巴麦 12 号 Bamai 12	679.6 $\pm$ 9.5 b	30.6 $\pm$ 0.4 def	41.09 $\pm$ 0.36 e	6308 $\pm$ 183 cd
	巴麦 13 号 Bamai 13	688.7 $\pm$ 2.9 ab	30.8 $\pm$ 0.5 cde	40.38 $\pm$ 0.19 f	6369 $\pm$ 215 bc
	新冬 42 号 Xindong 42	—	—	—	—
	河农 7106 Henong 7106	576.3 $\pm$ 4.5 fg	30.2 $\pm$ 0.5 ef	38.69 $\pm$ 0.41 h	4983 $\pm$ 187 hi
	永良 4 号 Yongliang 4	700.6 $\pm$ 12.9 a	31.5 $\pm$ 0.5 bc	41.98 $\pm$ 0.31 d	6843 $\pm$ 354 a
	鲁原 502 Luyuan 502	463.8 $\pm$ 3.5 l	29.8 $\pm$ 0.4 fg	40.17 $\pm$ 0.43 f	4356 $\pm$ 248 j
相关系数 r		0.9328**	0.0730	0.4214	
方差分析 ANOVA	品种 Variety (V)	397.12**	33.40**	210.96**	49.46**
	播期 Sowing date (D)	21.51**	14.52**	609.36**	13.38**
	品种×播期 V×D	493.77**	6.47**	25.62**	73.48**

同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ ); \*\*表示处理间差异达极显著水平( $P < 0.01$ ); r 为各产量构成因素与籽粒产量的简单相关系数。

Values followed by different lowercase letters are significant by different at  $P < 0.05$ ; \*\* means correlation coefficient reach the significant level at  $P < 0.01$ ; r means correlation coefficient of index and yield.

穗粒数、千粒重与产量的相关未达显著水平。说明, 决定冬播小麦产量高低的关键因素是有效穗数。品种间比较, 春性品种永良 4 号、冬性品种宁冬 11 号、半冬性品种河农 7106 在冬播条件下产量性状优于其他品种。

### 2.3 冬播条件下不同春化类型小麦叶片生理指标差异

冬播条件下, 不同小麦品种苗期叶片生理指标存在显著差异(表 7 和表 8)。2014/2015 年度, 冬播小麦叶片 MDA 含量最低的是永良 4 号, 低于均值 33.7%; 含量最高的是农大 212。叶片脯氨酸含量排序前三的品种为永良 4 号 > 宁冬 11 号 > 河农 7106; 济麦 22 号叶片脯氨酸含量最低, 低于均值 27.9%。叶片可溶性蛋白含量最高和最低的品种分别为宁冬 11 号和石优 20 号, 分别较均值增加了 26.2% 和降低了 24.7%。叶片可溶性糖含量排序前三的品种依次为永良 4 号、宁冬 11 号和鲁原 502, 分别高于均值 18.0%、14.2% 和 11.0%。叶片 SOD 和 POD 活性最大的品种均为宁冬 11 号, 较均值分别增加了 22.8% 和 25.7%。2015/2016 年度, 冬播小麦叶片 MDA 含

量最低的是永良 4 号, 低于均值 24.8%; 农麦 201 丙二醛含量最高。叶片游离脯氨酸含量和可溶性糖含量最高的品种均为永良 4 号, 分别高于均值 17.1% 和 14.5%; 含量最低的品种均为农麦 201。叶片可溶性蛋白含量排序前三的品种为宁冬 11 号 > 河农 7106 > 永良 4 号, 分别高于均值 16.0%、12.9% 和 10.3%; 叶片可溶性蛋白含量最低的品种为农麦 2 号, 低于均值 12.5%。叶片 SOD 和 POD 活性最强的品种均为宁冬 11 号, 较均值分别增加了 19.1% 和 20.5%。

### 2.4 冬播条件下不同春化类型小麦品种根系性状差异

各小麦品种 0~80 cm 土层内根系性状见表 9。品种间比较, 冬播各小麦品种根长密度、根表面积密度、根体积密度和根重密度均存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。其中, 永良 4 号、宁冬 11 号和河农 7106 在根长密度、根表面积密度、根体积密度和根重密度的表现均优于其他小麦品种, 排在供试小麦品种的前 3 位。

永良 4 号、宁冬 11 号和河农 7106 根长分别高于供试品种均值 10.5%、7.7% 和 3.6%, 根表面积分

表 7 冬播条件下不同小麦品种苗期叶片生理指标差异(2014/2015)

Table 7 Leaf physiological indexes of different wheat varieties under winter-seeded in 2014 and 2015

品种 Variety	丙二醛含量 MDA content (μmol g <sup>-1</sup> FW)	游离脯氨酸含量 Pro content (μg g <sup>-1</sup> FW)	可溶性蛋白含量 Soluble protein content (mg g <sup>-1</sup> FW)	可溶性糖含量 Soluble sugar content (mg g <sup>-1</sup> FW)	SOD 活性 SOD activity (U g <sup>-1</sup> FW)	POD 活性 POD activity (U g <sup>-1</sup> FW min <sup>-1</sup> )
周麦 26 号 Zhoumai 26	6.57 de	138.33 b	12.88 cd	54.46 c	227.79 c	256.86 cd
宁冬 11 号 Ningdong 11	5.22 fg	167.36 a	16.02 a	60.51 a	271.97 a	316.04 a
中麦 0818 Zhongmai 0818	8.58 ab	149.72 b	11.06 e	45.11 f	197.23 e	251.31 cd
巴麦 13 号 Bamai 13	7.01 cd	122.43 cd	14.72 b	53.41 cd	202.72 de	263.63 bc
农麦 2 号 Nongmai 2	6.30 e	140.23 b	12.09 d	50.99 de	238.78 bc	241.01 de
巴麦 12 号 Bamai 12	6.31 e	133.72 bc	13.28 c	48.67 e	261.02 a	232.07 e
中麦 1062 Zhongmai 1062	8.46 ab	112.87 de	12.20 d	50.13 e	223.23 cd	244.49 de
石优 20 号 Shiyou 20	8.09 b	135.10 bc	9.55 f	48.87 e	186.39 ef	213.38 f
农大 212 Nongda 212	9.00 a	107.95 de	10.12 f	50.63 e	188.10 ef	230.65 e
济麦 22 号 Jimai 22	8.87 a	99.28 e	9.92 f	46.06 f	171.38 f	196.62 g
河农 7106 Henong 7106	5.73 f	164.63 a	15.60 a	58.59 b	254.78 ab	277.13 b
永良 4 号 Yongliang 4	4.71 g	175.12 a	14.66 b	62.52 a	265.06 a	303.64 a
鲁原 502 Luyuan 502	7.51 c	142.83 b	12.93 cd	58.80 b	189.82 ef	242.44 de
平均值 Mean	7.10	137.66	12.69	52.98	221.41	251.48

同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。

Values followed by different lowercase letters are significant differences at  $P < 0.05$ .

表 8 冬播条件下不同小麦品种苗期叶片生理指标差异(2015/2016)

Table 8 Leaf physiological indexes of different wheat varieties under winter-seeded in 2015 and 2016

品种 Variety	丙二醛含量 MDA content (μmol g <sup>-1</sup> FW)	游离脯氨酸含量 Pro content (μg g <sup>-1</sup> FW)	可溶性蛋白含量 Soluble protein content (mg g <sup>-1</sup> FW)	可溶性糖含量 Soluble sugar content (mg g <sup>-1</sup> FW)	SOD 活性 SOD activity (U g <sup>-1</sup> FW)	POD 活性 POD activity (U g <sup>-1</sup> FW min <sup>-1</sup> )
周麦 26 号 Zhoumai 26	6.57 c	145.41 c	13.27 d	55.00 c	223.23 c	249.43 d
宁冬 11 号 Ningdong 11	5.77 d	158.90 b	16.50 a	61.12 b	266.53 a	309.20 a
农麦 2 号 Nongmai 2	7.42 b	138.23 d	12.45 e	51.50 d	234.00 c	253.42 d
农麦 201 Nongmai 201	7.86 a	124.30 e	13.35 d	46.06 f	213.06 d	224.39 ef
巴麦 12 号 Bamai 12	7.52 b	133.72 d	13.68 d	50.16 d	190.80 e	220.04 f
巴麦 13 号 Bamai 13	7.56 b	126.43 e	13.16 d	47.94 e	198.67 e	226.27 ef
新冬 42 号 Xindong 42	6.73 c	148.37 c	14.82 c	56.36 c	216.36 d	272.64 c
河农 7106 Henong 7106	5.79 d	156.39 b	16.07 ab	60.78 b	249.68 b	279.90 c
永良 4 号 Yongliang 4	5.09 e	168.36 a	15.69 b	63.14 a	259.76 ab	296.68 b
鲁原 502 Luyuan 502	7.35 b	137.68 d	13.32 d	59.39 b	186.02 e	234.86 e
平均值 Mean	6.77	143.78	14.23	55.15	223.81	256.68

同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ )。

Values followed by different lowercase letters are significant differences at  $P < 0.05$ .

别较均值高 16.1%、14.0% 和 8.3%，根体积分别较均值高 10.0%、7.9% 和 5.3%，根干重分别较均值高 15.5%、9.0% 和 8.5%。0~80 cm 土层中冬播小麦根长密度与春播对照之间差异达到显著水平，而根表面积密度、根体积密度和根重密度二者差异均未达到显著水平。说明冬播小麦在基本苗低于春播的前提下，虽然总根长略有降低，但单株小麦根系更加发达，抗逆性强，对养分和水分具有较强的吸收能力。

## 2.5 内蒙古平原灌区适宜冬播小麦品种筛选

2014/2015 年度，采用系统聚类中的最短距离

法对冬播条件下 13 个小麦品种的春季出苗率、籽粒产量和叶片相关生理指标进行了综合聚类，结果见表 10。根据聚类分析结果，13 个小麦品种在距离为 2.13 处被划分为 3 个类群。I 类有 6 个品种，占供试材料的 46.2%，该类小麦品种出苗率、叶片 MDA 含量、脯氨酸含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、SOD 活性、POD 活性及籽粒产量均处于中等水平；II 类有 3 个品种，占供试材料的 23.1%，该类小麦品种出苗率、叶片生理指标及籽粒产量在供试品种中均表现最好；III 类有 4 个品种，占供试材料的

表9 不同播期下小麦品种开花期根系性状差异(2015/2016)

Table 9 The root traits of different wheat varieties under two sowing dates in 2015 and 2016

品种 Variety	根长密度 RLD (cm cm <sup>-3</sup> )		根表面积密度 RSAD (cm <sup>2</sup> cm <sup>-3</sup> )		根体积密度 RVD (mm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		根重密度 RWD (mg cm <sup>-3</sup> )	
	WS	SS	WS	SS	WS	SS	WS	SS
周麦 26 号 Zhoumai 26	1.36 d	1.36 d	0.23 bc	0.22 c	1.95 d	1.88 d	0.52 c	0.50 c
宁冬 11 号 Ningdong 11	1.44 b	1.38 c	0.26 a	0.18 e	2.04 b	1.65 f	0.55 b	0.43 g
农麦 2 号 Nongmai 2	1.25 h	1.30 e	0.20 de	0.21 c	1.73 h	1.83 e	0.45 g	0.48 e
农麦 201 Nongmai 201	1.30 f	1.30 e	0.22 c	0.21 c	1.89 e	1.88 d	0.49 e	0.49 cd
巴麦 12 号 Bamai 12	1.27 g	1.34 d	0.21 cd	0.22 c	1.78 g	1.91 c	0.47 f	0.49 de
巴麦 13 号 Bamai 13	1.31 f	1.38 c	0.23 bc	0.23 b	1.86 f	1.96 b	0.48 e	0.52 b
新冬 42 号 Xindong 42	1.34 e	—	0.23 bc	—	1.94 d	—	0.50 d	—
河农 7106 Henong 7106	1.38 c	1.41 b	0.24 ab	0.22 c	1.99 c	1.83 e	0.54 b	0.50 c
永良 4 号 Yongliang 4	1.47 a	1.47 a	0.26 a	0.25 a	2.08 a	2.10 a	0.58 a	0.57 a
鲁原 502 Luyuan 502	1.23 i	1.23 f	0.19 e	0.20 d	1.65 i	1.67 f	0.44 h	0.45 f
平均值 Mean	1.33	1.35	0.22	0.22	1.89	1.86	0.50	0.49
Wilcox.test	*		ns		ns		ns	

RLD: 0~80 cm 土层平均根长密度; RSAD: 0~80 cm 土层平均根表面积密度; RVD: 0~80 cm 土层平均根体积密度; RWD: 0~80 cm 土层平均根重密度; “WS” 表示冬播; “SS” 表示春播; 冬播同一列中不同小写字母表示差异达到显著水平( $P < 0.05$ ); \*表示处理间差异达到显著水平( $P < 0.05$ ); “ns” 表示处理间差异未达到显著水平( $P > 0.05$ )。

RLD: 0~80 cm soil average root length density; RSAD: 0~80 cm soil average root surface density; RVD: 0~80 cm average root volume density; RWD: 0~80 cm soil average root weight density; WS: winter sowing; SS: spring sowing. Values followed by different lowercase letters are significantly different at  $P < 0.05$ ; “\*” indicates significant differences at  $P < 0.05$ ; “ns” means not significant differences at  $P > 0.05$ .

30.7%, 该类小麦品种出苗率低于 5%, 叶片生理指标及籽粒产量在供试材料中均表现最差。2015/2016 年度, 采用系统聚类中的最短距离法对冬播条件下 10 个小麦品种的春季出苗率、籽粒产量、叶片相关生理指标及开花期根长密度、根表面积密度、根体积密度和根重密度进行了综合聚类, 结果见表 11。根据聚类分析结果, 10 个小麦品种在距离为 2.7 处被划分为 3 个类群。I 类有 2 个品种, 该类小麦品种出苗率、叶片生理指标、根系指标及籽粒产量均处于

中等水平; II 类有 3 个品种, 该类小麦品种出苗率、叶片生理指标、根系指标及籽粒产量在供试品种中均表现最好; III 类有 5 个品种, 该类小麦品种出苗率、叶片生理指标、根系指标及籽粒产量在供试材料中均表现最差。综合分析表明, 春性品种永良 4 号、冬性品种宁冬 11 号和半冬性品种河农 7106 冬播后的春季田间出苗率较高, 小麦植株抗逆能力强、根系发达, 穗粒产量高, 具有较强的冬播应变能力, 是内蒙古平原灌区“春麦冬播”种植模式的理想品种。

表10 冬播条件下 13 个小麦品种综合聚类分析结果

Table 10 Clustering results of physiological indexes and yield of 13 wheat varieties under winter sowing

年份 Year	类别 Class	品种数 Number of varieties	比例 Proportion (%)	代表性品种 Representative varieties
2014/2015	I	6	46.2	周麦 26 号, 农麦 2 号, 巴麦 12 号, 巴麦 13 号, 鲁原 502, 中麦 1062 Zhoumai 26, Nongmai 2, Bamai 12, Bamai 13, Luyuan 502, Zhongmai 1062
	II	3	23.1	宁冬 11 号, 永良 4 号, 河农 7106 Ningdong 11, Yongliang 4, Henong 7106
	III	4	30.7	中麦 0818, 石优 20 号, 农大 212, 济麦 22 号 Zhongmai 0818, Shiyou 20, Nongda 212, Jimai 22
2015/2016	I	2	20.0	周麦 26 号, 新冬 42 号 Zhoumai 26, Xindong 42
	II	3	30.0	宁冬 11 号, 河农 7106, 永良 4 号 Ningdong 11, Henong 7106, Yongliang 4
	III	5	50.0	农麦 2 号, 农麦 201, 巴麦 12 号, 巴麦 13 号, 鲁原 502 Nongmai 2, Nongmai 201, Bamai 12, Bamai 13, Luyuan 502

表 11 冬播条件下 13 个小麦品种出苗率、产量及叶片生理指标系统聚类分析结果(2014/2015)

Table 11 Systematic clustering results of 13 wheat varieties under winter sowing in 2014 and 2015

类别 Class	出苗率 (%)	丙二醛含量 ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	游离脯氨酸含量		可溶性蛋白含量 ( $\text{mg g}^{-1}$ )		可溶性糖含量 ( $\text{mg g}^{-1}$ )		SOD 活性 ( $\text{U g}^{-1}$ )		POD 活性 ( $\text{U g}^{-1} \text{min}^{-1}$ )		籽粒产量 Yield ( $\text{kg hm}^{-2}$ )
			MDA content ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	Pro content ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Soluble protein content ( $\text{mg g}^{-1}$ )	Soluble sugar content ( $\text{mg g}^{-1}$ )	SOD activity ( $\text{U g}^{-1}$ )	POD activity ( $\text{U g}^{-1}$ )					
I	38.2	7.03	131.74	13.02	52.74	223.89	246.75	4576					
II	48.2	5.22	169.04	15.43	60.54	263.94	298.94	5459					
III	4.6	8.64	123.01	10.16	47.67	185.78	224.49	526					

SOD: 超氧化物歧化酶; POD: 过氧化物酶。

SOD: superoxide dismutase; POD: peroxidase.

表 12 冬播条件下 10 个小麦品种出苗率、产量、叶片生理指标及根系性状系统聚类分析结果(2015/2016)

Table 12 Systematic clustering results of 10 wheat varieties under winter sowing in 2015 and 2016

类别 Class	出苗率 (%)	丙二醛含量 ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	游离脯氨酸含量		可溶性蛋白含量 ( $\text{mg g}^{-1}$ )		可溶性糖含量 ( $\text{mg g}^{-1}$ )		SOD 活性 ( $\text{U g}^{-1}$ )		POD 活性 ( $\text{U g}^{-1} \text{min}^{-1}$ )		RWD 产量 ( $\text{kg hm}^{-2}$ )
			MDA content ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	Pro content ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )	Soluble protein content ( $\text{mg g}^{-1}$ )	Soluble sugar content ( $\text{mg g}^{-1}$ )	SOD activity ( $\text{U g}^{-1}$ )	POD activity ( $\text{U g}^{-1}$ )	RLD ( $\text{cm cm}^{-3}$ )	RSAD ( $\text{cm}^2 \text{cm}^{-3}$ )	RVD ( $\text{mm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	RSAD ( $\text{mg cm}^{-3}$ )	RWD ( $\text{mg cm}^{-3}$ )
I	62.8	6.65	146.89	14.05	55.68	219.80	261.03	1.35	0.23	1.94	0.51	5537	
II	67.5	5.55	161.22	16.09	61.68	258.66	295.26	1.43	0.24	2.03	0.56	6286	
III	58.9	7.54	132.07	13.19	51.01	204.51	231.80	1.27	0.21	1.78	0.47	5092	

SOD: 超氧化物歧化酶; POD: 过氧化物酶; RLD: 0~80 cm 土层平均根长密度; RSAD: 0~80 cm 土层平均根体积密度; RWD: 0~80 cm 土层平均根重密度。

SOD: superoxide dismutase; POD: peroxidase; RLD: 0~80 cm soil average root length density; RSAD: 0~80 cm soil average root surface density; RWD: 0~80 cm soil average root weight density.

### 3 讨论

作为全国最大的春小麦主产区, 内蒙古春小麦生产已经进入高成本、难增产的时代, 小麦种植模式必须实施战略性转变, “春播”改“冬播”是小麦生产进一步发展的方向。本研究中春性品种永良4号“寄籽”播种可达到与春播相同的产量水平, 这是由于冬播小麦分蘖增多且开花之后干物质积累量超过春播小麦所致<sup>[23]</sup>。从产量构成因素分析, 冬播小麦由于出苗率降低导致穗数有所减少, 但穗粒数和千粒重则显著高于春播小麦, 这与之前的研究相一致<sup>[23]</sup>。根系是小麦的重要器官之一, 在小麦的生长发育、生理功能和物质代谢过程中发挥重要作用, 开花期是小麦的关键生育时期, 也是根系生物量最大的时期<sup>[18]</sup>, 本研究发现在冬播小麦实际基本苗数低于春播小麦的前提下, 虽然根长密度与春播小麦存在显著差异, 但根表面积密度、根体积密度及根重密度与春播小麦均无显著差异, 冬播小麦根系发育更加健壮。从单株根系角度分析, 冬播小麦单株根长、根表面积、根体积和根重均优于春播小麦, 有利于冬播小麦高产的形成, 这与前人的研究相印证<sup>[10]</sup>。

冬播小麦种子以“寄籽”形式越冬及早春萌发出苗的过程中, 易受低温、干旱侵害, 进而影响田间出苗率及后续的形态建成, 最终导致产量下降。加之适宜该地区“寄籽”播种的小麦品种尚未明确, 因此筛选适宜“春麦冬播”的高产优质小麦品种势在必行。小麦播种后低温会导致植株体内丙二醛、脯氨酸、可溶性蛋白等与抗逆性相关的物质含量及酶活性发生改变<sup>[24-26]</sup>, 其变化幅度的大小决定了小麦抗逆性的强弱。开花期是小麦根系生物量最大的时期, 且根系质量、根长、表面积等与水分、氮素吸收速率呈显著正相关, 且根系形态及分布对籽粒产量有直接的影响<sup>[18,27-28]</sup>。冬播后土壤温度尚未完全降至0以下, 同时由于吸水速率和吸水量的差异, 各小麦品种种子依然存在不同程度的吸涨情况, 且吸涨程度越高, 第2年春季田间出苗率越低, 最终影响了产量的高低。因此, 本试验选用冬播小麦春季田间出苗率、苗期叶片抗性相关生理指标、开花期根系性状及经济产量作为评价指标对供试小麦品种进行综合聚类分析。2年结果表明, 冬播条件下永良4号、宁冬11号和河农7106的出苗率、抗逆性、根系性状及籽粒产量均较高, 说明这些品种能够适宜内蒙古地区冬播种植, 可作为“春麦冬播”的理

想小麦品种。从品种类型来看, 春性品种永良4号在冬播条件下出苗率、根系性状、抗性、产量等表现均优于冬性品种宁冬11号和半冬性品种河农7106。有研究指出, 萌动小麦种子经过一定时间的低温春化作用后, 抗寒能力明显增加, 这也许是春性小麦冬播后表现出一定优势的本质所在<sup>[29-30]</sup>。由此可见, 春性小麦和冬性小麦各有所长, 若掌握好播种的适宜时期和春季保苗的关键措施, 则这种“春麦秋种”和“冬麦春长”可在一定程度表现其优良性状<sup>[9]</sup>。

研究发现, 内蒙古平原灌区“春麦冬播”实现高产的突破口是越冬出苗率的限制, 而影响种子越冬成活率的因素有很多, 如播种期、播种深度、播种方式及越冬期间的土壤温度、水分条件等。在前期研究确定的适宜播种期基础上<sup>[23]</sup>, 采用春性品种永良4号, 适当增加播种量, 并采取相应措施调控适宜的土壤墒情, “寄籽”小麦存在进一步提早出苗、提前成熟及增加产量的可能。上述因素都会影响小麦的越冬出苗率及后续的形态建成等, 从而最终决定小麦产量的高低, 这也是我们下一步的重点研究方向。

### 4 结论

冬播小麦翌年春季田间出苗率较春播小麦有所降低, 但分蘖成穗率高、根系发达、抗逆性强。与春播小麦相比, 冬播小麦穗数有所降低, 但穗粒数和千粒重显著增加。通过系统聚类筛选出适宜内蒙古平原灌区“寄籽”播种的3个小麦品种, 包括春性品种永良4号、冬性品种宁冬11号和半冬性品种河农7106, 其共同特征为抗逆性强、春季出苗率高、根系发达、产量表现较高。与传统春播相比, 上述3个小麦品种冬播条件下苗期叶片丙二醛(MDA)、游离脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白含量升高, SOD、POD活性有所增强, 适应越冬期低温及早春干旱逆境的能力增强; 春季田间出苗率可达50%~70%; 单株根长、根表面积、根体积和根干重均高于其他品种; 籽粒产量可达到与春播处理相同的水平。

### References

- [1] 中华人民共和国农业部. 中国农业统计资料. 北京: 中国农业出版社, 2016.  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. China Agricultural Statistics Data. Beijing: China Agriculture Press, 2016 (in Chinese).
- [2] 张建成, 张慧娟, 卫志刚, 张宏旭, 张建英, 张培智. 内蒙古

- 河套地区冬小麦引种试验初报. 内蒙古农业科技, 2010, (1): 41–42.
- Zhang J C, Zhang H J, Wei Z G, Zhang H X, Zhang J Y, Zhang P Z. A Preliminary report on introduction experiment of winter wheat. *Inner Mongolia Agric Sci Tech*, 2010, (1): 41–42 (in Chinese with English abstract).
- [3] 马金虎, 杜守宇, 王凌, 马自清, 王自荣, 杨建功, 杨国龙, 刘学琴, 鲁长才, 吴建龙, 戴国林, 刘建宁, 冠大勇, 丁桂荣, 马少国, 李琴, 宋立忠. 引黄灌区冬麦北移技术研究与示范. 宁夏农林科技, 2003, (4): 27–29.
- Ma J H, Du S Y, Wang L, Ma Z Q, Wang Z R, Yang J G, Yang G L, Liu X Q, Lu C C, Wu J L, Dai G L, Liu J N, Guan D Y, Ding G R, Ma S G, Li Q, Song L Z. Research and demonstration of winter wheat planting in northern region in Yellow River Irrigation Area. *Ningxia J Agric For Sci Tech*, 2003, (4): 27–29 (in Chinese).
- [4] 高志强, 苗果园, 邓志锋. 全球气候变化与冬麦北移研究. 中国农业科技导报, 2004, 6(1): 9–13.
- Gao Z Q, Miao G Y, Deng Z F. A study on winter wheat planting in northern region with global climate change. *J Agric Sci Tech China*, 2004, 6(1): 9–13 (in Chinese).
- [5] 邹立坤, 张建平, 姜青珍, 王贵彦, 赵红梅. 冬小麦北移种植的研究进展. 中国农业气象, 2001, 22(2): 53–57.
- Zou L K, Zhang J P, Jiang Q Z, Wang G Y, Zhao H M. Research progress of winter wheat planting in northern region. *Chin J Agrometeorol*, 2001, 22(1): 53–57 (in Chinese).
- [6] 曲文祥. 内蒙古东部种植冬小麦几个主要问题的探讨. 内蒙古农业科技, 1997, (5): 11–12.
- Qu W X. Discussion on several major problems of planting winter wheat in eastern Inner Mongolia. *Inner Mongolia Agric Sci Tech*, 1997, (5): 11–12 (in Chinese).
- [7] 姜占荣, 贾树顺, 姜红. 冬麦北移地区提高冬小麦越冬存活率的主要措施. 现代农业, 1998, (10): 16–17.
- Jiang Z R, Jia S S, Jiang H. The main measures to increase the overwintering survival rate of winter wheat in northern region. *Mod Agric*, 1998, (10): 16–17 (in Chinese).
- [8] 中国科学院青甘综合考察队土壤、农业分队. 对青甘地区春麦冬播问题的初步探讨. 科学通报, 1960, (19): 586–589.
- Chinese Academy of Sciences Qinggan Comprehensive Inspection Team Soil and Agriculture Unit. Preliminary study on winter-seeded spring wheat in Qinggan region. *Chin Sci Bull*, 1960, (19): 586–589 (in Chinese).
- [9] 曹广才. 不同类型小麦品种田间寄籽的意义. 耕作与栽培, 1987, (6): 58–61.
- Cao G C. The significance of seeded with different vernalization type wheat in the field. *Till Cult*, 1987, (6): 58–61 (in Chinese).
- [10] 李放. 春麦冬播的优越性和田间技术的初步研究. 中国农业科学, 1961, 2(1): 20–23.
- Li F. The research on superiority and field technology of winter-seeded spring wheat. *Sci Agric Sin*, 1961, 2(1): 20–23 (in Chinese).
- [11] 孙凤舞. 春小麦近冬播种问题综述. 东北农学院学报, 1961, (4): 33–39.
- Sun F W. Summary of spring wheat sowing in near winter. *J Northeast Agric Univ*, 1961, (4): 33–39 (in Chinese).
- [12] 李友军, 谷登斌, 韩如岩, 袁宝玉, 马庆华. 晚播小麦高产栽培途径与技术研究. 麦类作物学报, 1997, 17(5): 46–49.
- Li Y J, Gu D B, Han R Y, Yuan B Y, Ma Q H. A study on high-yield cultivation methods and technology of late-sown winter wheat. *J Triticeae Crops*, 1997, 17(5): 46–49 (in Chinese).
- [13] 邹庆炉, 薛香, 梁云娟, 吴玉娥, 茹振钢. 暖冬气候条件下调整小麦播种期的研究. 麦类作物学报, 2002, 22(2): 46–50.
- Gao Q L, Xue X, Liang Y J, Wu Y E, Ru Z G. A Study on regulating sowing time of wheat under the warm winter conditions. *J Triticeae Crops*, 2002, 22(2): 46–50 (in Chinese with English abstract).
- [14] 张耀兰, 曹承富, 李华伟, 乔玉强, 赵竹, 杜世州. 氮肥运筹对晚播冬小麦产量、品质及叶绿素荧光特性的影响. 麦类作物学报, 2013, 33: 965–971.
- Zhang Y L, Cao C F, Li H W, Qiao Y Q, Zhao Z, Du S Z. Effect of nitrogen application on yield, quality and fluorescent characteristic of late-sown winter wheat. *J Triticeae Crops*, 2013, 33: 965–971 (in Chinese with English abstract).
- [15] 高俊凤. 植物生理学实验技术. 西安: 世界图书出版社, 2006.
- Gao F J. Plant Physiology Experiment. Xi'an: World Book Inc, 2006 (in Chinese).
- [16] 张志良. 植物生理学实验指导. 北京: 高等教育出版社, 1990.
- Zhang Z L. Plant Physiology Experiment. Beijing: Higher Education Press, 1990 (in Chinese).
- [17] Bolinder M A, Angers D A, Dubuc J P. Estimating shoot to root ratios and annual carbon inputs in soils for cereal crops. *Agric Ecosyst Environ*, 1997, 63(1): 61–66.
- [18] 马元喜. 小麦的根. 北京: 中国农业出版社, 1999.
- Ma Y X. Wheat Roots. Beijing: China Agricultural Press, 1999 (in Chinese).
- [19] 黄华轩, 容珊, 唐联坤, 叶英春. 青海省春麦冬播增产原因与保苗技术的探讨. 中国农业科学, 1962, 3(10): 39–42.
- Huang H X, Rong S, Tang L K, Ye Y C. The study on reason for yield increase and technology for preserving seedling of winter-seeded spring wheat in Qinghai province. *Sci Agric Sin*, 1962, 3(10): 39–42 (in Chinese).
- [20] 戴振武. 春麦冬播. 农业科学实验, 1981, (1): 8–10.
- Dai Z W. Winter-seeded spring wheat. *Agric Sci Exp*, 1981, (1): 8–10 (in Chinese).
- [21] 王金明, 茜大彬. 春麦冬播高产栽培研究. 见: 西部大开发科教先行与可持续发展——中国科协 2000 年学术年会文集. 北京: 中国科学技术协会, 2000, (6): 906.
- Wang J M, Qian D B. A study on high-yield cultivation of winter-seeded spring wheat. In: Western Development Science and Education First and Sustainable Development—Chinese Association for Science 2000 Annual Academic Proceedings. Beijing: Chinese Association for Science, 2000, (6): 906 (in Chinese).
- [22] Thorup-Kristensen K, Cortasa M S, Loges R. Winter wheat roots grow twice as deep as spring wheat roots, is this important for N uptake and N leaching losses? *Plant Soil*, 2009, 3(22): 101–114.
- [23] Dong Y X, Wei B Q, Wang L X, Zhang Y H, Zhang H Y, Zhang Y P. Performance of winter-seeded spring wheat in Inner Mongolia. *Agronomy*, 2019, 9: 507.
- [24] Hou Y D, Guo Z F, Yi Y, Li H N, Li H G, Chen L J, Ma H, Zhang L, Lin J W, Zhong M. Effect of cold acclimation and exogenous pythohormone abscisic acid treatment on physiological indicators of winterness wheat. *J Plant Sci*, 2010, 5: 125–136.

- [25] 陆至远, 李文莹, 王宏斌, 梁曦彤, 王洪预, 陈勇, 吕小飞, 李秋祝, 崔金虎. 播种后低温持续时间对春玉米苗期生理指标的影响. 东北农业科学, 2016, 41(5): 34–36.  
Lu Z Y, Li W Y, Wang H B, Liang X T, Wang H Y, Chen Y, Lyu X F, Li Q Z, Cui J H. Effect of low temperature duration on physiological indexes of spring maize at seedling stage. *J Northeast Agric Sci*, 2016, 41(5): 34–36 (in Chinese with English abstract).
- [26] 王海媛, 张坤, 段里成, 章起明, 郭瑞鸽. 不同催芽程度播种后低温对中嘉早17成苗率及生长特性的影响. 江西农业学报, 2017, 29(10): 19–23.  
Wang H Y, Zhang K, Duan L C, Zhang Q M, Guo R G. Effects of low temperature after sowing with different degrees of pregermination on seedling-forming rate and seedling growth characteristics of Zhongjiaozao 17. *Acta Agric Jiangxi*, 2017, 29(10): 19–23 (in Chinese with English abstract).
- [27] 李华伟, 司纪升, 徐月, 李升东, 吴建军, 王法宏. 栽培技术优化对冬小麦根系垂直分布及活性的调控. 作物学报, 2015, 41: 1136–1144.  
Li H W, Si J S, Xu Y, Li S D, Wu J J, Wang F H. Regulative effect of optimized cultivation practice to the root vertical distribution and activity in winter wheat. *Acta Agron Sin*, 2015, 41: 1136–1144 (in Chinese with English abstract).
- [28] 薛丽华, 赵连佳, 陈兴武, 雷钧杰, 赛力汗·赛, 乔旭. 不同水氮运筹对滴灌冬小麦根系生长、水分利用及产量的影响. 中国农业大学学报, 2017, 22(9): 21–31.  
Xue L H, Zhao L J, Chen X W, Lei J J, Sai S L H, Qiao X. Effects of different water and nitrogen application patterns on the growth of root and yield of winter wheat. *J China Agric Univ*, 2017, 22(9): 21–31 (in Chinese with English abstract).
- [29] 高志强, 苗果园, 张国红, 梁肖青. 北移冬小麦生长发育及产量构成因素分析. 中国农业科学, 2003, 36: 31–36.  
Gao Z Q, Miao G Y, Zhang G H, Liang X Q. Analysis of growth, development and yield compositions of winter wheat growing in original and northern region. *Sci Agric Sin*, 2003, 36: 31–36 (in Chinese with English abstract).
- [30] Kudrev T G, Tesnov A S. Attempts to diminish the injurious consequences of low winter temperatures by means of vitamins and growth substances. *Biol Plant*, 1965, 7: 13–19.