

## 小麦不同品种的水分利用特性及对灌溉制度的响应

董宝娣<sup>1,2</sup>, 张正斌<sup>1</sup>, 刘孟雨<sup>1\*</sup>, 张依章<sup>3</sup>, 李全起<sup>1</sup>, 石磊<sup>1,2</sup>, 周永田<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 石家庄 050021; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;

3. 日本千叶大学园艺学部, 松户市, 271- 8510, 千叶县, 日本)

**摘要:** 为了研究不同小麦品种的水分利用特性和对灌溉制度的响应, 该文于 2003~ 2004 年在中国科学院栾城农业生态试验站对 19 个抗旱节水性不同小麦品种进行了不同灌溉处理下, 其生长发育特性、产量、耗水量和水分利用效率 (*WUE*) 的比较研究, 结果表明不同小麦品种的水分利用特性有显著差异。不同小麦品种产量相差最大达 44. 86%, 水分利用效率相差可达 42. 18%。根据系统聚类分析, 把 19 个小麦品种分为高产高 *WUE* 型、中产高 *WUE* 型、中产中 *WUE* 型和低产低 *WUE* 型 4 种类型。不同类型的小麦, 对灌溉制度的响应不同。高产高 *WUE* 类型在本试验年灌溉 60 mm, 产量可达到 7415 kg/hm<sup>2</sup>, 水分利用效率可达 15. 91 kg/(mm · hm<sup>2</sup>)。在华北平原适于种植石家庄 8 号等高产高 *WUE* 型小麦, 其在不降低产量和水分利用效率的情况下, 减少灌水 60~ 120 mm, 具有明显的节水增产效益。

**关键词:** 冬小麦品种; 耗水量; 产量; 水分利用效率; 灌溉制度

**中图分类号:** S274. 1; S512. 1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1002-6819(2007)9-0027-07

董宝娣, 张正斌, 刘孟雨, 等. 小麦不同品种的水分利用特性及对灌溉制度的响应[J]. 农业工程学报, 2007, 23(9): 27- 33.

Dong Baodi, Zhang Zhengbin, Liu Mengyu, et al. Water use characteristics of different wheat varieties and their responses to different irrigation schedulings[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(9): 27- 33. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

中国是一个严重缺水的国家, 华北平原是中国最缺水的地区之一, 其农业灌溉面积占全国 42%, 但水资源总量仅占全国水资源总量的 7. 7%, 水资源的短缺成为农业持续发展的重要瓶颈; 另一方面, 水资源利用效率低下, 灌溉水有效利用率仅为 40% 左右<sup>[1-3]</sup>, 约为先进国家的 1/2, 冬小麦生育期进行 3~ 5 次灌溉, 虽然保住了高产, 但水分利用效率维持在 10~ 12 kg/(mm · hm<sup>2</sup>)。而先进国家粮食作物水分利用效率可达 23 kg/(mm · hm<sup>2</sup>)。因此, 提高作物水分利用效率和灌溉水利用率已成为迫切需要解决的问题<sup>[4,5]</sup>。由于水资源的短缺, 华北地区冬小麦的灌溉主要依靠地下水, 超采地下水进行灌溉补水成了确保华北平原农业稳产、增产的关键所在<sup>[6]</sup>, 地下水的超采, 造成地下水位不断下降,

并引发了一系列环境问题。所以, 既要保证地区的粮食安全, 又要维持水资源的持续利用, 唯一的出路在于大力发展节水型农业, 大幅度提高有限水资源利用效率。除了其他节水技术和措施外, 提高植物自身的水分利用效率和抗旱性越来越受到重视, 视为进一步实现节水增产的潜力所在, 也是节水农业中未知数最多的一个研究领域<sup>[7]</sup>。

作物对土壤水分变化的响应是多途径的, 作物可通过御旱、耐旱、避旱等机制来调节水分的吸收利用<sup>[8,9]</sup>。同一作物的不同品种在高效用水方面也存在着较大的生理和遗传差异, 其产量、耗水量、水分利用效率(*water use efficiency, WUE*) 之间存在很大的调节余地<sup>[10-15]</sup>。Zhang 等研究表明, 从 1982~ 2002 年, 品种的更新和各种技术的应用, 使河北省小麦的产量提高了近 50%, 其水分利用效率从 10 kg/(mm · hm<sup>2</sup>) 约增加至 15 kg/(mm · hm<sup>2</sup>), 产量的高低是水分利用效率高低的关键<sup>[16]</sup>。灌溉影响小麦的产量和水分利用效率, 但两者的变化并非简单地直线关系。张喜英, 刘增进, 刘昌明等通过试验研究阐明了小麦的最优灌溉制度<sup>[17-19]</sup>。由于小麦品种的耗水特性和生理特点差异, 以及对灌溉制度的响应差异, 所以如何挖掘和评判不同小麦品种对水分环境的协调适应性仍是生物节水的重要内容。因此, 探讨不同类型小麦的水分利用特性及对灌溉制度的响应, 对缓解太行山山前平原的地下水下降和该区农业的可持续发展有重要意义。

收稿日期: 2006-09-25 修订日期: 2007-07-09

基金项目: 国家 863 计划项目(2006AA100221)和(2006AA100201); 中国科学院项目(KSCX2- YW- N- 042- 01)和(KSCX2- YW- N- 004)

作者简介: 董宝娣(1973- ), 女, 河北新乐人, 博士生, 主要从事生物节水研究。石家庄 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 050021。Email: dongbaodi@ms. sjziam. ac. cn

\*通讯作者: 刘孟雨(1961- ), 男, 河北深泽人, 博士, 研究员, 主要从事作物水分生理生态研究。石家庄 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 050021。

Email: mengyuliu@ms. sjziam. ac. cn

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与田间试验设计

试验于 2003~2004 年在中国科学院栾城农业生态实验站(37°53'N, 114°40'E)进行,该站位于河北山前冲积平原区,光热资源丰富,多年平均降雨量 480.7 mm,但降雨分布不均,小麦季降雨约为 100~150 mm。供试材料是选自北方冬麦区和黄淮冬麦区大面积推广的小麦品种(系)19 个:石家庄 8 号、衡 7228、衡 95 观 26、京 411、临丰 615、西农 9614、陇鉴 294、洛旱 2 号、LP-5-3、04-135、中旱 110、石 4185、西峰 20、晋麦 47、长 134、长 6878、晋麦 53、中麦 326、长 6154;灌水处理采用了平水年灌水模式,具体分 3 种处理,无灌水(T0 处理)、灌 1 水(拔节期, T1 处理)、灌 2 水处理(拔节期、孕穗-抽穗期, T2 处理),每次灌水量 60 mm;小区种植面积 4 m<sup>2</sup>,各小区间有 1 m 保护行。3 次重复,随机排列;株距 5 cm,行距 20 cm,10 月上旬播种,次年 6 月中旬收获。小麦整个生育期内的降雨量为 204 mm,华北平原 1951~2000 年的小麦生育期的平均降雨量为 117.2 mm。因此,2003~2004 年为丰水年<sup>[1]</sup>。

### 1.2 测定项目及方法

土壤含水率,用烘干称重法测定小麦每个生育期内 2.0 m 土体内土壤含水率的数据。分层取土,每 20 cm 一层,根据不同生育期的土壤含水率变化,采用水量平衡算法计算作物的蒸散,也就是作物的耗水量。计算公式如下式所示。

$$TET = P + I + \Delta W - Dr - Gc \quad (1)$$

式中  $TET$ ——作物生育期内的总耗水量,mm; $P$ ——作物生育期内的降雨量,mm; $I$ ——灌溉水量,mm; $\Delta W$ ——土壤水分在一段时间内的变化量,mm; $Dr$ ——地表径流,mm; $Gc$ ——入渗量,mm。由于华北平原土壤类型为褐土类黄土种,质地为壤土,土壤深厚肥沃,蓄水保水能力强。且土壤含水率测量较深,该地区的地下水水位在 30 m 以下,故在试验地区地表径流和深层渗漏很小,可忽略不计<sup>[20]</sup>。

水分利用效率根据下式进行计算

$$WUE = Y/TET \quad (2)$$

式中  $WUE$ ——产量水平的水分利用效率,kg/(mm·hm<sup>2</sup>); $Y$ ——作物产量,kg/hm<sup>2</sup>; $TET$ ——作物生育期的总耗水量,mm。

考种测产:各小区分区收获,脱粒测产,测定千粒重等农艺性状。

试验数据采用 SPSS11.5 软件进行统计分析。方差分析采用随机区组的单因素方差分析;多重比较采用最小显著差数法(LSD);聚类采用系统聚类方法,品种间

的相似性测度采用欧式距离(Euclidean Distance),数据作标准化转换(Standard Transformation)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同小麦品种生长发育、产量及耗水特性的差异分析

华北冬小麦种植区土壤水分条件差异较大,一个品种在不同条件下的综合表现如何,决定于该品种的丰产性、抗旱节水特性,是大范围应用推广的主要依据之一。

#### 2.1.1 生长发育的差异

株高、成熟特性是冬小麦重要的农艺性状。株高影响植株的抗倒伏性及收获指数。较早成熟的品种常常能够避过生长后期的干热风,与品种的抗旱节水性有一定关系。表 1 是 19 个试验品种在 T2 处理条件下株高和成熟期的变化情况。从表 1 可知,不同小麦品种株高差异较大,西峰 20、晋麦 53 和中旱 110 株高都在 110 cm 以上,西峰 20 株高达 116.63 cm,表现为高秆特性。晋麦 47、LP-5-3 及中麦 326 株高在 88.96~96.64 cm,属于中秆型品种,而衡 7228、衡 95 观 26、洛旱 2 号、石 4185、石家庄 8 号等株高只有 80 cm 左右,为矮秆品种,其中洛旱 2 号只有 75.77 cm。品种间株高的差异可达 35.04%。其成熟期相差近 1 周。高秆品种成熟期比较晚,中矮秆的品种成熟期相对比较早。

表 1 不同小麦品种在 T2 灌溉条件下的株高和成熟期的差异分析

Table 1 Analysis of height and ripe date of different wheat varieties in T2 irrigation treatment

序号	品种	株高/cm	成熟期/月-日
1	衡 7228	79.55	06-09
2	衡 95 观 26	78.16	06-10
3	石 4185	78.09	06-09
4	石家庄 8 号	80.88	06-11
5	临丰 615	82.07	06-12
6	晋麦 47	93.96	06-12
7	西农 9614	81.59	06-10
8	陇鉴 294	102.89	06-10
9	洛旱 2 号	75.77	06-09
10	长武 134	87.27	06-10
11	西峰 20	116.63	06-13
12	LP-5-3	88.96	06-12
13	04-135	84.38	06-12
14	长 6154	103.00	06-13
15	长 6878	104.96	06-13
16	晋麦 53	113.11	06-12
17	中麦 326	96.64	06-12
18	中旱 110	113.62	06-14
19	京 411	95.93	06-13

#### 2.1.2 产量及耗水特性的差异

作物的水分利用特性是多种因素在多水平上综合

作用的结果, 作物的抗旱节水性最终要从耗水量、产量和水分利用效率上得以体现, 以耗水量、产量和水分利用效率作为抗旱节水的鉴定指标有应用价值。

从图 1, 2, 3 可知, 不同小麦品种的耗水量、产量和水分利用效率有显著差异。从图 1 可知, 所用试验小麦

品种在 3 种不同灌溉处理下的平均耗水量一般在 420 ~ 470 mm 之间, 差异在 10% 左右。其中耗水量较大的为 04-135、中早 110 平均耗水量分别为 466. 71 mm、466. 4 mm, 耗水量较小的为临丰 615 和洛旱 2 号, 分别为 431. 07 mm 和 423. 09 mm。

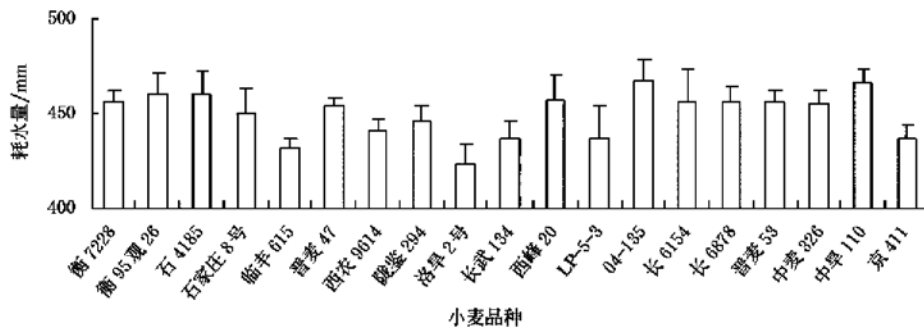


图 1 不同小麦品种的平均耗水量分析

Fig. 1 Analysis of the average water consumption of different wheat varieties

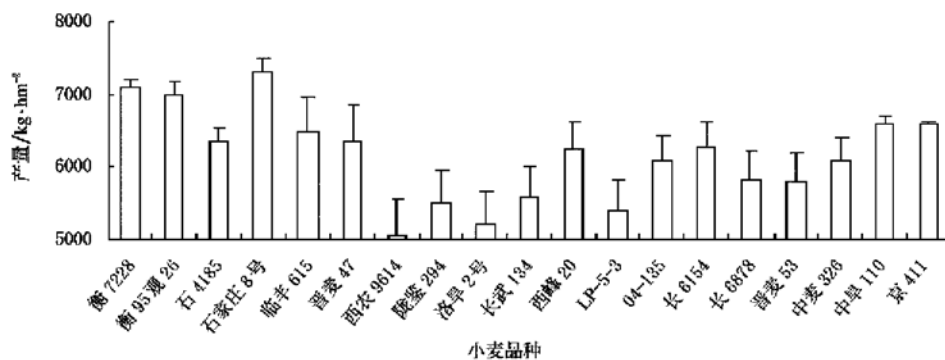


图 2 不同小麦品种的平均产量分析

Fig. 2 Analysis of the average grain yield of different wheat varieties

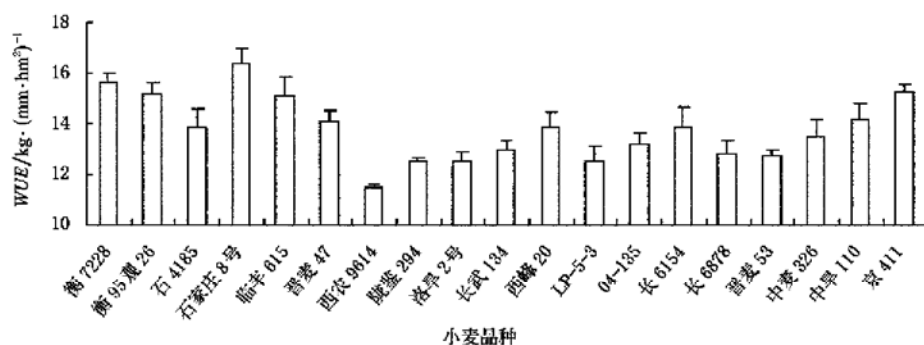


图 3 不同小麦品种平均水分利用效率分析

Fig. 3 Analysis of the average WUE of different wheat varieties

从图 2 可以看出, 不同小麦品种在 3 种灌水处理下的平均产量都在 5049~ 7314 kg/hm<sup>2</sup> 之间, 差异可达 44. 86%, 远远高于耗水量的变化。其中石家庄 8 号的平均产量最高为 7314. 27 kg/hm<sup>2</sup>, 其次是衡 7228 和衡 95 观 26, 分别为 7093. 75 和 6979. 67 kg/hm<sup>2</sup>。产量最低的

是西农 9614, 为 5048. 64 kg/hm<sup>2</sup>。可见在华北地区, 不同小麦品种的产量表现出显著差异。

从图 3 可知, WUE 最高的为石家庄 8 号, 达 16. 39 kg/(mm·hm<sup>2</sup>), 其次是衡 7228、衡 95 观 26、京 411、临丰 615, WUE 分别为 15. 66、15. 20、15. 22 和 15. 09

kg/(mm·hm<sup>2</sup>)。WUE 较低的为西农 9614、陇鉴 294、洛旱 2 号和 LP-5-3。其中西农 9614 的水分利用效率最低, 只有 11.52 kg/(mm·hm<sup>2</sup>), 仅为最高 WUE 的 70.31%。产量与 WUE 相关性分析表明, 两者为正相关 ( $R = 0.96$ ), 产量的高低是水分利用效率高低的关键<sup>[15]</sup>。

## 2.2 不同小麦品种的耗水量、产量和水分利用效率对灌溉次数的响应

很多研究表明, 不同品种对水分亏缺的敏感程度不一样, 对水分亏缺的敏感程度决定了其稳产性。这是品种大面积推广的又一重要决定因素。

从表 2 可知, 不同冬小麦品种整个生育期的总耗水量随着灌水量(灌溉次数)的增加呈增加趋势。但不同小麦品种耗水量的增加幅度有所差异, 在 3 种灌溉处理条件下, 洛旱 2 号的耗水量都是最低的。根据不同灌溉处理下同一品种的耗水量差异显著性分析, 19 个品种大

致可分为以下 4 类: 第一类为中旱 110、晋麦 47、石 4185、洛旱 2 号等 8 个品种在 3 种灌溉处理条件下的耗水量差异都达到显著水平 ( $P < 0.05$ ), 说明随着灌溉量的增加, 该品种的耗水量增加显著, 品种的总耗水由灌溉水提供的较多; 第二类为衡 95 观 26、西农 9614 和 04-135 品种的耗水量 T2 与 T0 和 T1 达显著水平 ( $P < 0.05$ ), T0 与 T1 之间没有差异显著性; 第三类为石家庄 8 号、京 411 和西峰 20, T2 和 T1 灌溉处理之间没有显著性差异, 但都与 T0 处理有显著差异; 第四类为临丰 615、长武 134、LP-5-3 和晋麦 53 的耗水量在 T2 处理显著大于 T0 处理, T1 处理的耗水量与 T2 和 T0 没有显著差异。从以上分析说明, 不同小麦的耗水量受环境影响较大, 有时可能超过遗传生理与蒸腾耗水差异。但从不同品种在同一灌水条件下的耗水量大小来看, 品种间耗水量还是存在一定的遗传差异。这种遗传差异性导致了不同小麦品种对灌溉量的响应也不一样。

表 2 不同小麦品种的耗水量、产量和水分利用效率对不同灌溉制度的响应

Table 2 Responses of water consumption, yield and WUE of different wheat varieties to different irrigation schedulings

品 种	耗水量/mm			产量/kg·hm <sup>-2</sup>			WUE/kg·(mm·hm <sup>2</sup> ) <sup>-1</sup>		
	T0	T1	T2	T0	T1	T2	T0	T1	T2
衡 7228	398.60c	460.58b	508.74a	6667b	7241a	7373a	16.76a	15.72a	14.49b
衡 95 观 26	429.66b	458.32b	493.96a	6698b	7295a	6946ab	15.62a	15.92a	14.07b
石 4185	409.8c	469.96b	501.57a	5758b	6629a	6665a	14.07a	14.14a	13.31a
石家庄 8 号	400.81b	466.29a	481.52a	7150b	7415a	7378ab	17.88a	15.91b	15.36b
临丰 615	399.52b	436.84ab	457.44a	6904a	5894b	6628ab	17.31a	13.47c	14.50b
晋麦 47	405.63c	443.67b	510.23a	5735b	6316ab	7019a	14.13a	14.24a	13.76a
西农 9614	406.56b	427.86b	487.19a	5053a	4954a	5139a	12.43a	11.58ab	10.56b
陇鉴 294	405.51c	440.81b	489.66a	5548a	5613a	5336b	13.69a	12.75a	10.90b
洛旱 2 号	372.63c	425.38b	471.25a	4957a	5465a	5258a	13.38a	12.85a	11.16a
长武 134	398.47b	436.12ab	471.79a	5732a	5685a	5373b	14.39a	13.05b	11.42c
西峰 20	395.7b	460.52a	515.12a	5836c	6633a	6300b	14.77a	14.42a	12.28b
LP-5-3	398.42b	441.49ab	471.68a	5525a	5430ab	5248b	13.87a	12.36ab	11.25b
04-135	422.79b	460.41b	516.93a	6371a	5894a	6055a	15.07a	12.83b	11.72c
长 6154	428.23a	449.76a	491.47a	6465a	6011a	6352a	15.10a	13.37a	13.04a
长 6878	415.97c	456.83b	495.94a	5704b	6392a	5394c	13.72a	14.00a	10.88b
晋麦 53	418.79b	449.63ab	498.16a	5081b	6288a	6069a	12.16b	13.99a	12.20b
中麦 326	401.27c	463.18b	499.88a	5782a	6079a	6420a	14.41a	13.12a	12.84a
中旱 110	419.63c	461.11b	518.46a	6004b	6514b	7258a	14.31a	14.13a	14.00a
京 411	388.05b	437.72a	482.81a	6338b	6540b	6912a	16.40a	14.94ab	14.32b

注: 每行平均数标有完全不同的小写字母为差异显著 ( $P < 0.05$ )。

从同一灌水处理对不同小麦品种的产量影响分析可知, 各品种间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), 石家庄 8 号产量在 T0、T1 和 T2 处理中产量都为最高。在 T0 处理中, 洛旱 2 号产量最低, 在 T1 和 T2 处理中西农 9614 产量最低。从同一小麦品种对灌溉处理的响应可把 19 个小麦品种分为 5 类: 第一类为西农 9614、洛旱 2 号等 5 个小麦品种。这类品种产量较低, 在不同灌溉处理下产量没有显著差异, ( $P < 0.05$ ); 在小麦生育期降雨量

为 200 mm 左右的年份, 水分不是限制产量的主要因素; 该试验年只需要旱作处理即可, 不需进行补充灌溉。灌水量(次数)的增加只是增加了无效蒸发而已。第二类为衡 7228、衡 95 观 26、石家庄 8 号等, 这类小麦在旱作处理 T0 条件下, 产量显著低于 T1 处理 ( $P < 0.05$ ), 并且 T1 和 T2 处理产量没有显著差异, 说明这类品种在降雨量为 200 mm 左右年份, 只需要灌溉 1 水约 60 mm 即可达到较高产量。第三类为中旱 110 和京 411 这

类小麦在灌 2 水约 120 mm 情况下(T2)产量有大幅度提高,而在 T1 处理和旱作处理 T0 下没有明显差异。这类品种需水量大,120 mm 灌溉量才能充分发挥产量潜力。第四类品种为西峰 20 等,这类品种随着灌溉量的增加,产量先增加后减少,主要原因是阴雨天气较多,灌水量较大,倒伏现象严重,灌浆不满,严重影响了产量。第五类品种就是长 6878,3 种水分处理产量虽然有显著差异。但 T1 处理的产量最高,T2 最低,原因需进一步解释。

以上分析说明干旱缺水并不总是降低产量,作物生长期并不总是灌水越多,产量越高。一定生育阶段的适度水分亏缺可能对增产有利。不同小麦品种的最适灌溉次数不同,应根据品种差异制定合理的灌溉制度。

从灌水处理对不同小麦品种的  $WUE$  影响可知,不同小麦品种的  $WUE$  一般随着灌溉量的增加,即耗水量的增加有降低趋势(晋麦 53 和临丰 615 除外)。旱作处理 T0 的  $WUE$  最高,T1 处理的水分利用效率次之,T2 处理的  $WUE$  最低。说明一定程度的水分胁迫可以提高作物的  $WUE$ 。石家庄 8 号的  $WUE$  在 T0、T1 和 T2 处理中都维持较高的水平。西农 9614 的  $WUE$  在 3 种灌溉处理中最低,品种间  $WUE$  差异最大可达 42.18%。从不同品种对灌溉次数的响应可把 19 个品种大致分为 4 类。第一类是在 3 种水分处理下, $WUE$  没有显著变化( $P < 0.05$ )如石 4185、晋麦 47、洛旱 2 号等。说明不同的灌溉处理条件下产量和耗水量的变化趋势和幅度相当, $WUE$  无显著变化;第二类是在 3 种水分处理条件下,随着灌溉量的增加,水分利用效率有降低趋势,但不同小麦品种降低的幅度不同。其中衡 7228、衡 95 观 26 等小麦品种 T2 处理的  $WUE$  显著低于 T1 和 T0 处理,而 T0 和 T1 之间  $WUE$  差异不大;品种石家庄 8 号 T0 处理的  $WUE$  显著高于 T1 和 T2,但 T1 与 T2 处理差异不显著;第三类是不同灌溉处理的  $WUE$  之间都有显著差异。如长武 134 和 04-135;第四类是晋麦 53,旱作处理条件下,由于水分的限制,产量降低,使得  $WUE$  也较低。但在 T2 条件下,后期灌溉使得品种贪青晚熟,产量反而略低于 T1 处理, $WUE$  较低,只有在 T1 处理条件下, $WUE$  才能达到最大。以上分析说明不同小麦品种的  $WUE$  不同。高  $WUE$  往往对应的是低耗水量。因此在严重缺水地区,在追求产量的同时,维持较高的  $WUE$  是制定优化灌溉制度的依据。

### 2.3 不同小麦品种水分利用特性的相关指标的聚类分析

为了系统评价 19 个不同小麦品种的抗旱节水性,根据 19 个小麦品种的产量、耗水量和产量水平的  $WUE$  3 个相关指标进行了系统聚类分析,分析结果见

图 4。图 4 为系统聚类法的柱形图,图中的横向距离为欧式距离。即品种间的相似性测度距离。距离越大,品种间的差异越大。树状结构则表示分类情况。从聚类图可以看出,19 个品种差异的欧式距离为 25 时,全部聚为一类,欧式距离在 3.89 时,19 个品种大致聚为 4 类,第一类:包括:衡 7228,石家庄 8 号,衡 95 观 26 和临丰 615;第二类包括晋麦 47,中旱 110,石 4185,西峰 20,中麦 326,晋麦 53;第三类包括 04-135,长 6154,陇鉴 294,LP-5-3,长武 134,洛旱 2 号,长 6878 和西农 9614。第四类主要包括京 411。

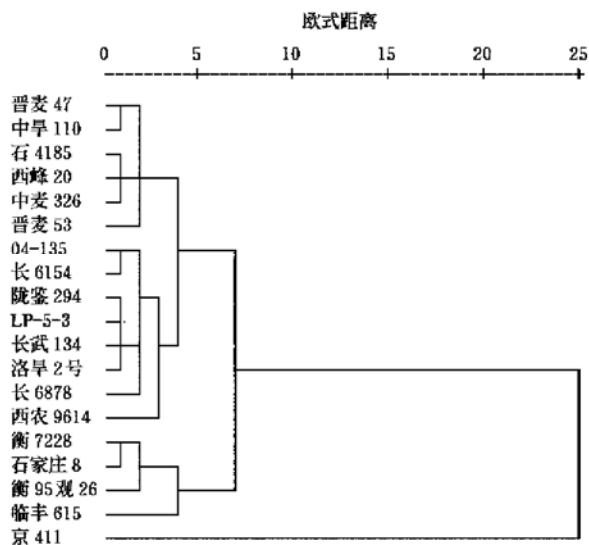


图 4 19 个小麦品种的水分利用效率相关指标的聚类分析

Fig. 4 Diagram of cluster analysis of  $WUE$  traits about different wheat varieties

根据对 19 个小麦品种的平均产量、耗水量和水分利用效率以及对灌溉处理的响应分析,结合聚类分析结果,19 个品种大致可分为 4 种类型。

第 I 类高产高  $WUE$  型:这类品种主要以石家庄 8 号、衡 7228 为主。属于旱肥地和水旱兼用型品种。其主要特点是属于中矮秆品种,株高在 80 cm 左右,不管在 T0、T1 还是 T2 水处理中产量都较高, $WUE$  也较高。耗水量中等。高产是  $WUE$  较高的主要原因,并且 T1 和 T2 水处理的产量差异不显著;T0 处理的  $WUE$  显著高于 T2 处理,属于高产高  $WUE$  型品种。这类品种需要一定的耗水量,就能充分发挥产量潜力,在丰水年型灌溉 60 mm 就可达到较高的产量和  $WUE$ ,适合于种植在有部分降雨但又常处于半干旱状态的干旱半干旱地区,如太行山前平原区。

第 II 类为中产中  $WUE$  型:这类品种以晋麦 47、中旱 110、西峰 20 为主。属于黄淮北部旱地和北方冬麦区抗旱耐瘠薄品种。其主要特点一般株高较高,产量中等,耗水量略高, $WUE$  中等的品种。

第 III 类为中产高  $WUE$  型: 这类品种主要以京 411 为主。主要在北部冬麦区的旱地种植, 特别是以北京地区为主。耗水量低, 产量中等,  $WUE$  较高。这类品种产量中等, 但能高效利用水分。属于中产高  $WUE$  型。主要适合于土地较充裕的缺水地区。

第 IV 类为低产低  $WUE$  型: 这类小麦以西农 9614、洛旱 2 号为主。其主要特点是耗水量较低, 但产量和水分利用效率极显著低于 I, II 类型小麦, 属于低产低  $WUE$  型。由于耗水量较低, 这类品种适合于在纯旱地种植而成为雨养农业的主栽品种, 广种薄收, 如河北的黑龙港地区。

### 3 讨 论

华北平原水资源日益短缺。合理的灌溉制度是作物高产节水的有利保障。如灌水太少, 不能使产量潜力最大发挥。灌水太多或不及时, 不仅水资源造成很大浪费, 产量和品质也会有所下降。因此, 优化的灌溉制度离不开适宜的品种为基础。19 个冬小麦品种在不同灌溉处理下, 成熟期、总的平均耗水量、产量和水分利用效率仍然有显著差异。成熟期相差一周左右, 产量和水分利用效率可分别相差 44.86% 和 42.18%。这主要与不同小麦品种的遗传背景有关<sup>[21, 22]</sup>, 也可能与栽培措施、土壤和气候条件有一定关系。从不同灌溉制度下的品种表现或响应来看, 不同品种随着灌溉量和灌溉次数的增加, 产量和水分利用效率变化趋势有显著不同。并不是灌水量越大, 产量和水分利用效率越高, 而是在一定灌水量范围内, 产量和水分利用效率有一个最佳值。且不同品种获得最佳值时的灌水量和灌水次数不同。有的品种如衡 7228 和衡 95 观 26、石家庄 8 号等在 T0、T1 和 T2 处理条件下, 产量和水分利用效率在 19 个品种中总是处于较高水平。在 T1 处理下, 产量较高, 与 T2 处理没有显著差异, 水分利用效率也较高。有的品种在 T2 处理条件下, 产量达到较高水平, 但水分利用效率 3 种处理却无显著差异, 如晋麦 47。有的品种在 T0、T1 和 T2 处理条件下, 产量和水分利用效率都较低, 如洛旱 2 号和西农 9614。故采用适宜品种, 建立适应不同类型小麦需水特性的合理灌溉制度, 可减少对土壤水分的消耗和灌溉水的需求, 对提高整体水分利用效率是十分有利的。但对一个品种和相应灌溉制度的评价, 需要多年的试验和验证。本文的试验年代较短, 而且不同品种的性状差异和对灌溉制度的响应除了产量、耗水量和水分利用效率几项外, 其他农艺性状如对栽培技术的敏感性、倒伏性、抗冻性、耐高温与干热风能力等也需要今后进一步研究。

### 4 结 论

1) 试验结果表明, 不同冬小麦品种的耗水量、产量和水分利用效率之间存在一定的差异。产量相差最大达 44.86%, 水分利用效率相差可达 42.18%。根据产量、耗水量和水分利用效率等水分利用特性, 用系统聚类法可以把 19 个冬小麦品种分为为高产高  $WUE$  型、中产高  $WUE$  型、中产中  $WUE$  型和低产低  $WUE$  型共 4 种类型。

2) 不同类型的小麦品种对灌溉制度的响应有显著差异。高产高  $WUE$  品种, 如石家庄 8 号, 在拔节期灌溉 60 mm 的情况下, 产量可达到 7415 kg/hm<sup>2</sup>, 水分利用效率可达 15.91 kg/(mm·hm<sup>2</sup>)。而低产低  $WUE$  品种, 即使在拔节期和孕穗-抽穗期灌溉 120 mm 情况下, 产量和水分利用效率仍然较低。因此, 华北平原适于种植高产高  $WUE$  类型小麦, 在丰水年最佳灌水模式为在拔节期灌 60 mm 左右, 就能有效提高产量, 减少灌水量, 提高水分利用效率。

#### [参 考 文 献]

- [1] 王淑芬, 张喜英, 裴 冬. 不同供水条件对冬小麦根系分布、产量及水分利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 27-32.
- [2] 蒋业放. 华北地区缺水分析[J]. 中国水利, 2000, (1): 23-25.
- [3] 陈志恺. 持续干旱与华北水危机[J]. 海河水利, 2002, (1): 6-9.
- [4] 刘昌明, 何希吴. 中国水问题方略[M]. 中国科学出版社, 1996: 45-50.
- [5] 康绍忠, 蔡焕杰. 作物根系分区交替灌溉和调亏灌溉的理论与实践[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 胡春胜, 张喜英, 程一松, 等. 太行山前平原地下水超采动态及原因分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2002, 18(2): 89-92.
- [7] 山 仓, 邓西平, 张岁歧. 生物节水研究现状与展望[J]. 中国科学基金, 2006, 20(2): 66-71.
- [8] Levitt T. Response of plants to environment stress[C]. New York: Academic Press, 1980: 325-358.
- [9] Turner N C. Drought resistance and adaptation to water defects in crop plant[M]. New York: John Wiley and Son, 1979: 343-372.
- [10] 山 仓. 逆境生物学研究如何为发展我国旱地农业服务[J]. 河南农业大学学报(自然科学版), 2003, 33(3): 1-3.
- [11] 张正斌. 作物抗旱节水的生理遗传育种基础[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [12] Rizza F, Badeck F W, Cattivelli L, et al. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to



- rainfed and irrigated conditions[J]. *Crop Sci*, 2004, 44: 2127– 2137.
- [13] 苏 佩, 山 仑. 多变低水环境下高粱高产节水生理基础的研究[J]. *应用与环境生物学报*, 1997, 3(4): 305– 308.
- [14] Shao Hongbo, Liang Zongsuo, Shao Mingan, et al. Investigation on dynamic changes of photosynthetic characteristics of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes during two vegetative-growth stages at water deficit[J]. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2005, 43: 221– 227.
- [15] 董宝娣, 刘孟雨, 张正斌. 不同灌水对冬小麦农艺性状及水分利用效率的影响研究[J]. *中国生态农业学报*, 2004, 12(1): 140– 143.
- [16] Zhang Xiying, Chen Suying, Liu Mengyu, et al. Improved water use efficiency associated with cultivars and agronomic management in the North China Plain[J]. *Agronomy Journal*, 2005, 97(3): 783– 790.
- [17] 张喜英, 裴冬等. 太行山前平原冬小麦夏玉米灌溉指标研究[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(6): 36– 41.
- [18] 刘增进, 李宝萍, 李远华, 等. 冬小麦水分利用效率与最优灌溉制度的研究[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(4): 58– 63.
- [19] 刘昌明, 周长青, 张士锋, 等. 小麦水分生产函数及其效益的研究[J]. *地理研究*, 2005, 24(1): 1– 10.
- [20] 孙宏勇, 刘昌明, 张喜英, 等. 不同行距对冬小麦麦田蒸发、蒸散和产量的影响[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(3): 22– 26.
- [21] 张正斌, 山 仑, 徐 旗. 控制小麦种、属旗叶水分利用效率的染色体背景分析[J]. *遗传学报*, 2000, 27(3): 240– 246.
- [22] Masle J, Gilmore S R, Farquhar G D. The ERECTA gene regulates plant transpiration efficiency in Arabidopsis[J]. *Nature*, 2005, 10: 1– 5.

## Water use characteristics of different wheat varieties and their responses to different irrigation schedulings

Dong Baodi<sup>1,2</sup>, Zhang Zhengbin<sup>1</sup>, Liu Mengyu<sup>1\*</sup>, Zhang Yizhang<sup>3</sup>, Li Quanqi<sup>1</sup>, Shi Lei<sup>1,2</sup>, Zhou Yongtian<sup>1,2</sup>

(1. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetic and Developmental Biology,

Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China;

2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Faculty of Horticulture, Chiba University, Matsudo, 271– 8510, Chiba, Japan)

**Abstract:** In order to study the water use characteristics and the responses of the different winter wheat varieties to different irrigation schedulings, a field experiment was conducted on Luancheng Agri-ecology Station of Chinese Academy of Sciences between 2003 and 2004. Nineteen winter wheat varieties with different drought resistances were selected to study grain yield, water consumption and water use efficiency under three irrigation treatments. The results showed that there were significant differences in yield, water consumption and water use efficiency among the wheat varieties. The *WUE* and grain yield of Shijiazhuang 8 were increased by 42.18% and 44.86% respectively, compared with those of Xinong 9614. Based on the results of cluster analysis, these different varieties can be divided into four types: high yield and high *WUE* type, middle-yield and high *WUE* type, middle-yield and middle *WUE* type and low yield and low *WUE* type. Winter wheat varieties' responses to irrigation scheduling were different among different types. Grain yield and water use efficiency of high yield and high *WUE* type were 7415 kg/hm<sup>2</sup> and 15.91 kg/(mm • hm<sup>2</sup>) respectively under 60 mm irrigation. For example, Shijiazhuang 8 could be suitably planted in North China Plain, leading to a 60~ 120 mm reduction of irrigation without lowering its yield and *WUE*. So Shijiazhuang 8 had remarkable effects of water-saving and yield improvement.

**Key words:** winter wheat varieties; water consumption; yield; water use efficiency; irrigation scheduling