

冬小麦基因型离体叶片失水与 产量结构和植株性状的关系

马瑞昆 贾秀领 蹇家利 刘淑贞 鲁建立

(河北省农林科学院粮油作物研究所, 石家庄 050031)

摘 要 根据 4 年的研究结果, 分析了在冬小麦基因型产量和株高变异较大时, 离体叶片失水速率 (RW L) 与产量构成和植株性状的关系。研究表明, RW L 基因型间存在显著差异。在多数情况下, RW L 与产量和千粒重呈负相关, 与株高呈正相关。研究还发现基因型位次随失水时间的变化, 有低失水, 先快后慢, 先慢后快和高失水 4 种类型。RW L 与产量的负相关随失水时间延长而减弱。基因型差异以失水 2~ 3h 最为明显, 且更具有较大生理意义, 因此提出以离体 2~ 3h 为测定 RW L 的适宜时间。否定了国外多年延用 6~ 9h RW L 作为指标的结论。

关键词 冬小麦 基因型 离体叶片 失水速率 产量结构 植株性状

作物生长发育需要水, 生理过程及构造作物本身仅利用作物吸收水分的很小部分, 绝大部分主要通过作物表面散失到大气中。通常以离体叶片失水速率 (RW L) 来表示小麦离体叶片保水力的高低, RW L 高者保水力低, 低者保水力高。较低 RW L 与作物抗旱性有关^[5, 8]。小麦 RW L 在基因型间存在明显差异^[1~ 3, 5, 8], 但与产量的关系尚难明确^[1, 3, 7, 8], 而且缺乏小麦基因型 RW L 与产量构成因素和植株性状关系的详尽资料。这些关系的明确对 RW L 在小麦节水抗旱上的应用有重要指导意义。因此, 本研究应用产量和株高等性状变异幅度较大且来源广泛的冬小麦基因型来分析 RW L 与产量构成因素及植株性状的关系, 旨在为抗旱育种中高产和低 RW L 的同步选择提供依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验在河北省农林科学院粮油作物研究所试验田进行。应用小麦品种来自国内外, 主要来自北方冬麦区。选用基因型材料时未考虑产量和植株性状等因素, 具有广泛代表性。

1988 年度试验应用 15 个品种。设节水和足水两种供水处理。裂区设计, 灌水为主区, 品种

为副区,重复 2次,副区内品种随机排列。节水区灌 3次水,总供水量(包括降水)388mm;足水区灌 5水共 489mm。于 5月 5日和 17日及 6月 2日 3次取旗叶测定 RW L。取样后将叶片重新饱和,由饱和叶片开始测定不同时段 的 RW L。记载物候期,测定株高、灌浆期长短、产量和产量构成因素及供水效率、少水/足水产量比。1989年度试验应用 12个品种。节水区灌 2水共 236mm,足水区 4水共 377mm。5月 12日测定 RW L。设计、RW L及有关性状测定同上年度,3次重复。1990年度试验应用 38个品种。分旱区和足水区。生育期降水 257mm。5月 8日和 6月 1日两次测定 RW L。设计、RW L及其它性状测定方法同 1988年,3次重复。1995年度试验品种(系)共 116个,不设重复。5月 4日测定 RW L,2次重复。

1 2 测定技术

快速剪取完整的小麦主要功能叶片,每个样本取 3~ 5片叶,迅速装入塑料袋密封蔽光。在温、湿度相对稳定的实验室内称取初始叶重后,将叶片置于纱网上自然失水,隔一定时段称取萎蔫重至失水 24h 不等。最后在 80℃条件下烘干称取干重。1988和 1989两年应用 1/万光电天平称重,测定重新饱和叶片的 RW L。1990年后应用电子天平。1995年电子天平采用微机控制,测定失水 3h 的 RW L。

1 3 数据的整理和统计分析

RW L 由 $RW L = (W - W_i) \times 1000 / DW \times (T_i - T_0)$ 计算。式中, W 为 T₀ 时初始叶重 (g), W_i 为 T_i 时叶重 (g), DW 为干重 (g), T₀ 和 T_i 分别为称取 W 和某 W_i 的时间 (min)。计算结果进行方差分析和多重比较。对各有关参数进行相关分析。

2 结果与分析

2 1 离体叶片失水速率不同失水时段的基因型差异

| 表 1 RW L 的方差分析结果 | | | | | 表 2 RW L 的品种间差异 (mg ° g ⁻¹ ° m in ⁻¹) (1988年) | | | | |
|------------------|-----|--------|-------|-------|--|--------|--------|--------|---------|
| 变异来源 | 自由度 | 平方和 | 均方和 | F 值 | 品 种 | RW L 2 | RW L 6 | RW L 9 | RW L 24 |
| 1988年 | | | | | CA 8226 | 11.43 | 5.62 | 4.60 | 1.86 |
| RW L 2 | 14 | 174.86 | 12.49 | 4.26* | 平 阳 1 | 12.55 | 5.78 | 4.69 | 1.95 |
| RW L 6 | 14 | 13.31 | 0.88 | 1.62 | 保 燕 81019-1 | 11.00 | 5.20 | 4.22 | 1.75 |
| RW L 9 | 14 | 7.57 | 0.54 | 1.71 | 晋 麦 5 | 15.06 | 6.22 | 4.86 | 1.87 |
| RW L 24 | 14 | 1.25 | 0.09 | 3.24* | 冀 麦 7 | 10.59 | 5.38 | 4.54 | 1.95 |
| 1989年 | | | | | 冀 麦 25 | 9.91 | 4.97 | 4.12 | 1.77 |
| RW L 2 | 11 | 74.80 | 6.80 | 3.34* | C 659 | 10.72 | 5.46 | 4.62 | 1.89 |
| RW L 6 | 11 | 18.08 | 1.64 | 4.14* | 鲁 麦 7 | 10.17 | 5.19 | 4.22 | 1.73 |
| RW L 7 | 11 | 15.48 | 1.41 | 3.98* | 石 冬 3 | 12.31 | 6.01 | 5.06 | 2.06 |
| RW L 24 | 11 | 1.33 | 0.12 | 2.60* | 植 4088 | 11.23 | 5.34 | 4.44 | 1.73 |
| 1995年 | | | | | 鲁 麦 10 | 12.15 | 5.59 | 4.50 | 1.79 |
| RW L | 115 | 139.36 | 1.21 | 2.26* | 豫 麦 8 | 10.64 | 5.39 | 4.56 | 1.96 |
| | | | | | 冀 植 5309 | 11.93 | 5.71 | 4.70 | 1.92 |
| | | | | | A 86-13 | 11.57 | 5.75 | 4.79 | 2.00 |
| | | | | | H 86品 12 | 11.60 | 5.80 | 4.84 | 1.98 |

2 1 1 1988年结果 供水间差异不显著,可能与水分胁迫差异较小有关 品种间差异 2h和24h的均达极显著(表 1), 6h和 9h的达弱显著($P=0.1$)。冀麦 25前三个时段均表现最低, 24h居倒 4位;鲁麦 7各次均居倒 2位,属于 RW L 稳定较低品种(表 2) 晋麦 5在 2h和 6h均最高,比冀麦 25高 52%和 25%,差异明显, 9h降至第 2位,比冀麦 25高 18%, 24h降至第 9位,比最低的鲁麦 7高 8%。此品种随失水时间延长,失水相对降低较多。石冬 3在 2h居第 3位, 6h居第 2位, 9h和 24h居第 1位,失水较快,但随时间的变化情况与晋麦 5正相反。

表 3 RWL的供水及品种间差异 ($\text{mg}^{\circ}\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (1989年)

| 品 种 | 节水区 | | | | | 足水区 | | | | 平 均 | | | |
|---------|--------|--------|--------|---------|--|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| | RW L 2 | RW L 6 | RW L 7 | RW L 24 | | RW L 2 | RW L 6 | RW L 7 | RW L 24 | RW L 2 | RW L 6 | RW L 7 | RW L 24 |
| CA 8226 | 12 21 | 6 03 | 5 39 | 1 83 | | 9 98 | 5 75 | 5 18 | 1 90 | 11 09 | 5 89 | 5 29 | 1 87 |
| 平阳 1 | 10 88 | 6 26 | 5 72 | 2 13 | | 10 24 | 5 83 | 5 29 | 2 09 | 10 56 | 6 05 | 5 50 | 2 11 |
| 晋麦 5 | 12 10 | 6 68 | 5 63 | 1 99 | | 9 41 | 5 71 | 5 16 | 1 96 | 10 76 | 6 20 | 5 40 | 1 98 |
| 冀麦 7 | 10 27 | 5 99 | 5 55 | 2 16 | | 6 72 | 4 68 | 4 32 | 1 97 | 8 49 | 5 33 | 4 93 | 2 07 |
| 冀麦 25 | 9 26 | 5 34 | 4 90 | 1 86 | | 8 29 | 5 11 | 4 68 | 1 94 | 8 77 | 5 23 | 4 79 | 1 90 |
| 鲁麦 10 | 10 39 | 6 00 | 5 38 | 1 90 | | 10 29 | 5 75 | 5 16 | 1 97 | 10 34 | 5 88 | 5 27 | 1 94 |
| 豫麦 8 | 11 75 | 7 10 | 6 46 | 2 21 | | 8 58 | 5 41 | 4 98 | 2 15 | 10 17 | 6 25 | 5 72 | 2 18 |
| 冀植 5309 | 12 43 | 7 37 | 6 80 | 2 26 | | 8 68 | 5 58 | 5 42 | 2 12 | 10 56 | 6 48 | 6 11 | 2 19 |
| 冀麦 30 | 11 04 | 6 37 | 5 79 | 2 02 | | 9 47 | 5 38 | 4 89 | 2 10 | 10 26 | 5 88 | 5 34 | 2 06 |
| 冀麦 31 | 11 47 | 6 32 | 5 75 | 2 00 | | 8 53 | 5 39 | 4 97 | 2 09 | 10 00 | 5 86 | 5 36 | 2 04 |
| 冀麦 24 | 8 58 | 5 36 | 4 93 | 1 96 | | 6 69 | 4 13 | 3 77 | 1 58 | 7 64 | 4 75 | 4 35 | 1 77 |
| 太 633 | 11 18 | 6 58 | 6 02 | 2 11 | | 10 29 | 6 42 | 5 86 | 2 34 | 10 74 | 6 50 | 5 94 | 2 23 |

表 4 RWL的品种间差异比较 ($\text{mg}^{\circ}\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (1990年)

| 品 种 | RW L 3 | 位次 | RW L 6 | 位次 | RW L 9 | 位次 | RW L 24 | 位次 |
|---------|--------|----|--------|----|--------|----|---------|----|
| 冀麦 7 | 4 58 | 35 | 3 48 | 36 | 2 93 | 37 | 1 53 | 31 |
| 冀麦 24 | 4 01 | 38 | 3 41 | 37 | 2 84 | 38 | 1 50 | 36 |
| 冀麦 25 | 4 81 | 33 | 3 52 | 34 | 2 96 | 36 | 1 53 | 32 |
| 冀麦 26 | 5 90 | 8 | 4 63 | 2 | 3 86 | 1 | 1 85 | 1 |
| 冀麦 30 | 4 50 | 36 | 3 52 | 35 | 3 14 | 27 | 1 56 | 28 |
| 晋麦 12 | 4 83 | 31 | 3 70 | 30 | 3 08 | 31 | 1 55 | 29 |
| 晋麦 24 | 6 35 | 2 | 4 72 | 1 | 3 81 | 2 | 1 71 | 3 |
| 晋麦 28 | 6 27 | 3 | 4 39 | 6 | 3 48 | 7 | 1 58 | 25 |
| 晋麦 5 | 6 66 | 1 | 4 56 | 3 | 3 60 | 4 | 1 66 | 11 |
| 京冬 1 | 6 14 | 4 | 4 44 | 5 | 3 55 | 5 | 1 65 | 12 |
| CA 8226 | 5 95 | 7 | 4 31 | 8 | 3 47 | 9 | 1 62 | 18 |
| 小偃 6 | 4 39 | 37 | 3 33 | 38 | 3 03 | 34 | 1 62 | 20 |
| 小偃 107 | 4 77 | 34 | 3 60 | 33 | 2 96 | 35 | 1 46 | 38 |
| 豫麦 2 | 4 82 | 32 | 3 75 | 28 | 3 16 | 25 | 1 64 | 14 |
| 农大 139 | 6 09 | 5 | 4 33 | 7 | 3 47 | 8 | 1 65 | 13 |
| 渭麦 5 | 5 96 | 6 | 4 50 | 4 | 3 64 | 3 | 1 70 | 4 |

注:表中只列出参试品种的 RW L 3前 8位和后 8位结果。

2 1 2 1989年结果 供水处理间除 2h 极显著外,其余各时段均不显著。品种间差异均极显

著(表 1) 各时段以冀麦 24最低 冀麦 7和冀麦 25居倒 2和 3位, 24h此 2品种位次有所上升,但仍较低。 2h的 RW L 处于前 3位的是 CA 8226 晋麦 5和太 633但当失水时间延长时, 3个品种位次发生变化 太 633随失水时间延长位次上升,而 CA 8226和晋麦 5则下降,其中尤以 CA 8226变化明显,从 2h的第 1位,降至 24h的倒 2位(表 3)。

2.1.3 1990年结果 除 5月 8日旱区的 2h外,其余品种间差异均达显著或极显著;6月 1日的旱区处理由于叶片生命力减弱,品种间差异减小,只有 3h差异显著,水区的除 24h外,均达显著差异(表略)。 RW L 较低的有冀麦 24小偃 6 冀麦 30 冀麦 7 小偃 107 冀麦 25和豫麦 2 较高的有晋麦 5 晋麦 24 晋麦 28 京冬 1 农大 139 渭麦 5 CA 8226和冀麦 26(表 4)。

3h 6h 9h和 24h各时段的品种最高与最低值差异分别为 66%, 42%, 36%和 27%。

在失水较慢的品种中,冀麦 24 冀麦 7 冀麦 25和小偃 107随时间的延长,其位次没有明显变化,小偃 6略有变化,豫麦 2变化明显。

失水较快的品种中,晋麦 24 渭麦 5和冀 26随时间延长,位次未有变化,晋麦 5 京冬 1和农大 139位次下降较明显,晋麦 28和 CA 8226位次下降明显,尤其以晋麦 28为最。

2.1.4 1995年结果 品种间 RW L 存在明显差异(表 1),变异幅度在 $2.0 \sim 5.5 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 之间,最高值是最低值的 2.7倍,其 RW L 低于 $2.5 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 的品种有 12个,占总品种数的 10.3%; RW L 高于 $4.5 \text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 的有 16个,占 13.8%。

2.2 RW L 与产量构成和植株性状的相关性

1988年品种间产量差异幅度达 55%,极为明显。 RW L2和 RW L6与株高呈正相关,与千粒重呈负相关, RW L6与少水/足水产量比呈正相关(表 5)。其余相关均不显著。而且 RW L 与各植株及产量性状相关性均随着失水时间的延长而降低。

1989年最高与最低产量相差 61%。 RW L24与千粒重呈显著负相关(表 5),其余相关均不显著,可能与品种较少有关。

1990年水区处理的最高与最低产量

表 5 RW L 与产量和植株性状的相关分析结果

| | 1988年 | RW L2 | RW L6 | RW L9 | RW L24 |
|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| 公顷产量 | 0.03 | 0.11 | 0.15 | 0.18 | |
| 公顷穗数 | 0.33 | 0.26 | 0.14 | 0.04 | |
| 穗粒数 | 0.01 | -0.06 | -0.04 | -0.03 | |
| 千粒重 | -0.49* | -0.38 | -0.28 | -0.2 | |
| 株高 | 0.78* | 0.64 | 0.43 | 0.15 | |
| 灌浆日数 | -0.31 | -0.19 | -0.03 | 0.29 | |
| 供水效率 | 0.06 | 0.15 | 0.18 | 0.21 | |
| 少/足水 | 0.42 | 0.52 | 0.43 | 0.34 | |
| 1989年 | RW L2 | RW L6 | RW L7 | RW L24 | |
| 公顷产量 | -0.43 | -0.41 | -0.28 | -0.07 | |
| 公顷穗数 | 0.22 | -0.02 | -0.04 | -0.14 | |
| 穗粒数 | -0.35 | -0.06 | 0.05 | 0.44 | |
| 千粒重 | -0.34 | -0.45 | -0.42 | -0.59 | |
| 供水效率 | -0.25 | -0.38 | -0.29 | -0.26 | |
| 少/足水 | -0.36 | -0.45 | -0.52 | -0.47 | |
| 株高 | 0.49 | 0.3 | 0.13 | -0.12 | |
| 灌浆日数 | 0.06 | 0.15 | 0.1 | 0.28 | |
| 1990年 | RW L3 | RW L6 | RW L9 | RW L24 | |
| 平均 | | | | | |
| 公顷产量 | -0.47* | -0.38 | -0.3 | -0.1 | |
| 千粒重 | -0.21 | 0.15 | -0.13 | -0.05 | |
| 穗粒数 | -0.15 | -0.17 | -0.18 | -0.22 | |
| 株高 | 0.41† | 0.3 | 0.18 | -0.16 | |
| 旱区 | | | | | |
| 公顷产量 | -0.35 | -0.25 | -0.15 | 0.06 | |
| 千粒重 | -0.15 | -0.11 | -0.08 | 0.03 | |
| 穗粒数 | -0.05 | 0.04 | 0.02 | -0.05 | |
| 株高 | 0.29 | 0.19 | 0.03 | -0.28 | |
| 水区 | | | | | |
| 公顷产量 | -0.42* | -0.40 | -0.34 | -0.2 | |
| 千粒重 | -0.27 | -0.22 | -0.21 | -0.1 | |
| 穗粒数 | -0.18 | -0.29 | -0.29 | -0.35 | |
| 株高 | 0.45* | 0.36 | 0.28 | -0.01 | |

相差 13%, 旱区相差 8%, 平均相差 10%。RW L 与产量呈负相关, 水区比旱区相关性更强, 随时间延长, 相关均呈降低趋势(表 5)。水区 RW L 24 与穗粒数负相关显著。RW L 与株高呈正相关, 水区更显著, 亦随失水时间延长而下降。

3 讨论

3.1 RWL 与产量和植株性状的关系问题

从植物生理学角度讲, 小麦对水分胁迫的适应方式因品种不同而异; 从产量角度讲, 既要高产, 又要兼顾节水(水分利用效率)。从生理节水的角度分析后者包括气孔蒸腾和残留蒸腾。气孔蒸腾与光合密切相关, 要求适当偏低而又蒸腾效率高。残留蒸腾(RWL)与光合生产无直接关系, 愈低愈好。

在气孔闭合时, 测定的 RW L 主要反映表皮传导力的差异。这种差异可能与角质层阻力、蜡质多少^[6]、叶片卷曲^[4]等特性有密切关系。RW L 失水应是一项不可忽视的作物水分消耗途径。这足以说明研究筛选 RW L 较低的品种对于高产节水有重要意义。

RWL 是节水抗旱的主要表达性状之一^[1]。大量试验肯定了 RW L 在基因型间存在显著或极显著差异。本研究表明, 在参试基因型间产量和株高变异幅度较大情况下, RW L 与产量和千粒重呈负相关, 这与一些研究结果一致^[7], 而与一些不一致^[2], 看来与参试基因型的差异程度有关。RW L 与株高的正相关表明可能其与株高遗传有一定联系, 由此说明矮化品种对降低 RW L 的无效水分消耗有利。这一结果为高产和低 RW L 的同步选择提供了理论依据。

3.2 叶片离体时间长短问题

近年来一些研究者^[1, 5, 8]注意到低 RW L 在节水抗旱中的重要作用, 但较少研究关注失水时间长短引起的差异。通过对 RW L 随失水时间的变化研究, 发现随着失水时间的变化, 不同基因型的位次发生不同变化。根据变化的差异, 可以划分 4 种类型: 一直较慢的低失水类型, 先快后慢或先慢后快的两种变动类型和一直较快的高失水类型。因此, 应用不同失水阶段结果分析可能得出不同结论。第一种类型更是值得重视的主要选择对象。据试验, 在离体 2~3h 内, 叶片膨压未完全消失, 质膜未损伤到严重影响各种生理机能, 并有可能恢复。基因型差异以离体 2~3h 更为明显, 具有更大生理意义。而且 RW L 与产量及株高等的相关有随失水时间延长而减弱之势。因此, 可以认为离体 2~3h 为测定 RW L 的适宜时间。以往大量研究资料多应用失水 6~9h, 甚至 24h 作为鉴定筛选的时间^[3~5, 7]。本研究结果否定了国外多年延用的以 6~9h RW L 作为指标结论, 这可能更有理论和实践意义。

参 考 文 献

- 1 马瑞昆, 刘淑贞, 贾秀领, 等. 高产节水小麦基因型生理特性及综合评价. 中国农业科学, 1995 28(6): 32~39
- 2 贾秀领, 马瑞昆, 刘淑贞. 冬小麦气孔与非气孔失水特性的基因型差异. 华北农学报, 1996 11(1): 59~65
- 3 Clarke M. Differential excised-leaf water retention capability of *Triticum* cultivars grown in field and controlled environment. Can J Plant Sci 1983, 63: 539~579

- 4 Clarke M. Effect of leaf rolling on leaf water loss in *Triticum* spp. Can J Plant Sci. 1986, 66: 885~ 891
- 5 Clarke M, McCaig TN. Excised-leaf water retention capability as an indicator of drought resistance of *Triticum* genotypes. Can J Plant Sci. 1982, 62: 571~ 578
- 6 Clarke M, Richards RA. The effects of glaucousness, epicuticular wax, leaf age, plant height and growth environment on water loss rates of excised wheat leaves. Can J Plant Sci. 1988, 68: 975~ 982
- 7 Clarke M, et al. Relationship of excised-leaf water loss and rate and yield of durum in diverse environments. Can J Plant Sci. 1989, 69: 1075~ 1081
- 8 Jaradat A, Konzak CF. Screening of wheat genotypes for drought tolerance. I. Excised leaf water relations. Cereal Res Commun. 1983, 11: 179~ 186

The Relation of Excised-leaf Water Loss to Yield Components and Plant Traits in Winter Wheat Genotypes

Ma Ruikun Jia Xiuling Jian Jiali Liu Shuzhen Lu Jianli

(Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of

Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050031)

Abstract The relationship between excised-leaf water loss rate (RWL) and yield components/plant traits was analyzed by using winter wheat genotypes varying remarkably in yield and plant height in 4-year experiments. It was demonstrated that significant difference in RWL existed among genotypes. Under most circumstances, RWL was correlated negatively with yield and grain weight and positively with plant height. The results laid a principal basis for simultaneous selection for high yield and low RWL. It was found that genotypic rank varied with the variation of water loss duration. Based upon the variation, four types of genotypes (continuously low, early low-later high, early high-later low, and continuously high) were identified. Correlation between RWL and yield reduced with extended water loss duration. More remarkable difference among genotypes was revealed at 2–3 hours of water loss with greater physiological importance; therefore it is better to collect water loss parameters 2–3 hours after *in vitro* treatment. This renewed the method of using RWL 6–9 hours after *in vitro* treatment.

Key words Winter wheat; Genotype; RWL; Yield component; Plant trait