

不同土壤水分条件下春小麦品种根系功能效率的研究

李鲁华¹,陈树宾²,秦莉¹,孔祥丽¹,李世清³

(¹ 石河子大学新疆作物高产研究中心,石河子 832003; ² 新疆农垦科学院作物所,石河子 832000; ³ 西北农林科技大学,杨凌 712100)

摘要: 试验在高、低两种墒情下,对西北干旱、半干旱地区不同年代春小麦品种水分利用率、根系干物质重、地上部生物量、根系呼吸速率、根冠比、光合作用、籽粒产量、收获指数等根系功能效率相关指标进行了研究,结果表明:根系功能效率演变趋势表现为近期品种 > 中期品种 > 早期品种。

关键词: 春小麦; 水分胁迫; 根系; 功能效率

Study on Root Function Efficiency of Spring Wheats Under Different Moisture Condition

LI Lu-hua¹, CHEN Shu-bin², QIN Li¹, KONG Xiang-li¹, LI Shi-qing³

(¹ Research Center of Xinjiang Crops High-yield, Shihezi University, Shihezi 832003;

² Institute of Crops, Xinjiang Academy of Agricultural and Reclamation Science, Shihezi 832000;

³ Northwest Science Technology University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100)

Abstract: In two moisture conditions correlative indexes of root function efficiency of spring wheat varieties of different ages in arid and semi-arid regions were studied in the experiment, including the water efficiency, the dry matter weight and respire rate of root, photosynthetic rate, the above-ground biomass, the ratio between root and canopy, the yield, and the harvesting index. The results showed that the root function efficiency was lately varieties > medium varieties > early varieties.

Key words: Spring wheat; Water stress; Root; Function efficiency

在黄土高原干旱、半干旱地区,春小麦生长发育时期的降水量较少。“麦收隔年墒”是该地区春小麦水分利用的重要特点。充分合理地利用深厚黄土中储存的水分,提高根系的功能效率是春小麦获得高产的有效途径。

对作物生产而言,根系的功能效率取决于根系对地上部分供应水肥的能力与根系所消耗能量物质间数量的对比关系。如果将根系的吸收作用看作产出,根系消耗地上部分提供的能量就可看作投入,根系产出与投入的关系就是本文所指的“根系功能效率”,它表示根系以付出的代价换取水肥吸收供应水平的能力。在干旱、半干旱地区,作物一般都表现出较高的根冠比,对以收获地上部分为主的作物而言,

显然这是根系功能效率低下的表现。本试验通过对不同年代春小麦品种在2种土壤水分条件下,根系干物质重、根系呼吸速率、光合作用、根冠比、水分利用率等指标的研究,试图搞清西北干旱、半干旱地区春小麦品种在更替和产量提高过程中根系功能效率的演变规律,为今后的育种和高产栽培提供参考。

1 材料与amp;方法

试验于1999~2000年在兰州大学干旱农业生态国家重点实验室进行,冬季在人工气候室进行,夏季在田间实验室进行。

1.1 供试品种

参试材料由甘肃省农业科学院粮食作物研究所

收稿日期:2002-02-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(39970151)

作者简介:李鲁华(1967-),女,山东平邑人,硕士,副教授,主要从事作物耕作与生态教学科研工作。Tel:0993-2058509; Fax:0993-2058509; E-

mail:shziluhua@163.com

提供,分别为和尚头、定西 24、永 3263、陇春 8139、高原 602、陇春 8275、021-128、30th-61、92 鉴 46 和 8797-21 等 10 个品种(系)。其中和尚头为 20 世纪 50~60 年代大面积推广的地方品种;定西 24、永 3263 为 70 年代推广品种;陇春 8139、高原 602 为 70 年代末育成,80 年代推广的品种;陇春 8275 为 1990 年育成;92 鉴 46 为 2000 年审定的品种;021-128、8797-21、30th-61 为 2000 年参加区试的品系。为寻找品种演替过程中根系功能效率的规律,按推广年代将上述 10 个品种划分为 3 类:20 世纪 70 年代前的品种为早期品种(代号为 1),80 年代推广的品种为中期品种(代号为 2),90 年代至今的品种(系)为近期品种(代号为 3)。

1.2 试验方法

自制植物生长装置,由直径 10.2cm 的 PVC 管纵向锯开加工而成,长 100cm,下底固定螺丝支撑匹配的铁片作为管底。为保证较好的孔隙度和洗根的方便,试验土样由过筛生土和蛭石(2:1 体积)混合而成,以提供低营养均匀的植物生长介质背景。每管装混合土样 6kg,为保证管内上下水分一致,分 3 段装土,各段浇水至田间持水量的 70%。装土前将土样按每公顷 300kg 纯 N(折分析纯 NH_4NO_3 每管 2.2857g),225kg P_2O_5 施入(折分析纯 K_2HPO_4 每管 0.7353g)。分蘖期按每公顷 100kg 纯 N(折分析纯 NH_4NO_3 每管 0.6919g)溶解为溶液进行追施。

1.3 试验设计

试验为完全随机排列,重复 9 次,于 1999 年 11 月 5 日和 2000 年 4 月 1 日(以下所用数据为 2 期播种的平均值)分别用发芽种子播种,每管 5 粒,出苗后 1 叶 1 心时定苗,每管留 3 株。设 2 个水分处理:

(1) 高墒处理(代号 H),按田间持水量的 75% 作为土壤供水上限,保持土壤湿度不低于田间持水量的 65%;(2) 低墒处理(代号 L),按田间持水量的 45% 作为供水上限,保持土壤湿度不低于田间持水量的 35%。采用土壤称重法控制土壤水分,分别于拔节期、开花期、成熟期进行破坏性取样,每期 3 个重复。整个试验期间用防雨布遮雨,为防止土壤水分蒸发,在出苗后用蛭石覆盖土壤表层。

1.4 测定项目

用 CIRAS-1 便携式光合系统分析仪和 SRC-1 土壤呼吸仪分别测定拔节期、开花期、成熟期各品种(系)最上部展开叶片最大叶宽处光合速率($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)和根系呼吸速率($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$);用烘干法测定叶、茎、根、穗等各部位干重;收获时进行室内考种、计产。

2 结果与分析

2.1 水分胁迫对不同年代品种春小麦产量指标的影响

通过对 3 个时期推广品种 2 种水分处理下籽粒产量的测定表明(表 1),高墒下的产量明显高于低墒下的产量;高墒下的产量表现为近期品种 > 中期品种 > 早期品种,低墒下的产量表现为早期品种 > 近期品种 > 中期品种,说明高墒下近期品种的产量潜力大,低墒下早期品种的产量潜力大。对各处理水分利用率的计算表明,低墒 > 高墒下小麦的水分利用率,这是春小麦生存适应性的表现;近期品种水分利用率最高,属于水分高效型品种;早期品种水分利用率最低,属于水分低效型品种。

表 1 不同年代春小麦品种在 2 种墒情下的籽粒产量和水分利用率

Table 1 The yield and water use efficiency of spring wheat varieties in different ages in two moistures

代号 No.	高墒 High water		低墒 Low water	
	产量(g/pot) Field	水分利用率(kg/m m) Water use efficiency	产量(g/pot) Field	水分利用率(kg/m m) Water use efficiency
1	3.48	1.12	2.56	1.73
2	4.00	1.48	2.28	1.86
3	4.01	1.67	2.36	2.10
LSD _{0.05}	0.4	0.2	0.08	0.25
LSD _{0.01}	0.66	0.33	0.14	0.42

2.2 水分胁迫对不同年代春小麦品种根干重的影响

根干重是分析根系生长最常用的指标之一,它可以反映土壤环境状况对根系生长的影响。从图 1

可知,根干重的总变化规律是单峰曲线,峰值出现于开花期。其中,早期品种 > 中期品种 > 近期品种的根干重,拔节期、开花期和成熟期高墒下不同年代品种根重的极差依次分别为 0.58 g/pot(1.1 - 0.52)、

0.32 g/ pot (1.23 - 0.91) 和 0.32 g/ pot (1.08 - 0.76), 在低墒下极差分别为 0.53 g/ pot (1.16 - 0.63) 0.41 g/ pot (1.29 - 0.93) 和 0.28 g/ pot (1.16 - 0.88); 低墒 > 高墒下的根干重, 3 个年代品种在拔节期依次分别高 0.06g/ pot 0.10g/ pot 和 0.11g/ pot, 开花期分别高 0.06g/ pot 0.04g/ pot 和 0.02g/ pot, 成熟期分别高 0.08g/ pot 0.16g/ pot 和 0.12g/ pot。这表明随着育种进程的推进, 春小麦根干重在逐渐下降; 低墒条件下, 根系生长的加强可能是农作物对水分亏缺的一种适应途径, 但持续的水分胁迫会对根系生长造成不同程度的影响, 本试验中在开花期高墒下的根表现出快速生长, 使 2 种墒情下根干重的差异缩小; 随着植株的衰老和养分转移速率的变化, 2 种墒情下成熟期的根干重差异又显著增大。

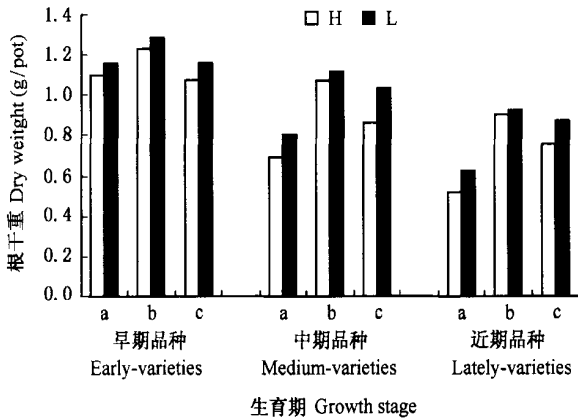


图 1 不同年代春小麦品种 2 种墒情下根干重变化
Fig.1 The variation of the dry weight of root of spring wheat varieties of ages in two moistures

2.3 水分胁迫对不同年代春小麦品种光合特性的影响

研究表明, 光合速率既与春小麦品种有关, 也与土壤水分状况和生育期有关 (图 2)。其中, 高墒 > 低墒下的光合速率; 高墒下光合速率日变化曲线呈“双峰”型, 并且第 1 个峰值 (大约出现在 10:00 左右) 远比第 2 个峰值 (大约出现在 14:00 左右) 高; 低墒下光合速率日变化曲线呈“单峰”型, 其最高峰值大约出现在 10:00 左右。

不同年代春小麦品种日均光合速率拔节期表现为: 早期品种 > 中期品种 > 近期品种; 自开花期, 近、中期品种赶上并超过早期品种, 并使这种变化趋势保持到最后。早期品种在生育前期光合作用强, 有

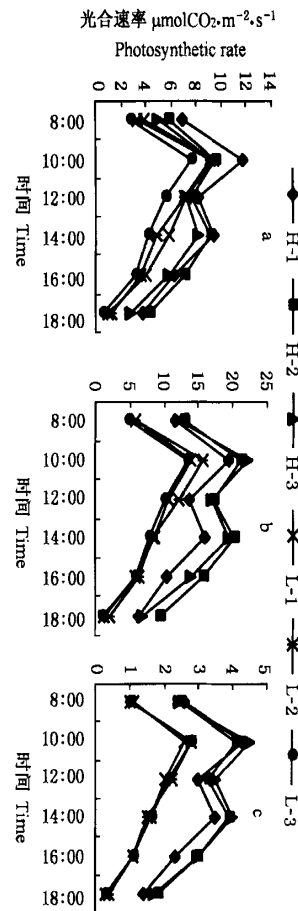


图 2 2 种墒情下不同生育期不同年代春小麦品种光合速率的日变化
Fig.2 The daily variation of photosynthetic rate of wheat flag leaf on different growth stages

利于形成大的生物量, 但在后期光合速率大幅度下降, 不利于增加籽粒产量和提高收获指数; 而中、近期品种在生育前期光合作用相对较弱, 虽然不利于形成大的生物量, 但在产量形成的生育中、后期, 高墒下仍保持较高水平的光合作用, 有利于籽粒产量和收获指数的提高。

2.4 水分胁迫对不同年代春小麦品种根呼吸特征的影响

不同春小麦品种在 2 种墒情下的根呼吸速率方差分析表明 (表 2), 各时期根呼吸速率在不同品种间存在极显著差异, 表现为早期品种 > 中期品种 > 近期品种 (图 3), 说明随品种演替根呼吸速率呈下降趋势, 近期和中期品种的根耗能小于早期品种。此外, 高墒 > 低墒下的根呼吸速率, 差异呈显著或极显著水平; 品种与水分间的交互作用仅在开花期显著。

2.5 水分胁迫对不同年代春小麦品种生物量指标的影响

表 2 不同年代春小麦品种各生育时期根呼吸速率的方差分析

Table 2 Variance analysis of the root respire rate of spring wheat varieties in different ages in different stages

变异来源 Source		拔节期 Joint			开花期 Flower			成熟期 Mature		
		DF	SS	MS	F	SS	MS	F	SS	MS
品种 Varieties	2	77.62	38.81	67.91**	24.53	12.26	17.92**	3.68	1.84	12.80**
水分 Water	1	3.53	3.53	6.19*	81.71	81.71	119.41**	3.17	3.17	22.03**
交互 Interaction	2	1.78	0.89	1.56	5.30	2.65	3.9*	0.35	0.18	1.22
误差 Error	12	6.86	0.57		8.21	0.68		1.73	0.14	
总和 Total	17	89.79			119.75			8.92		

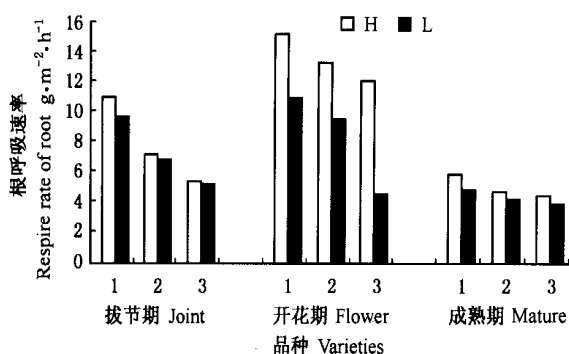


图 3 不同年代春小麦品种 2 种墒情下根呼吸速率变化

Fig.3 The variation of the root respire rate of spring wheat varieties of ages in two moistures

根系生长所需要的能量来自于地上部分合成的光合产物,根系生长的快慢与地上部分光合产物的累积呈反比^[1,5]。根冠比的大小可以反映出资源在地下、地上部分的分配情况,适度小的根冠比有利于高产。从表 3 看出:与低墒相比,高墒有利于地上部干物质累积;春小麦地上部生长速度表现是:前期为早期品种 > 中期品种 > 近期品种,中、后期为近期品种 > 中期品种 > 早期品种,说明近期品种地上部

表 3 不同年代春小麦品种 2 种墒情下地上部干物质累积量和收获指数

Table 3 The cumulate of above-ground dry matter and harvesting index of spring wheat varieties in different ages in two moistures

处理 Treatments	地上部干物质日累积量 Above-ground dry matter ($\text{g} \cdot \text{d}^{-1} \cdot \text{pot}^{-1}$)						收获指数 Harvest index	
	拔节期 Joint		开花期 Flower		成熟期 Mature		H	L
	H	L	H	L	H	L		
1	0.085	0.059	0.26	0.14	0.024	0.015	0.32	0.41
2	0.082	0.057	0.35	0.15	0.031	0.013	0.42	0.41
3	0.069	0.050	0.37	0.16	0.038	0.022	0.48	0.47

3 讨论

3.1 在水分胁迫条件下,根系生长通常快于地上部分生长,即保持较高的根冠比,这是自然选择进化适应的结果。但许多学者认为作物庞大的根系并不意味着抗旱和高产(Donald, Passioura, 张大勇等)^[2,3,6,7]。从生态学角度而言,在植物整个生活史阶段获取的总

生长速度有一种后移现象。图 4 显示随春小麦的生长发育,根冠比逐渐降低,说明资源的分配逐渐由地下部分向地上部分转移,累积;春小麦地上部生长速度表现是:前期为早期品种 > 中期品种 > 近期品种,中、后期为近期品种 > 中期品种 > 早期品种,说明近期品种地上部生长速度有一种后移现象。图 4 显示在水分胁迫下,生物的自我保护本能使根系生长受到的抑制程度始终小于地上部分,因而不同品种各时期低墒下的根冠比显著大于高墒。分析各生育时期,拔节期根冠比表现为:早期品种 > 中期品种 > 近期品种;开花期根冠比表现为:早期品种最大,中期品种和近期品种接近;成熟期根冠比趋于稳定,即高墒下根冠比为 10 ± 0.013 ,变异系数为 13.0%;低墒下根冠比为 0.21 ± 0.029 ,变异系数为 14.0%。由此可知,早期品种前期生长快、根冠比大,整个生育期内消耗的能量最多,最终影响到产量的形成,表现出低的收获指数;而近期品种生长后移现象和小根冠比,有利于提高水分利用率,减少营养器官能量的消耗,增加生殖器官能量的累积,表现出高的收获指数。

资源量一定的条件下,植物把获取的有限资源向某一器官分配增加必然造成对其它器官分配量的减少。在高墒下早期品种获取的资源向营养器官分配得多,结果收获指数最低;低墒下虽然早期品种“库”的长势相对较好,产量相对较高,但收获指数和水分利用率较低。可见“大根系”并不利于干旱、半干旱地区春小麦产量的提高。

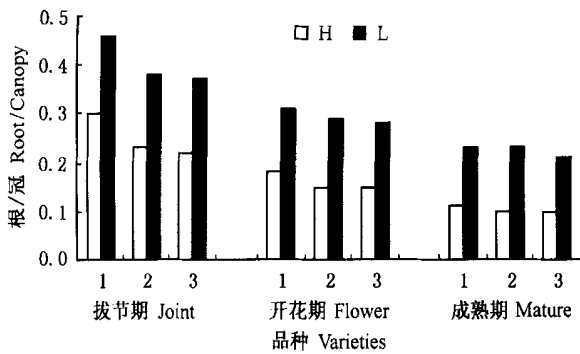


图4 不同年代春小麦品种2种墒情下根/冠变化

Fig. 4 The variation of ratio of root and canopy of spring wheat varieties in two moistures

3.2 不同年代春小麦品种光合速率的大小不仅与品种和育种进程有关,而且还与土壤水分状况和生育期有关。高墒下的光合速率明显大于低墒下的光合速率;高墒下光合速率日变化为双峰型曲线,低墒下光合速率日变化为单峰型曲线,产生这种差异的主要原因在于低墒下根系吸水及传导阻力加大,出现水分传导的“滞”现象,从而导致第2个峰值消失,这也是春小麦对干旱适应优化体内水分利用的必然结果,这种适应性优化有利于春小麦在极端干旱条件下的生存,但不利于干旱、半干旱地区产量的提高。

3.3 春小麦根系的呼吸速率随品种演替向耗能减少的方向发展。虽然高墒 > 低墒下的根呼吸速率,但高墒下的根系活力大于低墒下的根系活力,结果高墒 > 低墒下的籽粒产量和收获指数。因此,通过栽培措施调节土壤水分,提高根系活力,选育“低能耗”品种是提高根系功能效益的有效途径之一。

3.4 干旱、半干旱地区随育种进程的推进,不同年代春小麦品种的生长高峰有一种后移趋势,即拔节期早期品种干物质积累量和光合速率显著高于中期和近期品种,而开花期和成熟期近期和中期品种干物质积累量和光合速率赶上甚至超过早期品种,说明近期和中期品种在营养生长期干物质积累量小,节约了土壤底墒,保证了中、后期春小麦正常生长发育,属于“节水型品种”;在营养生长和生殖生长并进期,生长速率加快,形成较大的“源”和“库”,特别是较大的“库”,并在生殖生长期,仍保持较高的生长

速率,结果提高了有限水资源的利用率,获得了较高的收获指数。可见,在干旱、半干旱地区培育“小根系、水节约型品种”可进一步提高春小麦产量。但“小根系”应小到何种程度才能实现“低消耗、高产”有待进一步研究。

总之,高墒下产量的提高首先应尽可能提高地上部生物量的比例,为光合作用打下物质基础,其次减少营养器官物质消耗,使更多的光合产物分配到繁殖器官;而低墒下为获得高的地上部生物量,必须以大根系为基础,但大根系的存在又必须以高能量为代价,从能量分配利用角度分析,低墒下的经济产量很难大于高墒下的经济产量。本试验中,即使抗旱性很强的早期品种,在低墒下的产量仍比高墒下的产量低。因此,干旱、半干旱地区在充分利用节水技术的基础上,选育“小根系”春小麦品种,研究“小根系”春小麦的栽培模式,是提高春小麦根系功能效率,进一步挖掘春小麦产量潜力的有效途径。

References

- [1] Li F M, Guo A H, Luo M, Zhao S L. Effect of water supply from deep soil on dry matter production of winter wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1997, 8(6): 575 - 579. (in Chinese)
李凤民,郭安红,雒梅,赵松岭.土壤深层供水对冬小麦干物质生产的影响. *应用生态学报*, 1997, 8(6): 575 - 579.
- [2] Zhang D Y. An ecological analysis of growth redundancy of crop root in semi-arid region. *Acta Bot. Boreali-Occidentalia Sinica*, 1995a, 15(5): 110 - 114. (in Chinese)
张大勇.半干旱区作物根系生长冗余的生态分析. *西北植物学报*, 1995a, 15(5): 110 - 114.
- [3] Zhang D Y, Jiang X H, Zhao S L. Rediscussion growth redundancy. *Acta Prataculturae Sinica*, 1995b, 4(3): 17 - 22. (in Chinese)
张大勇,姜新华,赵松林.再论生长冗余. *草业学报*, 1995, 4(3): 17 - 22.
- [4] Zhang R. *An Experimental Study of Growth Redundance of Spring Wheat Under Competitive Selection in Semiarid Area*. Doctoral Thesis, Lanzhou University, 1997: 18 - 21. (in Chinese)
张荣.旱农区春小麦竞争选择生长冗余的实验研究. 博士论文,兰州大学, 1997: 18 - 21.
- [5] Aung I H. *Root-Shoot Relationships*. In: Carson E V, ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974: 29 - 52.
- [6] Donald C M. Competitive plants, communal plant, and yield in wheat crops. *Wheat Science-today and Tomorrow*. Cambridge: Cambridge University Press, 1981: 223 - 247.
- [7] Passioura J B. Roots and drought resistance. *Agricultural Water Management*, 1983, 7: 265 - 280.