

冀北高原作物耗水特性与倒茬效应研究

张立峰, 边秀举, 刘玉华

(河北农业大学农学院, 保定 071001)

摘要: 通过长期定位试验, 研究了冀北高原栗钙土农田主要作物耗水特性及其倒茬效应。结果表明, 春小麦、莜麦、豌豆、亚麻与马铃薯等作物间生长季农田耗水量差异不大, 而不同作物与茬口间水分利用效率差异显著, 前者变化在 $1.347 \sim 11.177 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$, 后者相差 $11.44\% \sim 46.66\%$ 。本文以土地当量比(LE_R)为指标, 定量评价了轮作倒茬的综合生物学效果, 并进一步分析了 2~4 年轮作周期下的高 LE_R 值作物轮作方式。

关键词: 轮作; 耗水量; 水分利用效率; 土地当量比; 冀北高原

中图分类号: S152.75 文献标识码: A 文章编号: 0578-1752(2001)01-0056-05

Studies on Water Consumption Characteristics and Effects of Crops Rotation in Plateau of North Hebei Province

ZHANG Lǐfeng, BIAN Xiùju, LIU Yùhúa

(Hebei Agricultural University, Baoding 071001)

Abstract: Experiments were carried out in 1994~1998 to study the effects of crop rotation and crop water consumption characteristics of field with sandy chestnut soil in plateau of north Hebei province. Five crops including spring wheat, oat, pea, flax and potato were examined. There were few differences in field water consumption among the crops during the growing season. WUE varied significantly within a range of $1.347 \sim 11.177 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ among crops and $11.44\% \sim 46.66\%$ among previous crops. It was pointed out that the land equivalent ratio (LE_R) can be used as an index to evaluate the biological effects of crop rotation comprehensively. The 2~4 year crop rotation patterns with higher LE_R were estimated in the paper.

Key words: Rotation; Water consumption; WUE; LE_R; Plateau of north Hebei Province

旱作农业作为水资源日趋紧缺背景下农业生产的主动性选择, 其技术体系在干旱-半干旱区作物生产的稳产、高效及农业可持续发展中起着关键作用。长期实践证明, 作物轮作倒茬技术, 以利用不同作物对环境水分、养分等生态因素需求差异, 进行作物间时序配置, 不仅能使半干旱区作物稳产、高产, 而且可促进对稀缺资源的高效转化与可持续作用。目前, 有关轮作增产、增收效果的经济学评价^[1-4]及高寒半干旱区农田水分平衡状况研究^[5,6]有较多报道, 而对于轮作技术资源利用效果的生物学定量分析以及冀北高原不同作物的耗水特性与倒茬效应尚不明确。本文根据国家旱农攻关张北试验区研究资料, 就此进行讨论, 以期为该类型区农业生产的作物选择

与时序组配提供理论与技术依据。

1 材料与方 法

1.1 田间试验设计

田间试验设在河北省张北县国家旱农重点科技攻关张北试验区第 I 试验场, 试验始于 1994 年。供试作物为冀北高原 5 种主栽作物: 春小麦、莜麦、豌豆、亚麻和马铃薯。一年一熟。参试作物生育期见表 2。试验采取 5 种作物倒茬关系, 年内全部实施、年间重复的交叉式设计, 定位进行。试区面积 750 m^2 。

1.2 试验背景与监测

试验地为砂质栗钙土壤, 0~100cm 土层最大有效持水量 113.5 mm , 0~20cm 土壤有机质 0.82% 。

收稿日期: 1999-12-30

基金项目: 国家“九五”重点科技攻关项目(96-004-04-03)

作者简介: 张立峰(1960-), 男, 河北深州人, 教授, 从事农作制度与农业生态学研究。Tel: 0312-2091331

试区生境高寒干旱,年均温 2.6℃,年均降水 393.2 mm,无霜期 107d。倒茬试验作物年施肥量参照本区作物生产的推荐施肥标准。生长季与各作物生育期始末对试区取土,取样深度 0~70cm,烘干法测水。

2 结果与分析

2.1 作物茬口耗水量

作物各茬口生长季(1994~1998年每年约5月1日至9月15日)农田耗水量,随年降水量的不同而有

较大差异。各茬口 1994~1998 年平均耗水量列于表 1。表 1 表明,各茬口间生长季耗水量差异不大,极差只有 19.1mm;而不同后作以及不同前茬的生长季农田耗水量则差异更小,分别为 10.2mm 和 4.7mm,后作的茬口耗水量差异稍大于前茬效应。5 种作物之中马铃薯农田耗水量最大,春小麦最小。冀北高原栗钙土农田作物茬口间生长季农田耗水量窄幅差异的特点,与半干旱的黄土高原区^[7]表现明显不同。

表 1 作物不同茬口生长季农田耗水量(mm)

Table 1 Average field water consumption of different crops in growing season

前茬作物 Previous crop	后茬作物 Succeeding crop					
	春小麦 Spring wheat	莜麦 Oat	豌豆 Pea	亚麻 Flax	马铃薯 Potato	平均 Average
春小麦 Spring wheat	315.5	324.2	317.8	312.2	319.9	317.9
莜麦 Oat	307.8	307.0	320.6	314.0	326.9	315.7
豌豆 Pea	311.7	309.5	311.7	312.4	320.8	313.2
亚麻 Flax	312.3	316.1	312.8	317.1	323.9	316.4
马铃薯 Potato	310.3	314.4	319.2	312.3	317.0	314.6
平均 Average	311.5	314.2	316.4	313.6	321.7	315.5

2.2 不同作物耗水量组成分析

茬口耗水量的差异直接来源于接茬作物,由于各作物生育期不同,以作物为中心的生长季农田耗水可分为生育期与非生育期两阶段。5 种作物生长季(1994~1998年每年的4月20日至9月15日)各阶段农田耗水量见表 2。表 2 表明,生育期决定着作物对生长季降水的利用与农田水分蒸散状况。对供试的 5 种作物,马铃薯的生育期与非生育期农田耗水特性与其它作物显著不同。马铃薯生育期与当地生长季完全吻合,接受降水最多,为 304.1mm;而生育期土壤水分耗亏量亦最大,为 17.6mm,农田耗水量 321.7mm。其余 4 种作物,在春季或秋季有约 30d 的生长季不能利用,生育期降水较马铃薯明显减少,而土壤水分亏损量也相应降低到 0.7~4.8mm,4 种作物间差异不大。

非生育期春小麦、莜麦、豌豆、亚麻农田土壤水分蒸失量差异并不大,约 2.6~9.5mm,但农田耗水量差异明显,早收获作物春小麦、豌豆比晚播种作物莜麦、亚麻生长季非生育期间农田多耗水 16.5~28.6mm,造成水资源的浪费。表 2 表明,由于非生

育期的农田水分耗亏,终致 5 种作物间生长季土壤总耗水量差异缩小,且各作物农田生长季土壤储水消耗量不大,在 7.4~17.6mm,占农田耗水量的 2.38%~5.47%。高寒半干旱区不同作物茬口耗水的这一特点,可能与其砂质栗钙土的低效持水性质^[8]有关。因此,该区以提高水资源利用效率为核心的旱作农业,必须更多地依靠提高生长季降水的利用率,而不是土壤储水^[7]。

2.3 作物倒茬效果的生物学评价与轮作顺序选配

2.3.1 不同茬口与作物的水分利用效率 农田单位耗水所获得的作物经济产量即水分利用效率(WUE)是评价半干旱区不同作物倒茬效果的重要指标。倒茬定位试验的不同茬口与作物生长季水分利用效率见表 3。与农田耗水量(表 1)不同,茬口间作物水分利用效率相差悬殊。不同种类作物的茬口水分利用效率变化在 1.347~11.177kg·ha⁻¹·m⁻¹,而同一作物不同前茬的水分利用效率也相差 11.44%~46.66%。茬口间水资源利用效率差异来源于前茬效应^[9]与接茬作物的水分生态适应性。本试验中,禾本科作物春小麦与莜麦管理措施相同,而

莜麦平均产量与生长季水分利用效率分别比春小麦高 26.79% 和 25.70%。莜麦的耐晚播特性使其直接消耗了 90.10% 的生长季降水, 而春小麦只占

84.05%。莜麦生育期耗水与自然降水的时序吻合^[6]是其水分利用效率较春小麦高的重要原因。

表 2 不同作物耗水量组成

Table 2 The composition of water consumed by different crops

	项目 Item	春小麦 Spring wheat	莜麦 Oat	豌豆 Pea	亚麻 Flax	马铃薯 Potato
生长季 Growing season	消耗土壤水 (mm) Water depletion	7.4	10.1	12.3	9.5	17.6
	降水量 (mm) Precipitation	304.1	304.1	304.1	304.1	304.1
	耗水量 (mm) Field water consumption	311.5	314.2	314.2	313.6	321.7
	产量 Yield (kg·ha ⁻¹) 生育期水分利用效率 (kg·ha ⁻¹ ·mm ⁻¹) WUE of period of growth	1208.4 4.728	1532.1 5.573	513.6 2.020	529.2 1.889	3377.4 10.502
生长季 非生育期 Period of nongrowth	消耗土壤水 (mm) Water depletion	2.6	9.5	8.8	6.7	0.0
	降水量 (mm) Precipitation	53.4	30.0	53.4	26.8	0.0
	耗水量 (mm) Field water consumption	56.0	39.5	62.2	33.5	0.0
	起止日期 (月-日) Period of growth (month-day)	04-20~ 08-15	05-20~ 09-15	04-20~ 08-15	05-20~ 09-15	04-20~ 09-15
生育期 Period of growth	消耗土壤水 (mm) Water depletion	4.8	0.7	3.5	2.8	17.6
	降水量 (mm) Precipitation	250.8	274.2	250.8	277.4	304.1
	耗水量 (mm) Field water consumption	255.6	274.9	254.3	280.1	321.7

表 3 不同茬口作物的产量与生长季内水分利用效率

Table 3 Yield and WUE of different crops

前茬作物 Previous crop	后茬作物 Succeeding crop									
	春小麦 Spring wheat		莜麦 Oat		豌豆 Pea		亚麻 Flax		马铃薯 Potato	
	产量 Yield (kg·ha ⁻¹)	水分利用效率 WUE (kg·ha ⁻¹ ·mm ⁻¹)	产量 Yield (kg·ha ⁻¹)	水分利用效率 WUE (kg·ha ⁻¹ ·mm ⁻¹)	产量 Yield (kg·ha ⁻¹)	水分利用效率 WUE (kg·ha ⁻¹ ·mm ⁻¹)	产量 Yield (kg·ha ⁻¹)	水分利用效率 WUE (kg·ha ⁻¹ ·mm ⁻¹)	产量 Yield (kg·ha ⁻¹)	水分利用效率 WUE (kg·ha ⁻¹ ·mm ⁻¹)
春小麦 Spring wheat	1147.5	3.637	1402.5	4.326	511.5	1.610	571.5	1.831	3492.0	10.916
莜麦 Oat	1042.5	3.387	1257.0	4.094	465.0	1.450	568.5	1.811	3279.0	10.030
豌豆 Pea	1270.5	4.076	1657.5	5.355	420.0	1.347	474.0	1.517	3228.0	10.062
亚麻 Flax	1171.5	3.751	1681.5	5.320	618.0	1.975	483.0	1.523	3345.0	10.327
马铃薯 Potato	1410.0	4.544	1662.0	5.286	553.5	1.734	549.0	1.758	3543.0	11.177
平均 Average	1208.4	3.879	1532.1	4.876	513.6	1.623	529.2	1.688	3377.0	10.502

2.3.2 不同作物倒茬的土地利用效率 以获得单位面积轮作群体中各作物同等产量所需的各作物连作面积的总和, 即土地当量比(LE_R)指标^[9], 定量比较各种作物不同倒茬方式的资源利用综合效果(表 4)表明, 任何两种作物的倒茬都比相应作物连作对

耕地资源具有更高的利用效率, LE_R 值在 1.012~1.257 之间。莜麦由于其较好的水分生态适应性, 与连作相比, 倒茬均表现偏利效应(表 5)。因此, 凡有莜麦参加的倒茬都能显著提高 LE_R。

2.3.3 作物倒茬与轮作顺序的选配 以倒茬效应

的生物学综合指标作为确定轮作方式的基本依据, 对于指导生产具有直接作用。依据本项研究结果, 对冀北高原资源高效利用作物轮作方式的模拟研究(表 5)表明, 以 3 年为一轮作周期, 高效的作物轮作方式不出现作物重茬, 豌豆→ 苜蓿→ 亚麻轮作 LER

= 1.322, 超过了两年轮作的苜蓿→ 亚麻 LER = 1.257 水平。当组配 4 年轮作时, 除两作轮作的高 LER 方式(表 4)被重复使用之外, 出现了更多的高 LER 值轮作方式。这样就为不同要求下的作物生产结构组织提供了备选方案。

表 4 作物间倒茬的土地当量比分析

Table 4 LER of different crop rotations

作物 Crop	春小麦 Spring wheat	苜蓿 Oat	豌豆 Pea	亚麻 Flax	马铃薯 Potato
春小麦 Spring wheat	1.000	1.012	1.163	1.102	1.107
苜蓿 Oat	1.012	1.000	1.213	1.257	1.124
豌豆 Pea	1.163	1.213	1.000	1.226	1.114
亚麻 Flax	1.102	1.257	1.226	1.000	1.179
马铃薯 Potato	1.107	1.124	1.114	1.179	1.000

表 5 不同轮作方式的土地当量比估算¹⁾

Table 5 LER of different rotation patterns

3 年轮作 3-year rotation		4 年轮作 4-year rotation	
轮作方式 Rotation pattern	土地当量比 LER	轮作方式 Rotation pattern	土地当量比 LER
豌豆→ 苜蓿→ 亚麻 P→ O→ F	1.322	豌豆→ 亚麻→ 苜蓿→ 亚麻 P→ F→ O→ F	1.242
豌豆→ 小麦→ 亚麻 P→ W→ F	1.254	豌豆→ 苜蓿→ 苜蓿→ 亚麻 P→ O→ O→ F	1.242
豌豆→ 苜蓿→ 马铃薯 P→ O→ Pt	1.187	豌豆→ 苜蓿→ 亚麻→ 苜蓿 P→ O→ F→ O	1.235
豌豆→ 苜蓿→ 小麦 P→ O→ W	1.148	豌豆→ 苜蓿→ 小麦→ 亚麻 P→ O→ W→ F	1.220
马铃薯→ 苜蓿→ 亚麻 Pt→ O→ F	1.147	豌豆→ 小麦→ 苜蓿→ 亚麻 P→ W→ O→ F	1.218

¹⁾ F: Flax, O: Oats, P: Pea, Pt: Potato, W: Spring wheat

3 结论

冀北高原砂质栗钙土壤上, 主要作物生长季农田耗水量差异不大, 并生长季土壤储水消耗量小, 在 7.4~17.6 mm, 只占农田耗水量的 2.38%~5.47%。生育期农田耗水量作物间差异显著, 主要受降水量影响。

不同作物与同一作物不同茬口的水分利用效率(WUE)差异显著。倒茬对作物生长季水分利用效率的影响可达 11.44%~46.66%。作物的生长期需水与降水供应的时序吻合状况, 是作物水分利用效率的重要影响因素。

土地当量比(LER)可作为轮作倒茬技术效果生物学评价的归一化指标。由苜蓿所参加的轮作使半

干旱区作物生产资源具有较高的利用率; 豆→ 麦轮作是该区作物生产的首选方式。

References:

- [1] Ren G X, Wei Q K, Min A C, et al. Comparison of different cropping rotation methods on Weibei rainfed highland [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1997, 15(3): 12-16. (in Chinese)
任广鑫, 魏其克, 闵安成, 等. 渭北旱塬不同轮作方式比较研究 [J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(3): 12-16.
- [2] Liu S P, Zhuang H Y, Sheng X P, et al. Optimized patterns of integrated crop rotation, tillage and straw return to the soil in north Jiangsu [J]. Journal of Jiangsu Agricultural College, 1996, 17(4): 31-37. (in Chinese)
刘世平, 庄恒扬, 沈新平, 等. 苏北轮作轮耕轮培优化模式研究 [J]. 江苏农学院学报, 1996, 17(4): 31-37.
- [3] Han B J, Wang Z Z. Study on high-production and high-benefit rotation system in black soil farming region [J].

- Heilongjiang Agricultural Science, 1996, (1): 22- 26. (in Chinese)
韩秉进, 王占哲. 黑土旱作农区高产高效轮作体系的研究 [J]. 黑龙江农业科学, 1996, (1): 22- 26.
- [4] Crookston R K, Kurle J E, Copeland P J. Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean [J]. Agronomy Journal, 1991, 83: 108- 113.
- [5] Xu Z L, Wang Y T. Water balance of potato field in Wuchuan of Inner Mongolia [A]. Synthetical development and countermeasure of dry farming in north of China [M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1994: 84 - 88. (in Chinese)
徐祝龄, 王砚田. 内蒙古武川旱农试验区马铃薯田水分平衡 [A]. 中国北方旱地农业综合发展与对策 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 84- 88.
- [6] Zhang L F, Bian X J, Zhao G S, et al. Water balance of Chestnut soil in oat field [J]. Journal of Agricultural University of Hebei 1996, 19(1): 17- 21. (in Chinese)
张立峰, 边秀举, 赵广生, 等. 栗钙土燕麦田水分平衡分析 [J]. 河北农业大学学报, 1996, 19(1): 17- 21.
- [7] Liu Z M. Research on soil moisture balance of farm land under different rotation system loess hilly areas of south Ningxia [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1992, 12(6): 21- 25. (in Chinese)
刘忠民. 宁南黄土丘陵区不同轮作方式农田水分平衡研究 [J]. 水土保持通报, 1992, 12(6): 21- 25.
- [8] Wang D W, Xiao K. Relation between water control and depth of soil layer of chesnut and it's improve effect in Bashang areas [J]. Journal of Agricultural University of Hebei 1995, 18(Sup.): 51- 54. (in Chinese)
王殿武, 肖 凯. 坝上地区栗钙土白干土层埋深和土壤水分调控的关系及其改良作用 [J]. 河北农业大学学报, 1995, 18(增刊): 51- 54.
- [9] Zhang L F, Liu Y H. Structure and function of crop production system [A]. Research Association of Chinese Farming System. Chinese Farming System forward 21th Century [M]. Shijiazhuang: Hebei Science and Techology Press, 1998: 355- 388. (in Chinese)
张立峰, 刘玉华. 论作物生产系统的结构与功能 [A]. 中国耕作制度研究会. 面向 21 世纪的中国农作制 [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1998: 355- 388.