

土壤水分对谷子(粟)结实的影响 及其生理效应

古世禄* 马建萍 独俊娥

(山西省农业科学院作物遗传研究所, 太原, 030031)

摘 要

土壤水分对谷子结实的影响主要在结实阶段。土壤水分过少或过多, 都能显著降低结实率、成粒数和产量。这一时期以保持土壤毛管持水量的70%左右对结实最为有利。供水不足, 首先影响根系活性和体内水分状况, 从而影响体内、外气体交换, 降低光合速率和呼吸强度, 同时影响细胞膜透性, 导致体内物质代谢过程改变, 降低有机物质的积累, 造成穗部营养贫乏, 形成秕谷。土壤水分过多, 通气不良, 影响根系活性, 降低伤流量, 抑制体内代谢过程及物质运转, 造成穗部营养不足, 形成秕谷。

关键词 谷子 土壤水分 结实率 秕谷率

关于谷子水分条件, 曾有过许多研究, 但多偏重对谷子的抗旱性〔1, 2〕、需水特性〔4, 5〕以及水分条件对谷子生长发育和产量影响的研究〔3, 5〕。迄今为止, 关于水分条件对谷子结实影响的报道甚少〔2, 5〕。为了探讨影响谷子结实率提高的原因, 研究外界环境因素对谷子结实的影响, 1986~1987年我们进行了不同土壤水分对谷子结实影响的盆栽试验。

材料与方 法

试验在本所活动式旱棚下进行, 晴天推开, 以确保有充足的光照, 遇阴雨天推盖。供试品种晋谷10号。采用直径28厘米聚乙烯盆, 每盆装试验地耕层土壤9~11公斤。装盆前使土壤与腐熟的有机肥混合均匀, 打碎过筛。播种前浇水以保持土壤水分达土壤毛管持水量的70%。5月下旬播种, 出苗后每盆定苗5株。从6月上旬开始, 以称重法计算蒸腾量, 每日补充水分1次, 在高温天气每日上午和下午各补充水分1次。为了保证谷子正常生长发育, 在生长期追施磷二铵复合肥1次, 每盆3克左右, 并以 W_{303} 、乙敌乳油等防治害虫3次。

本文于1989年6月21日收到。 * 执笔人

吴利恒、孙兴武、梅青等参加了部分工作, 生理测定承本所人工气候室帮助, 谨致谢意。

抽穗后架设防鸟网和防倒支架。

试验处理: ①保持土壤毛管持水量的40%, 代表干旱处理; ②保持土壤毛管持水量的70%, 代表水分适宜处理; ③保持土壤毛管持水量的90%, 代表多水处理。1987年增加1个水分过多处理, 保持土壤含水量占毛管持水量100%。重复8~10次。处理时期, 1986年分孕穗期(7月15日~8月10日)和结实期(8月10日~9月24日)2组, 1987年在结实期(8月5日~9月27日)进行处理。处理期前后, 均保持土壤毛管持水量的70%。

在结实期用重量法测定根系伤流量、叶片相对含水量和饱和亏缺; 用小液流法测定细胞水势; 用LI-1600稳态气孔计测定气孔阻力和蒸腾强度; 用电导仪测定叶片伤害率; 用茚三酮比色法测定游离脯氨酸含量; 用FQ-W型红外线CO₂气体分析仪测定光合速率与呼吸强度; 用阿依法测定叶绿素含量。收获后测定穗长、穗重、穗粒重、成粒数、千粒重及秕谷率。

结果与分析

一、土壤水分对谷子结实的影响

1. 孕穗阶段土壤水分对谷子结实的影响

表1 孕穗阶段土壤水分对谷子结实的作用 (1986年)

项 目	土壤水分(%)	$\bar{x} \pm S$	SSR	
秕谷率(%)	40	43.4±10.7	a	A
	70	45.5±7.0	a	A
	90	42.1±12.4	a	A
千粒重(g)	40	3.42±0.08	a	A
	70	3.48±0.08	a	A
	90	3.53±0.10	a	A
成粒数(个/穗)	40	3954.3±1092.7	a	A
	70	3576.9±489.4	a	AB
	90	2906.3±208.5	b	B
成花数(个/穗)	40	7019.8±1962.2	a	A
	70	6724.4±1788.6	ab	A
	90	5288.2±1005.1	b	A
穗 长(cm)	40	22.45±2.41	a	A
	70	20.85±2.20	b	A
	90	17.50±0.65	c	B

如表1所示, 在干旱处理情况下, 成粒数比多水处理的减少28.5%, 成花数比多水处理的降低24.7%。相关分析指出, 在本试验条件下, 成粒数与成花数关系极为密切, $r=0.9836^{**}$, 而成粒数与秕谷率关系不大($r=0.0976$)。说明孕穗阶段的土壤水分条件, 对谷子结实影响不大。它的主要作用是适宜的土壤水分促进了幼穗分化和发育, 形成较多的小花, 达到增花增粒。这与作者以前的结果是一致的〔5〕。

2. 结实期间土壤水分对谷子结实的影响

表2资料表明, 结实期土壤水分对谷子结实具有十分明显的影响, 2年平均, 以占土壤毛管持水量70%处理的结实率最高, 秕谷率最低。比40%处理的低25.08%, 比90%处理的低15.21%。1987年设水分过多(100%)处理与70%处理比较差异亦达到极显著水平。说明结实期间土壤水分以保持土壤毛管持水量的70%对结实最为有利, 水分不足和水分过多对结实均为不利。在当今气候条件下, 干旱对结实的影响更为强烈。千粒重的结果也同时证明,

表2 结实期土壤水分对谷子结实的影响 (2年平均)

项 目	土壤水分 (%)	$\bar{x} \pm S$	SSR	
秕谷率 (%)	40	54.36 \pm 5.83	a	A
	90	50.07 \pm 5.77	a	AB
	70	43.46 \pm 4.31	b	B
	90	3980.6 \pm 586.5	a	A
成粒数 (个/穗)	70	3643.2 \pm 269.2	b	A
	40	2425.3 \pm 256.6	c	B
	70	3.47 \pm 0.08	a	A
千粒重 (g)	90	3.27 \pm 0.21	b	B
	40	3.22 \pm 0.09	b	B
	90	14.26 \pm 1.78	a	A
产量 (g/株)	70	14.00 \pm 0.98	a	A
	40	9.05 \pm 1.19	b	B

占土壤毛管持水量70%处理的最有利, 平均为3.47 \pm 0.08克, 比90%和40%处理的分别高6.1%和7.8%。从产量和成粒数来看, 均以占土壤毛管持水量90%处理为最高。产量比40%的处理增产57.6%, 但与70%处理的差异不明显。成粒数平均为3980.6 \pm 586.5粒/穗, 比70%处理的多9.26%, 比40%处理的多64.13%。这与作者以前的结果是一致的[5]。占土壤毛管持水量90%处理的产量和成粒数最高的原因, 可能是抽穗期开始处理时, 正值谷子花粉母细胞减数分裂形成四分孢子时期, 多水处理(90%)对成花数有促进作用, 而成粒数与成花数呈高度正相关。

二、土壤水分对谷子结实的生理效应

1. 对叶片水分状况的影响

表3 土壤水分对谷子叶片水分状况的影响 (1986年)

土 壤 水 分 (%)	相对含水量 (%)		饱和亏缺 (%)		水 势 (-bar)	气孔阻力 (s/cm)		蒸腾强度 ($\mu\text{g}/\text{dm}^2 \cdot \text{s}$)	
	$\bar{x} \pm S$	SSR	$\bar{x} \pm S$	SSR		$\bar{x} \pm S$	SSR	$\bar{x} \pm S$	SSR
90	88.40 \pm 0.71	A	11.60 \pm 0.71	C	-20.71	4.86 \pm 1.00	B	4.901 \pm 0.997	a A
70	81.18 \pm 1.00	B	18.82 \pm 1.00	B	-25.22	6.01 \pm 1.33	B	3.832 \pm 0.906	a A
40	71.02 \pm 0.39	C	28.98 \pm 0.39	A	-31.15	22.24 \pm 4.80	A	1.130 \pm 0.231	c B

注: 环境温度28.9℃, 环境湿度18.4%, 照度1890 μE

表 3 指出，土壤水分越高，叶片含水量越高。体内水分变化主要是自由水的变化，在供水充足的情况下自由水含量增高，为细胞中胶体束缚水不受损害提供保证，细胞液浓度和渗透压降低，保证最有利地进行生理过程〔7〕。如果缺水受旱（40%处理）则会出现严重的水分亏缺，比供水充足的饱和亏缺大54~149%。这一点与多布鲁诺夫和秋米娜的观点完全一致〔9〕。在这种情况下，由于水分亏缺，细胞水势加大（23.5~57.4%），气孔张开度减小，阻力加大。例如40%处理比70%和90%处理的气孔阻力大2.7~3.6倍，从而影响蒸腾作用和根系吸水，破坏体内的水分平衡。根据1987年测定结果，40%处理比70%和90%的蒸腾强度降低50.8~52.7%，根系吸水降低78.1~79.5%。气孔阻力改变，不仅影响体内外水分交换，也影响体内外的气体交换。

2. 对光合速率的影响

根据表 4 资料计算，90%处理的 2 年平均光合速率为 $62.91\text{CO}_2\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{h}$ ，70%处理的为 $58.8\text{CO}_2\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{h}$ ，而40%处理的只有 $19.79\text{CO}_2\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{h}$ ，亦即缺水受旱时，光合速率降低66.3~68.5%。结合蒸腾强度资料分析，90%处理，由于蒸腾每消耗 1 克水分固定 CO_2 8.37 克，70%处理由于蒸腾每消耗 1 克水分固定 CO_2 7.35 克，而40%处理的只能固定 CO_2 0.28 克，使水分利用率降低96.2~96.7%。说明由于土壤水分不足，造成营养物质大大降低，因此严重影响谷子的结实。

表4 土壤水分对谷子光合作用的影响 ($\text{CO}_2\text{mg}/\text{dm}^2 \cdot \text{h}$)

土 壤 水 分 %	1986 年		1987 年	
	$\bar{x} \pm S$	SSR	$\bar{x} \pm S$	SSR
90	56.12 ± 5.83	a A	69.69 ± 6.68	a A
70	55.06 ± 7.53	a A	62.54 ± 7.99	a A
40	13.14 ± 4.63	b B	26.44 ± 7.83	b B

注. 1986年环境温度28.9℃，照度1940μE，流量30L/h。

1987年环境温度27.1℃，照度1020μE，流量30L/h。

土壤水分对谷子光合速率的影响，除了气孔开张度改变外，一是低分子产物的形成，而高分子产物合成减缓〔8〕，二是叶绿体改变。表 5 资料表明，土壤水分改变时对叶绿素含量影响较大。以1987年的试验结果为例，土壤水分不足，使叶绿素含量降低30.7~32.8%。研究表明，基粒垛叠的程度与叶绿体内叶绿素总含量直接相关。叶绿素含量增高，说明叶

表5 土壤水分对叶绿素含量的影响 (%)

土 壤 水 分 (%)	1986 年 (干重)			1987 年 (鲜重)		
	a	b	a+b	a	b	a+b
90	3.9656	1.9330	5.8972	1.5223	0.6867	2.2090
70	3.2098	1.6253	4.8337	1.4572	0.5936	2.1408
40	2.8961	1.5410	4.4352	1.0267	0.4577	1.4844

绿体基粒片层的数目增多。在供水不足的情况下,叶绿素总量降低,造成叶绿体的基粒片层数目减少,吸收的光量子也就减少,光能转化效率必然降低。

3. 对代谢的影响

从表 6 可看出,随着土壤水分的降低,谷子细胞膜电导率提高,透性加强,土壤毛管持水量 40% 处理的细胞膜电导率比 90% 处理的高 13.2%。说明在土壤水分胁迫下,谷子细胞膜受到一定程度的破坏。因此,体内新陈代谢的生化过程必然发生相应的改变。

表 6 不同水分条件下细胞膜伤害率的变化

土壤水分 (%)	电 导 率 (%)			电 导 率 增 减 相 对 值
	1986年	1987年	\bar{x}	
90	10.9	8.8	9.85	100
70	11.2	9.8	10.50	106.6
40	12.3	10.0	11.15	113.2

8 月 1 日、26 日两次测定土壤水分对谷子呼吸强度的影响,90% 处理的呼吸强度平均为 $0.5788\text{CO}_2\text{mg/g} \cdot \text{h}$, 70% 处理为 $0.6329\text{CO}_2\text{mg/g} \cdot \text{h}$, 而 40% 处理的仅为 $0.4774\text{CO}_2\text{mg/g} \cdot \text{h}$ 。表明在土壤水分胁迫下,呼吸作用被抑制 17.5~24.6%。在这种情况下,体内氧化磷酸化过程降低,碳水化合物的合成代谢被削弱,同时,体内苏氨酸、丝氨酸、精氨酸的数量减少,而脯氨酸、天冬氨酸、天冬酰胺等增加 [7]。我们测定的结果 (表 8) 证明,在土壤水分降低的情况下,植株脯氨酸含量明显增高,40% 处理的比 70% 和 90% 处理的平均增加 4~5 倍。在土壤水分胁迫下,脯氨酸含量增加,可能是由于蛋白质的合成被破坏的结果 [7]。

表 7 土壤水分对谷子呼吸强度的影响 ($\text{CO}_2\text{mg/g} \cdot \text{h}$) (1986年)

土壤水分 (%)	8 月 1 日 测 定		8 月 26 日 测 定	
	$\bar{x} \pm S$	SSR	$\bar{x} \pm S$	SSR
90	0.6558 ± 0.0465	a A	0.5017 ± 0.0528	a A
70	0.6231 ± 0.0175	a A	0.6427 ± 0.0828	a A
40	0.5201 ± 0.0402	b A	0.4346 ± 0.0504	b A

表 8 不同土壤水分对谷子脯氨酸含量的影响

土壤水分 (%)	脯氨酸含量 ($\mu\text{g/g}$)		
	1986年	1987年	\bar{x}
90	150	250	200
70	225	250	237.5
40	1625	800	1212.5

4. 对根系活性的影响

1987年我们测定了不同土壤水分处理下根系伤流量的变化（见表9），70%处理根伤流量最大，90%的处理次之，水分过少或过多伤流液降低极为明显，40%处理比70%处理降低79.9%，100%处理比70%处理降低29.6%。100%处理与90%处理在1%水平上差异不明显。土壤供水不足，使植株体内代谢速率减慢，伤流量减少。土壤水分过多，造成土壤通气不良，根系呼吸减弱，生理活性降低，褐色根增加〔5〕，伤流量降低，致使地上部早衰，黄叶率增加，叶面积下降，干物质减少〔5〕，对结实造成不利的影响。

表9 不同土壤水分条件下谷子根系伤流量的变化

土壤水分 (%)	伤 流 量 (mg/株/h)		
	$\bar{x} \pm S$	SSR	
70	227.75 \pm 43.63	a	A
90	213.00 \pm 19.85	a	AB
100	160.40 \pm 52.48	b	B
40	46.73 \pm 32.61	c	C

结 论

1. 孕穗阶段土壤水分对谷子结实影响不大。这一阶段的水分条件主要是促进生长，促进幼穗分化，形成较多的小花，可以增花增粒。

2. 结实期间土壤水分对谷子结实影响较大。土壤水分过多和过少都能显著降低结实率，增加秕谷率，从而减少成粒数和产量。这一时期最适宜的土壤水分是保持土壤毛管持水量的70%左右。

3. 土壤水分影响谷子结实的生理基础，首先是影响根系活性和体内水分状况，土壤水分不足或过多，伤流量降低，水分亏缺增加，进而影响叶片的光合和呼吸速率，导致体内物质代谢发生改变，细胞膜透性、脯氨酸含量增加，使有机营养合成受阻，结果穗部营养贫饥，形成大量秕谷。

参 考 文 献

- 〔1〕 山西省农业科学院主编：《中国谷子栽培学》，北京，农业出版社，1987：63—71
- 〔2〕 张履鹏。《粟及其栽培技术（修订本）》，北京，农业出版社，1981：72—78
- 〔3〕 任惠儒等：谷子不同品种类型的种子发芽对水分要求的初步研究：《中国农业科学》，1963（9）：50—51
- 〔4〕 李东辉等：春粟增粒的水分临界期，《河北农学报》，2（2）1963：33—40
- 〔5〕 古世祿：谷子需水规律研究，《山西农业科学》，1980：（6）10—11
- 〔6〕 古世祿等：库源比对谷子（粟）结实的影响，《中国农业科学》，21（3）1988：27—33
- 〔7〕 佩季诺夫，H.C.等：在各种供水条件下植物的水分状况及某些生理过程与生产率的相互关系，《植物水分

- 状况与物质代谢和生产率的关系》(俄文),苏联科学院出版社,1963: 3—22
- [8] 斯塔尔采娃, A.B.: 关于植物的水分状况与物质代谢的关系问题,《植物水分状况与物质代谢和生产率的关系》(俄文),苏联科学院出版社,1963: 133—138
- [9] 道布诺夫, И.Г.: 植物个体发育过程中水分状况指标的变化 《植物水分状况与物质代谢和生产率的关系》(俄文),苏联科学院出版社,1963: 62—72

Influence of Soil Moisture on Foxtail Millet Seed Setting and Its Physiological Efficiency

Gu Shilu Ma Jianping Du Jun'e

(Crop Genetic Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Sciences, Taiyuan, 030031)

Abstract

It is in the booting stage that the soil water influences seed setting of foxtail millet (*Setaria italica* Beauv.). When soil water is too much or too little, the seed setting rate, seed number per spike and yield all decline obviously. The best condition for grain development is to keep soil moisture at 70% of capillary water. Insufficient of soil water affects the root system activity and water status inside of plants first, therefore, influences the air exchange between inside and outside of plants, reduces the rate of photosynthesis and respiration of the leaf, lowers the permeability of cell membrane, causes changes of substances metabolic process, and decrease of the accumulation of organic matters, and results in nutritional inadequacy of the spike and in formation of abortive grain. When soil water is excessive, the aeration is poor, the activity of root system is affected, the bleeding decreases, metabolic process and substances transport in plant are controlled. So the nutrition in spike is poor and the abortive grain is formed.

Key words: Foxtail millet; Soil water; Seed setting rate; Abortive grain rate