

无机营养和水分胁迫对春小麦生长发育和产量形成的影响

徐 萌 山 仑

摘 要

营养缺乏和水分胁迫各自对春小麦的生长发育和产量形成有直接影响。分析了春小麦的植株水分状况、生育期、叶片生长、干物质积累和产量构成等在受到水分胁迫下的变化后,认为在一定水分胁迫条件下增加无机营养,能促使春小麦绝对产量显著增加;生活在营养缺乏条件下的春小麦则能产生一系列适应于干旱环境的性状,遇到水分胁迫时受到的影响相对较小(营养充足条件下水分胁迫使产量下降的比率大于营养缺乏条件下的比率)。据此如何掌握各种不同程度干旱下的施肥技术,既能使作物维持必需的生长量,同时又能抵御一定程度的水分胁迫,是一个值得进一步研究的问题。

黄土高原的广大地区处于降水稀少的干旱半干旱地区,由于水土流失和土地利用不合理等诸多原因,该地区土壤肥力亦明显不足。增施肥料以提高旱地作物单产的技术已被广泛地采用^{[1][2]}。

水分胁迫和营养不足都对作物的生长发育有不利影响。作物的产量形成是以其生长发育作为基础的,通过比较研究水分胁迫和营养不足对作物的生长发育及产量构成的影响,有助于了解水分、营养对作物的相互作用,为揭示旱地合理增施肥料以提高作物产量提供必要的依据。

前人在水分胁迫和无机营养对作物生长发育及产量影响方面已做过一些工作^{[2][5][6]},但大多局限于旱地的田间试验,往往缺少与营养缺乏供水充足处理的比较,都是统一将各处理与营养、水分均充足的处理作对比。这样就可能造成对水分胁迫和营养缺乏对作物生长发育和产量的影响及其交互作用的分析带有片面性。

一、材料和方法

选用宁夏固原县旱地普遍栽培的农家春小麦品种红芒麦(*Triticum aestivum* L. cv *Hongmang*)进行盆栽土培试验。盆土采自固原县跃砚的瘠薄农田,取0—20cm的表土。该地块前茬为春小麦。土壤养分含量分析结果见表1。

表1 盆土养分含量分析

项目	有机质 (%)	全 氮 (%)	碱解氮 (mg/100g土)	速效磷 ppm	速效钾 ppm
含量	1.19	0.08	4.99	8.41	136.3

每盆装干土7500g。营养水平分为施肥、不施肥两种。施肥处理以0.1g氮/kg干土、

0.1g氧化钾/kg干土、0.1g五氧化二磷/kg干土的标准，将尿素、三料过磷酸钙、硫酸钾作底肥分别拌入每盆土中。

在春小麦生长发育过程中，用称重法控制盆土水分含量。盆土最大毛管持水量为29%。水分胁迫方式分为逐渐干旱和长期恒定干旱。在逐渐干旱中，控制土壤含水量以每天相当于盆土最大毛管持水量2%左右的量向下降。水分胁迫处理的时间和方法见图1。

从图1中可看出，水分胁迫处理可分成三种：一是前期干旱(苗期—拔节期)；二是后期干旱(孕穗后期—开花期)，三是除过三叶期前和灌浆期的长期干旱。两个营养水平

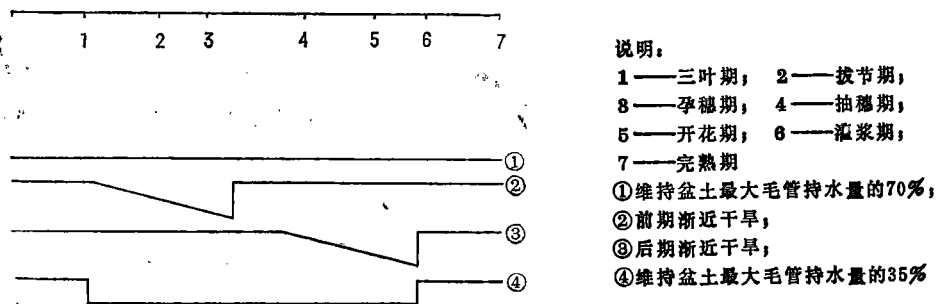


图1. 干旱处理时间和方法示意图

和三种水分胁迫交叉，共有如下几种处理方式：

WH ₁ ：施肥供水充足；	WL ₁ ：不施肥供水充足
DH I ₁ ：施肥前期干旱；	DL I ₁ ：不施肥前期干旱
DH II ₁ ：施肥后期干旱；	DL II ₁ ：不施肥后期干旱
DH'：施肥长期干旱；	DL'：不施肥长期干旱

二、结 果

1. 无机营养和水分胁迫交互作用对春小麦生长发育期的影响：

从播种到出苗后三叶期，施肥处理的地上部与不施肥基本一致，但当不施肥处理第三叶还没有完全伸展以前，施肥处理的第三叶快速展开，并长出第四片叶。直到生长期结束，施肥处理的叶片数始终比不施肥处理多一片叶。施肥处理同时还有分蘖产生(拔去)。

表2 营养和水分胁迫对春小麦生长发育期的影响 (单位：天)

处 理	播种~出苗	出苗~三叶期末	出苗~挑旗	出苗~抽穗	出苗~成熟
WL	12	30	70	79	110
DLI	12	30	67	79	110
DLII	12	30	66	80	108
DL'	12	30	67	77	106
WH	12	27	69	77	110
DHI	12	27	66	77	110
DH I	12	27	64	78	104
DH'	12	27	65	74	102

从春小麦生长发育过程中较明显的形态特征在营养和水分胁迫交互作用下的日期变化,可以看出:

(1)营养水平的高低对春小麦生长发育期长短有影响,不过其影响没有水分胁迫的大。营养充足时,各生育期略有提前。

(2)遭受水分胁迫后,春小麦各生育期普遍有所提前,长期干旱及后期干旱尤为明显。不过后期干旱因使旗叶挑出及抽穗的伸长生长受抑,故而挑旗、抽穗期推迟。

(3)遭受水分胁迫后,施肥处理的生育期较不施肥处理提前更多的天数。

水分胁迫致使春小麦生育期提前可能与春小麦受到水分胁迫伤害后造成早衰有关。

2. 两个不同时期逐渐干旱对叶片水分状况的影响:

控制盆土含水量每天以其最大毛管持水量的2%向下降时,小麦叶片的水势(ψ_w)和相对含水量(RWC)都随之降低,在盆土含水量为其毛管持水量的50%以上时, ψ_w 和RWC下降都较缓慢,说明土壤水势在该含水量以上范围时变化不大。在相当于盆土最大毛管持水量50-30%含水量范围内,植株明显遭受轻、中度水分胁迫,此阶段施肥处理植株的叶片水势都低于不施肥的,且下降也较快(见图2),表明施肥处理比不施肥处理受到了更严重的水分胁迫。因为水势已被认为是反映植物遭受水分胁迫程度的衡量尺度。相对含水量的测定结果与此有类似趋势。

从春小麦两个不同生育期遭受逐渐干旱时水分状况变化的情况,可以看出高营养水平会使植株对水分胁迫更为敏感,更易受到水分胁迫的伤害。施肥处理达到永久萎蔫点的盆土含水量也较不施肥处理相对高10%,也证明了这一点。

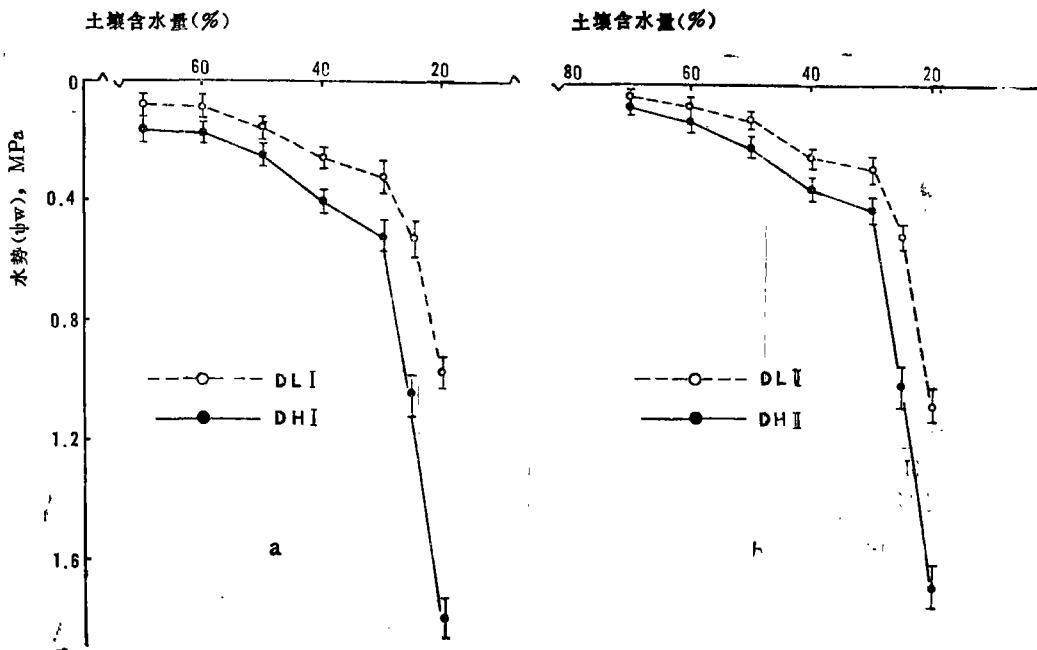


图2 前期和后期干旱时春小麦叶片水势的变化

3. 营养和水分胁迫对生长的影响:

作物产量的高低、干物质积累的多少与作物叶片的生长和叶面积大小有直接关系,

现在普遍认为水分胁迫首先影响的是生长过程。生长过程的阻抑使叶片的伸长和叶面积扩张减小。营养缺乏同样也使作物的生长受到抑制^[9]。通过不同处理叶片长度和叶面积大小的变化可以看到营养和水分两因素在小麦生长过程中所起的作用。

前期逐渐干旱处理过程中,施肥春小麦植株伸展的第五叶、第六叶、第七叶最大长度分别比正常水分供应下减小1%、16%、36%;不施肥春小麦植株伸展的第四叶、第五叶、第六叶最大长度分别比正常供水下减小1%、7%、23%。这表明,随着干旱程度加剧,叶片延伸生长受抑程度比不施肥处理大。长期干旱处理中,施肥植株叶片最大长度也都比不施肥的受抑程度大(图3)。

水分胁迫和营养缺乏都对生长有影响,但二者对生长的抑制有交互作用,并不是二者的简单累加。从水分胁迫和营养缺乏对株高的影响结果中也可证实这一点(表3)。以长期干旱为例,对DL'处理,既有水分胁迫又有营养缺乏,单纯由水分胁迫作用使株高减低23%,单纯由营养缺乏作用使株高减低38%,二者累加是61%,但实际上DL'的株高却只比水分、营养都充足的WH株高减低47%。分析其原因,从表3中可看出,高、低营养水平对水分胁迫的植株生长影响不一样,在三种水分胁迫处理中,施肥植株的株高分别比其对照WH降低8%、24%、23%,而不施肥植株分别比其对照WL降低2%、21%、23%,可见高营养水平的株高在水分胁迫时要比低营养水平的株高减低更大。

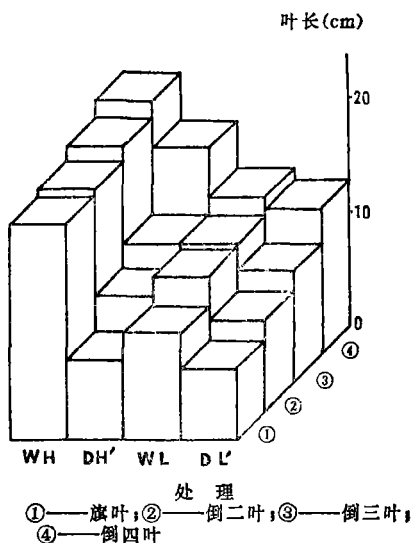


图3 营养和水分条件对春小麦植株顶部几个叶片生长的影响

表3 水分胁迫和营养缺乏交互作用对春小麦株高的影响

水分 营养	W 株高(cm)	D1		D2		D'	
		株高(cm)	较W 减小%	株高(cm)	较W 减小%	株高(cm)	较W 减小%
H(高)	81.5±2.4	75.0±1.0	8	61.8±2.2	24	63.0±2.6	23
L(低)	50.4±1.8	49.6±2.1	2	39.8±2.6	21	42.8±1.1	15
L较H 减小%	38	34		36		32	

注 H: 高施肥水平, L: 低施肥水平, W: 正常供水 D1: 前期逐渐干旱, D2: 后期逐渐干旱, D': 长期恒定干旱。

4. 营养和水分胁迫对干物质积累的影响:

本试验中,同株高、叶生长的反应一样,营养缺乏对小麦干物质积累的影响要大于水分胁迫。从收获时地上部干重和地下部干重的结果比较可知,单纯由营养胁迫引起地上部干物质减少71%。前期、后期和长期的水分胁迫对施肥处理的影响,分别比水分充

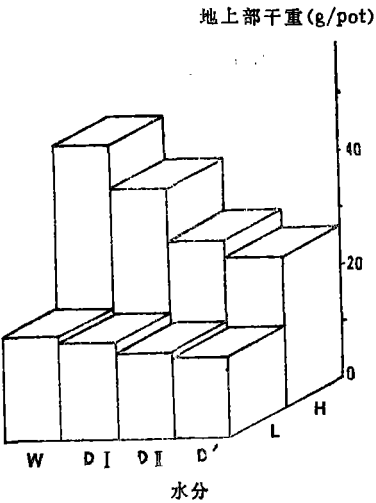


图4 营养和水分条件对春小麦地上部干重的影响

足时减少15%、37%、43%，而对不施肥处理的影响分别比其水分充足时减少7%、23%、29%(图4)。营养和水分胁迫对地下部干物质积累有相同趋势的影响。由此也表明，施肥处理对水分胁迫更为敏感，遭受水分胁迫后，干物质积累的降低也较不施肥处理大。

5. 营养和水分胁迫对产量构成因素的影响：

构成春小麦个体产量主要包括两个因素，即每穗粒数和粒重。每穗粒数又是与每穗上有效小穗数目相互制约的。营养和水分胁迫除通过对小麦的生长过程的影响而影响其产量构成因素外，还可直接作用于其生殖过程，对产量产生影响(见表4)。

营养缺乏使每穗有效小穗数、每穗粒数及千粒重都减低，导致减产。对供水充足的不施肥处理，其产量只达施肥的29%。小麦的生长发育期的各个阶段都

离不开营养供应^[7]，因此不论在湿润还是在干旱条件下，贫瘠土壤中不施肥都会造成小麦大幅度减产。

表4 营养和水分胁迫对春小麦产量构成的影响*

处 理	有效小穗/穗	粒数/穗	籽重(g)/盆	千粒重(g)
WL	6±1	10±2	5.47±0.23	22.24
DL I	6±1	9±2	5.02±0.45	23.05
DL II	5±1	8±1	3.70±0.30	20.98
DL'	5	5±1	3.40±0.14	29.93
WH	13±1	29±4	18.85±0.70	29.44
DHI	12±1	22±2	16.63±0.66	28.96
DH II	11±1	16±4	10.87±0.79	29.66
DH'	9±1	11±2	10.78±0.54	37.80

* 计产每个处理5个重复，每穗有效小穗数和粒数于每个重复各取4~5株计数。每盆株数为25株。

前期水分胁迫对产量的影响没有后期影响大，造成减产的主要原因是减少了每株有效小穗数和每穗粒数，由此看来水分胁迫对前期穗的分化过程仍有轻度的影响，而对生长的抑制，减小了同化面积和同化产物积累是每穗粒数减少的主要原因；后期的水分胁迫对小麦的产量影响极大，孕穗期水分胁迫使穗子变短，每穗小穗数减少，每小穗上分化的小花数减少，开花期的缺水增加了败育的小花或抑制了开花^{[7][10]}，这些都是后期水分胁迫导致每穗有效小穗数和每粒穗数大大减少的原因；在长期水分胁迫中，施肥和不施肥处理的每穗有效小穗数及每穗粒数都有较大幅度的下降，这是水分胁迫对小麦生长发育各过程累积作用的结果。不过二者的千粒重却有很大的提高，这与一些学者的结果相同^{[1][8][4]}。产生这种情况可能是因为缺水使营养体的贮存物质提早向穗子输送^[8]，这一点与本试验中遭受水分胁迫的小麦生长发育期的提前是相吻合的。此外，千粒重的提高也与水分胁迫对小穗、花分化的影响或抑制开花，减少了小麦“库”的数量，而使植株体

内物质可以集中运向较少数的籽粒,使其更饱满充实有关。

从收获后的经济产量也可看出这种趋势,在营养缺乏的处理中,水分胁迫(三种情形)下,每盆籽重分别比水分充足的降低8%、32%、37%;在营养充足的处理中,水分胁迫的三个处理分别比水分充足的每盆籽重降低12%、42%、43%,即水分胁迫对高营养条件下生长的植株影响更大些。

三、讨 论

综合营养缺乏和水分胁迫对春小麦生长发育过程的作用结果,可认为,营养缺乏对植物的影响在许多方面与水分胁迫类似。首先使小麦植株生长过程受到阻碍,如株高、叶面积等在营养缺乏时都减小,营养缺乏还使春小麦产生了类似于适应水分胁迫的抗旱生理生化和形态解剖性状^[11],故而再给营养缺乏条件下生长的植株以水分胁迫时,因为有了对干旱的适应性,所以对水分胁迫不甚敏感,受到的伤害也较轻。在受到水分胁迫时,无论是各生育期天数、叶片生长量、株高、地上和地下部干重,还是最后的经济产量所受到的影响都相对小于营养供应充足的植株。

植物对逆境胁迫的反应有某些共同的生理生化和形态结构基础,在植物对低温、高温、盐碱、重金属、大气污染物等的反应中都可见到一些类似的生理生化及形态结构上的适应反应或调控机制。营养缺乏也应归属于逆境胁迫的范畴^[9],因此,营养缺乏时植物产生的一些适应性反应或许对它在遭受水分胁迫时是有利的。

在水分胁迫时,虽然营养供应充足的春小麦植株生长和物质生产受到的相对影响比营养缺乏的植株大,但是,从施肥的效果看,营养作为小麦生长、发育、繁殖过程中必需的物质来源及其对植株的长期效用,对于植株生长和物质生产的作用是很大的,营养缺乏的植株与供给充足的相比,不论在供水充足条件下或是水分胁迫条件下,生长及物质生产的绝对量都小得多。在本试验中,水分胁迫使小麦籽粒产量下降36.4—42.8%,营养缺乏则使籽粒产量下降68.5—80.0%,因此,在肥力不足的旱地,适当增施肥料,如果在干旱不十分严重的年份里,会大大促进作物的生长和物质生产,而因干旱引起的伤害则较小,使作物产量增加。但在严重干旱时,施肥不当则会使作物遭受更严重的水分胁迫,导致减产或增产效益不大。这在很多试验中已得到证实^{[2][8]}。

如上所述,在水分胁迫下,增加无机营养使春小麦绝对生长量和产量显著增加,但营养充足条件下水分胁迫造成产量下降的比率大于营养缺乏条件下的下降比率,据此判断,旱地施肥作为一项重要的抗旱增产措施,通过它来提高旱地作物产量主要是营养物质本身的作用(包括促进根系的扩展,利用土壤深层储水)。根据气候条件、土壤储水量、土壤基础肥力以及作物品种的特性等,找出干旱条件下的最佳施肥量和比例,既使作物维持必需的生长量,同时又能抵御一定程度的水分胁迫,在生产实践上具有重要意义。

参 考 文 献

- (1) 山仑:我国西北地区植物水分研究与旱地农业增产,《植物生理学通讯》,1983, 5: 7—10。
- (2) 辛业全、黄洪海等:水土流失区旱地合理深施肥料的增产效益,《水土保持通报》,1986, 1: 20—26。
- (3) 余叔文:在不同养料和水分供应条件下小麦粒重分布的研究,《植物生理学报》,1964增刊: 272—283。

- (4) 余叔文、王怀智等,后抽穗土壤供水条件对小麦干物质积累和运输的影响,《植物生理学报》,1984, 1, 78-89。
- (5) 许旭旦:旱作农业中的合理施肥及其生理基础,《干旱地区农业研究》,1985, 2, 56-71。
- (6) 黄洪海、万惠娥:春小麦在不同水分和营养条件下的生理反应,《宁夏农业科技》,1985, 6, 7-10。
- (7) 黄祥辉、胡茂兴:《小麦栽培生理》,上海科学技术出版社,1984。
- (8) Begg, J.E.and N.C.Turner(1976) Crop water deficits Adv.Agron.Vol.28, 161-217。
- (9) Greenwood, E.A.N.(1976) Nitrogen stress in plants Adv.Agron.Vol.28, 1-35。
- (10) Kirkham, M.B.and E.T.Kanemasu(1983) Wheat In, Crop-water Relations, eds.I.D.Teare and M.M.Peet, John Wiley and Sons, Inc.pp,481-520。
- (11) Kramer, P.J.(1969) "Plant and Water Relationships,A Modern Synthesis."Mc Graw-Hill, New York.

Interactive Effects of Mineral Nutrients and Water Stress on the Growth, Development and Yield Components of Spring Wheat

Xu Men

Shan Lun

Abstract

Both mineral nutrient deficiency and water stress have direct effects on the growth, development and yield of spring wheat. Changes of plant water relations, developmental periods, elongation of leaves, accumulation of dry matter and yield components, which was resulted from mineral nutrient deficiency and/or water stress, were determined. It can be concluded that under certain water stress the absolute yield of spring wheat increases significantly with the increasing of mineral nutrient. The spring wheat under mineral nutrient deficiency could be obtained a lot of characteristics to adapt to drought. When water stress occurred under mineral nutrient deficiency, the influence on spring wheat would be smaller than that under enough nutrient supply. (The proportion of yield decrease under enough nutrient supply was more than that under nutrient deficiency when water stress occurred). It follows that how to determine the fertilizing technique with which the crop can maintain necessary growth as well as resist moderate water stress under water stress, is a problem to study progressively.