

底墒与磷肥互作对春小麦产量形成的影响

李凤民, 刘小兰, 王 俊

(兰州大学干旱农业生态国家重点实验室, 兰州, 730000)

摘要:研究了浇底墒水和施磷肥对春小麦产量形成的影响。实验设 4 个处理: 对照(CK); 耕作层施磷(P); 浇 30 mm 底墒水(W); 施磷加浇 30 mm 底墒水(PW)。测定土壤含水量、根系生物量、地上生物量和测产等。结果表明, WP 处理根重和中下层分配比例均较高, 与 W 处理相比, WP 处理利用底墒并没有增加, 但水分利用效率和产量均增加。决定产量的主要因素是小麦早期小穗和小花形成的数量和质量。W 和 WP 两个浇底墒水的处理, 其土壤水分利用量平均为 34.6 mm, 略高于所浇的底墒水的量(30 mm)。CK、P、W、WP 等 4 个处理的籽粒产量分别为 917.7、1191.1、2516.5、2734.1 kg/hm², 水分利用效率分别为 0.186、0.192、0.172、0.207 g/(mm·m²)。

关键词:春小麦; 底墒; 磷肥; 水分利用效率; 产量; 根系

Effects of pre-sowing irrigation and P fertilization on spring wheat yield information

LI Feng-Min, LIU Xiao-Lan, WANG Jun (The State Key Laboratory of Arid Agroecology, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(11): 1941~1946.

Abstract: This paper investigated the effect of pre-sowing irrigation and phosphorus fertilizer supply on grain yield formation. Four treatments were employed: CK was as a control, P was phosphorus fertilizer applied in cultivated soil layer, W was pre-sowing irrigation with 30 mm water depth, WP was W plus P. Soil moisture, root and shoot biomass, and grain yield were measured in the given periods. The root biomass and its distribution in medium and down soil layers in WP treatment were higher than others. Compared to W treatment, water use from soil in WP treatment did not increase, but its water use efficiency and grain yield increased. The most important factors determining grain yield were quantity and quality of spikelets and florets formation in wheat plants. The mean water use from soil profile in W and WP treatments were 34.6 mm, it is light higher than the amount of pre-sowing irrigation. The grain yields in CK, P, W and WP treatments were 917.7, 1191.1, 2516.5, 2734.1 kg/hm², the water use efficiencies were 0.186, 0.192, 0.172, 0.207 g/(mm·m²).

Key words: spring wheat; pre-sowing soil moisture; phosphorus; water use efficiency; grain yield; root system

文章编号: 1000-0933(2001)11-1941-06 中图分类号: S153 文献标识码: A

水肥短缺一直是黄土高原旱作农业区提高农业生产力的主要限制因素^[1]。在这里长期的旱地农业发展中, 曾特别强调过增施化肥的重要性, 提出“以肥调水”的概念^[2, 3]。同时, 有一批学者致力于生态环境中水分条件的研究, 提出了“集水农业”的发展思路^[1]。过去多年以来施用化肥使旱地农业生产得到了长足发展, 进一步的发展就很自然地转向了旱地水分条件改善方面的研究。尽管本地区过去对土壤水分的研究已经很多, 但由于传统的旱作农业缺乏一定的可控水资源, 这些研究只能了解一定的水分运动规律, 不能有效地调节和控制土壤水分动态。集水农业的发展为旱作农业区提供了一定的可控水资源, 使人们对土壤水

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目(No. 2000018603)。

收稿日期: 1999-09-07; 修订日期: 2001-03-10

作者简介: 李凤民(1962~), 男, 河北人, 博士、教授。主要从事植物生态学与农业生态学研究。

分的调控力度大大增强,在这种背景下,结合土壤肥力来研究水分调控问题就成了目前以及今后一个时期内旱地农业的一个重要研究内容。本文旨在研究浇灌底墒水和施用磷肥对春小麦产量形成过程中相关要素的影响,以期为集水农业背景下农田水肥管理提供科学根据。

1 材料与方 法

试验于1997年在甘肃省定西县唐家堡农业试验站进行。该区海拔1970m,年均气温6.2℃,年辐射总量5898MJ/m²,年日照时数2500h,≥10℃积温2075.1℃,无霜期140d,属中温带半干旱气候。作物一年一熟,无灌溉,为旱地雨养农业,1958~1992年间年降水相对变率为24%,6~9月份降水量占年降水的68%,年均降水总量420mm,400mm降水保证率为48%。春小麦生长季节实验年份的降水与自由水面蒸发分布同常年均值对比见表1。

从表1可知,春小麦整个生育期间降水比平均少139.12mm,而日蒸发总量相差不大,作物生长的前期日蒸发量明显高于平均值。由于播种前底墒状况极差,几乎达到了凋萎系数(7.2%)。

表1 实验站春小麦生育期内降水量和自由水面蒸发量(mm)分布

Table 1 The precipitation and evaporation potential during spring wheat season at Dingxi experimental station

年 Year		21~31. March	April	May	June	July	全生育期 Whole period
1997	Rainfall	1.0	43.6	20.6	11.8	34.9	111.9
	Evapor.	107.30	176.00	174.40	264.30	205.73	867.63
1990	Rainfall	24.83	51.70	55.13	76.53	77.34	281.93
~1997	Evapor.	97.50	159.29	218.01	219.34	181.87	858.68

试验土壤为黄绵土,含有机质11.7g/kg,速效氮67.4ug/g,全磷(P)0.61g/kg,速效磷(P)3.44ug/g。前作扁豆,扁豆收获到播种小麦前休闲期为242d。播前普施纯氮90kg/hm²,磷肥按52.4kgP/hm²分处理施入。

试验材料为春小麦(*Triticum aestivum* L.)陇春8139-2,于1997年3月21日播种,穴播,行距15cm,穴距11cm,播量262.5kg/hm²。试验设4个处理:对照(CK),耕作层施磷(P);浇灌30mm底墒(W);施磷加浇灌30mm底墒(PW)。每处理3重复,每小区5m×4.5m=22.5m²,随机区组排列。因作物生长前期降雨偏少,土壤过于干旱,为保证试验正常进行,在作物的抽穗开花期所有小区均浇水15mm,成熟后收获测产。

每15~20d用烘干法(0~40cm)和中子仪法(40cm以下)测定土壤含水量;出苗后每20d在每个小区的采样区随机采样15~20株,75℃下恒温48h,称重;在拔节期、开花期和灌浆期分别用直径8cm土钻取根系土样,清水冲洗、分层测定根系生物量;两个地膜覆盖处理于7月8日收获,两个非地膜覆盖处理于7月15日收获,收获后进行测产及考种。

2 结果分析

2.1 土壤供水与作物耗水量

表2为生育期内土壤供水和作物耗水情况。播前浇灌底墒大大增加了前期土壤供水和作物耗水,在生长后期土壤供水量与相应的对照基本一致。W和WP处理的总耗水量很接近,二者平均为193.8mm,CK和P处理的均值为159.2mm,前者比后者均值高34.6mm,大于播前底墒灌溉量(30mm),表明底墒灌溉全部被作物所利用。总体来看,在作物耗水量中,CK、P、W和WP处理的土壤供水量分别占作物耗水量的18.3%、20.0%、34.6%和31.3%,尽管本年度降水偏少,但降水仍然占春小麦耗水量的主体,后期土壤供水的降低与前期供水过度且土壤水分没有得到有效补充有关。

磷素对土壤供水及作物耗水的影响均不显著。

2.2 根系生长和分布

表 2 不同时期土壤供水量和作物耗水量 (mm)

Table 2 The evapotranspiration and the amount of water supplied by soil in different stage

播种后天数 DAS(d)		1~50	51~70	71~90	91~116	Total
CK	土壤供水 Water supplied from soil (mm)	-4.41	14.33	17.95	1.23	29.1
	耗水量 Evapotranspiration (mm)	41.19	33.93	42.35	41.53	159.0
P	土壤供水 Water supplied from soil (mm)	-3.29	16.99	17.35	1.41	32.4
	耗水量 Evapotranspiration (mm)	42.31	36.50	41.75	41.74	162.3
W	土壤供水 Water supplied from soil (mm)	7.66	28.22	32.51	0.31	68.7
	耗水量 Evapotranspiration (mm)	53.26	47.82	56.91	40.61	198.6
WP	土壤供水 Water supplied from soil (mm)	3.37	31.29	26.61	0.80	59.1
	耗水量 Evapotranspiration (mm)	48.98	50.98	48.01	41.10	189.0
	降水量 Rainfall (mm)	45.6	19.6	24.4**	40.3	129.9

* DAS: 为播种后天数 Days after sowing. ** : 包含了 15 mm 人工浇水 Included 15 mm irrigation

从根系总干物质重来看(图 1),在拔节期,底墒灌溉处理能增加根重最高可达 72.09%,与未浇水处理差异显著,施磷对根系生长也有促进作用,但相对较弱。在开花期,各处理根重均显著增加,CK、P 和 W 处理均达到全生育期的最高值,P 和 W 处理均显著低于 CK, PW 处理与 CK 非常接近。灌浆期 CK 根系干重下降较多,P、W 处理下降相对较少,WP 处理仍有一定增加,说明干旱导致根系干重下降,而浇底墒水和施磷对保持根系大小,延长生活期有一定帮助,特别是在浇灌底墒的同时施磷肥,有助于根系的持续生长。

从根重空间分层来看(表 3),P、W 和 WP 在拔节期均能增加各层根重,W 和 WP 处理的 20~40cm 根系

生物量均高于 CK 和 P 处理,表明浇底墒水促进了根系生长和下扎,在此时期,施磷肥对根系的生长主要

表 3 不同处理对根垂直分布的影响 (g/cm³)

Table 3 The influence of various treatments on root spatial distribution

土壤深度 Soil depth (cm)	CK	P	W	WP
拔节期 Joint				
0~20	14.950a	20.399b	22.873b	28.659c
20~40	2.806a	3.174a	7.684b	8.179b
Total	17.756a	23.573ab	30.557b	36.838bc
开花期 Anthesis				
0~20	33.325a	26.330b	25.112b	26.922ab
20~60	16.904a	12.039ab	9.241b	18.514a
60~120	6.381ab	4.925ab	3.198a	9.749b
Total	56.61a	43.294ab	37.551b	55.235a
灌浆期 Grain filling				
0~20	17.728a	20.865a	18.106a	35.864b
20~60	7.949a	9.066a	9.027a	17.596b
60~120	6.784ab	1.022a	7.358ab	8.808b
合计 Total	32.461b	33.953b	34.191b	62.268a

同一行字母不同表示差异显著 ($P=0.05$), Means within rows followed by different letters are significantly different at $P=0.05$

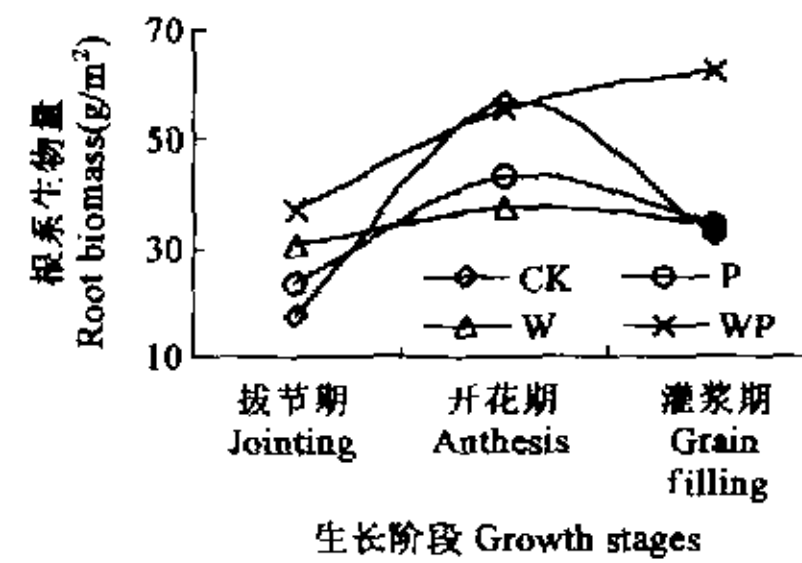


图 1 不同处理根系生物量动态

Fig. 1 Root biomass dynamics

表现在上层,下层根系基本不受影响。开花期,WP处理相对于P和W两个处理而言不仅增加或显著增加了各层根重,而且增大了中层根和下层根的比例,P处理也有很明显的根系下扎的趋势,W处理也有同样的趋势,但不及前二处理明显。灌浆期相对于开花期而言,CK、P和W处理各层根重均下降,但绝对水平P和W处理略高于CK,WP处理中下层根系有轻微下降,而上层根系却有明显增加。表明,P、W两因素都有维持根系生活能力的作用,且二者联合作用对此有显著的强化作用。

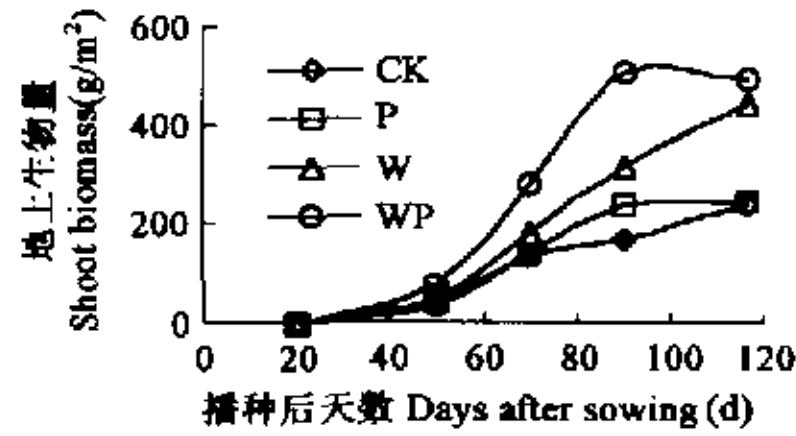


图2 不同处理地上生物量动态
Fig. 2 Root biomass dynamics
in various treatments

2.3 干物质积累和分配

图2是不同处理单位面积地上部分干重变化,4个处理在播种后50d以前基本没有差异,而后出现差异,表明P和W的效果主要表现为后效。WP和W处理在中后期一直显著高于P和CK处理,WP又显著高于W,在收获期W和WP又比较接近。值得注意的是,最后一个阶段,P和WP处理的地上生物量均不再增加,而CK和W则都有明显的增长,特别是W处理增长幅度最高。

从根冠比来看(表4),拔节期W和WP处理均显著高于CK和P处理,表明,浇灌底墒水有利于早期根系发育,P处理略高于CK,但不显著,施磷肥也有明显的促进根系生长的作用,但在水分条件较差时这种作用不显著。开花期,所有处理根冠比均大幅度下降,P、W和WP3处理之间已无显著差异,对照CK显著大于3个处理,表明CK处理把较多的干物质资源分配到了地下,这对提高籽粒产量不利。

表4 不同处理在不同发育时期的根冠比

Table 4 The root/shoot of various treatments on different development stages

	CK	P	W	WP
拔节期 Joint	0.433a	0.466a	0.731b	0.628b
开花期 Anthesis	0.070a	0.0415b	0.0283b	0.034b
灌浆期 Grain filling	0.033a	0.032a	0.025a	0.035a

2.4 产量及其构成

由表5可以看出,对照CK产量最低,WP和W处理产量显著高于CK和P处理,比对照CK增产197.93%和174.20%,比P处理增产129.5%和111.3%。施磷的处理P和WP分别比相应的非施磷处理CK和W增产29.8%和8.6%,增产幅度低于浇水,且WP和W之间差异不显著。

表5 不同处理对春小麦产量及其构成的影响

Table 5 Effects of various combinations of treatments on yield and its components

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	千粒重 Thousand-grain weight (g)	穗长 Length of spike (cm)	有效小穗数 Fertile spikelets	穗粒数 Grain number per spike	收获指数 Harvest index	穗数/m ² Spikes per m ²
CK	917.7c	33.633c	4.32c	4.72f	6.11d	0.464b	446.6
P	1191.1b	35.467bc	4.68d	5.21e	6.62cd	0.468b	507.3
W	2516.5a	36.750b	5.32b	7.22b	12.09a	0.488a	566.4
WP	2734.1a	39.433a	6.01a	7.91a	12.18a	0.481a	569.3
R ²	1.000	0.827	0.910*	0.989**	0.989**	0.878	0.897

同一列字母不同表示差异显著($p=0.05$), Means within columns followed by different letters are significant different at $P=0.05$

从产量构成来看,WP 处理在各项指标中均获得高值,并与其它处理差异显著,W 处理的穗粒数、收获指数与 WP 处理处在同一显著水平。从不同指标与产量做相关分析得到的决定系数(R^2)来看,有效小穗数和穗粒数与产量呈极显著相关,与穗长呈显著相关,与其它指标相关不显著。表明,决定产量的主要因素是小麦早期生殖器官的发育状况,亦即小穗和小花形成的数量和质量,千粒重、收获指数和单位面积的穗数对产量影响不大。

2.5 水分利用效率

P 和 CK 处理在不同生长时期水分利用效率基本相似,总体来看,P 略高于 CK,但不显著。而 W 和 WP 相比,除最后一个时期由于 WP 生物量略有下降导致水分利用效率低于 W 处理之外,其它阶段均为 WP 显著高于 W 处理,表明使用磷肥有助于改善水分利用效率,但水分条件较差时这种作用会大大削弱。CK 和 W 相比,在前 2 个时期水分利用效率相似,但后 2 个时期后者显著高于前者;P 和 WP 相比,除第 4 阶段 WP 偏低之外(由于生物量轻微下降而使水分利用效率成为负值),其它阶段均为 WP 显著高于 P 处理,且后期比前期更高(除第 4 阶段),表明底墒灌溉对提高水分利用效率有重要作用,且这种作用后期更为显著。W 和 WP 处理以籽粒产量和总生物量计算的水分利用效率也都显著高于 CK 和 P 处理。在整个生长季,WP 处理的水分利用效率一直处于最高水平,表明 W 和 P 的联合作用对提高水分利用效率有显著促进作用。

表 6 不同生育时期春小麦水分利用效率 ($g/(mm \cdot m^2)$)

Table 6 The water use efficiencies of spring wheat in different development stages

处理 Treatment	$WUE_{DAE 1 \sim 50}$	$WUE_{DAE 51 \sim 70}$	$WUE_{DAE 71 \sim 90}$	$WUE_{DAE 91 \sim 117}$	WUE_{bio}	WUE_{grain}
CK	0.828 ^a	2.984 ^a	0.826 ^c	1.538 ^c	1.473 ^b	0.577 ^c
P	0.980 ^a	2.597 ^a	2.399 ^b	0.250 ^a	1.521 ^b	0.734 ^b
W	0.943 ^a	2.782 ^a	2.316 ^b	3.072 ^b	2.215 ^a	1.267 ^a
WP	1.537 ^b	4.017 ^b	4.590 ^a	-0.285 ^a	2.586 ^a	1.417 ^a

$WUE_{DAE 1 \sim 50}$ 表示播种后 1~50 d 期间以地上生物量为基础的水分利用效率,其它以此类推。 $WUE_{DAE 1 \sim 117}$ represent water use efficiency calculated based on shoot biomass during the period of DAE 1~50, the same as follow; WUE_{bio} , WUE_{grain} 分别表示收获期以生物量和籽粒产量为基础的水分利用效率, WUE_{bio} and WUE_{grain} are the water use efficiencies based on shoot biomass and grain yield at harvest stage, respectively.

同一列字母不同表示差异显著 ($p=0.05$), Means within columns followed by different letters are significant different at $P=0.05$

3 讨论和结语

本实验表明,拔节期 W 和 WP 处理的根冠比均显著高于 CK 和 P 处理,P 处理略高于 CK,差异不显著,表明浇灌底墒水有利于早期根系发育,施磷肥也有明显的促进根系生长的作用,但在水分条件较差时这种作用不显著。开花期,单独 P、W 处理根系生物量均不高,而 WP 处理则大幅度提高,且有促进根系持续生长的作用(收获期根量显著高于其它处理)。WP 处理相对于 P 和 W 两个处理而言,不仅增加或显著增加了各层根重,而且增大了中层根和下层根的比例,P 处理也有很明显的根系下扎的趋势,W 处理也有同样的趋势,但不及前二处理明显。显然,W 和 P 对保持根系大小,延长生活期有一定帮助,特别是 WP 处理有助于根系的持续生长,同时还应注意到,与 W 处理相比,WP 处理根系吸水量并没有增加,但水分利用效率和产量均有所增加,这种增加显然是由磷素导致的植物生理活性在起作用^[1~6]。

统计分析表明,决定产量的主要因素是小麦早期繁殖器官的发育状况,亦即小穗和小花形成的数量和质量,千粒重、收获指数和单位面积的穗数对产量影响不大。最后一个阶段,P 和 WP 处理的地上生物量均不再增加,而 CK 和 W 则都有明显的增长,特别是 W 处理增长幅度最高,但由于前期繁殖器官容量已定,进一步增加产量的潜力已经很有限,对产量的贡献不大。

旱区春小麦要完成自身生活史,获得较高的籽粒产量,播种前的底墒及利用程度非常重要。播种前有效水的多少直接影响小麦的出苗与生长状况^[2,5],并决定小麦产量的高低^[1]。在本试验条件下,土壤底墒不足,天然降水偏少,这可使作物生长需水临界期出现在播种~出苗阶段。因此,通过播前浇水改善土壤底墒,作为作物生长的启动因子,使早期出苗强壮,为后期繁殖器官的形成奠定基础。W和WP两个浇底墒水的处理,其土壤水分利用量(平均为34.6mm)还略高于所浇的底墒水(30mm),表明W不仅促进了健苗,而且还在保持了较高水分利用效率的基础上增加了对土壤水分的利用量,显然这是W和WP提高产量的重要基础。

参考文献

- [1] 李凤民, 于静, 赵松岭. 半干旱黄土高原集水高效农业的发展. 生态学报, 1999, 19(2): 152~157.
- [2] 李世清, 王喜庆, 高亚军. 施肥对提高作物蒸腾减少蒸发的影响. 见: 江德水主编, 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京, 中国农业科技出版社, 1995. 187~190.
- [3] 史奔, 邹帮基, 陈利军. 从施肥促进小麦根系活力看以肥调水的效果. 见: 江德水主编, 旱地农田肥水关系原理与调控技术. 北京, 中国农业科技出版社, 1995. 111~115.
- [4] Li Feng-Min, Cao Jing and Wang Tong-Cao. Influence of phosphorus supply pattern in soil on yield of spring wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 1998, 21(9): 1921~1932.
- [5] 梁银丽, 陈培元. 土壤水分和磷营养对小麦根系生长生理特性的影响. 西北植物学报, 1994, 14(5): 56~60.
- [6] 梁银丽, 陈培元. 土壤水分和氮磷营养对小麦根系生理特性的调节作用. 植物生态学报, 1996, 20(3): 250~252.
- [7] 程宪国. 不同土壤水分条件对冬小麦生长及养分吸收的影响. 中国农业科学, 1996, 29(4): 67~74.
- [8] 郭安红, 魏虹, 李凤民, 赵松岭. 土壤水分亏缺对春小麦根系干物质积累和分配的影响. 生态学报, 1999, 19(2): 66~72.
- [9] 于小彬, 等. 影响旱地作物水分利用效率的因素. 土壤学进展, 1995, 23(5): 16~20.

《病毒生态学》简介

——(Viral Ecology)

索书号: Q939.408/V813/2000/Y

作者: Christon J. Hurst, 美国环境代理处

出版: ACADEMIC PRESS

自1898年病毒作为一个独立的类群第一次被命名后,病毒学作为一门新的研究领域随之诞生并发展起来。而目前,许多人仅仅认识到病毒这一非细胞结构作为核酸克隆、标记和拼接工具的有用性,而没有看到病毒作为一种生物的生态学效应。事实上,病毒远非分子生物学实验室的有利工具,而是一种高度进化了的与宿主有机体复杂交织在一起的生命物质。

本书旨在提出病毒生态学这一概念,并对其作进一步的阐述。作者以病毒为一切的中心,阐述了自然界中大型生物病毒及微生物在各自宿主中的生存、增殖等过程。在正常情况下,病毒对其宿主种群的影响取决于病毒及其宿主之间的协同进化的那些因素。如果病毒找到了新的寄主而改变了传播的途径,或者病毒遇到了与其寄主遗传性相似的、易感染的、分布集中的种群,比如:人、栽培作物、饲养动物及藻类的花等,病毒就会对这些种群造成灾难性的影响。因此,掌握这些传播途径的关键在于弄清以下关系:病毒生态与其宿主生态的关系;病毒的各级宿主及任何一种病毒携带者的关系;以及传播不同病毒种类的适合媒介物的关系。

《病毒生态学》一书通过阐述病毒与宿主物种的相互作用,定义和解释了病毒的生态学,围绕病毒的各种宿主、各种媒介物及带菌者,阐述了病毒高度进化了的传播途径,重点强调了在病毒、宿主及带菌者的生态学中,病毒感染所代表的交错区。

本书适合与生态学、病毒学、遗传学、动物学、植物学等相关的研究人员参考。

本书的要点:

(1)病毒与宿主物种的关系;(2)病毒与其宿主的相互作用代表了有机生物体进化的一个方面;(3)病毒的传播循环流动;(4)病毒感染代表了病毒-宿主-带菌者生态学的交错区

(刘丽华 武汉大学图书馆 430072)