

玉米生育期的海拔效应研究*

陈学君^{1,2} 曹广才³ 贾银锁⁴ 吴东兵³ 陈婧²
于亚雄⁵ 李唯^{1**} 李杰²

(1. 甘肃农业大学农学院 兰州 730070; 2. 甘肃金象农业发展股份有限公司 张掖 734000;
3. 中国农业科学院作物科学研究所 北京 100081; 4. 河北省农林科学院遗传生理研究所 石家庄 050051;
5. 云南省农业科学院粮食作物研究所 昆明 650205)

摘要 为使高海拔地区的玉米生产布局和品种类型利用更加合理,采用作物生态学的田间试验方法,于2006~2007年间,在甘肃省和云南省各设5个试验点,研究了北、南异地不同玉米品种在不同海拔高度的生态效应。结果表明,在播期大体相同的条件下,玉米拔节期、抽雄期、成熟期随海拔的升高而相应延迟,即播种~拔节、拔节~抽雄、抽雄~成熟的“三段生长”时间相应延长。反映生育期长短的出苗~成熟天数与海拔之间呈0.01水平的正相关。本试验条件下,海拔每升降100 m,参试玉米品种的生育期延长或缩短4~5 d,株高和穗上叶数呈随海拔升高而降低趋势。

关键词 玉米 生育期 海拔 甘肃省 云南省

中图分类号: S158.3 文献标识码: A 文章编号: 1671-3990(2009)03-0527-06

Influence of elevation on growth duration of maize (*Zea mays* L.)

CHEN Xue-Jun^{1,2}, CAO Guang-Cai³, JIA Yin-Suo⁴, WU Dong-Bing³, CHEN Jing²,
YU Ya-Xiong⁵, LI Wei¹, LI Jie²

(1. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Gansu Jinxiang Agricultural Development Company Ltd., Zhangye 734000, China; 3. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 4. Institute of Genetics and Physiology, Hebei Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050051, China;
5. Institute of Food Crops, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China)

Abstract In order to determine the most suitable planting site and crop variety, an ecological experiment was conducted on the effect of elevation on maize growth during 2006~2007. The study utilized seven maize varieties in five experimental stations across Gansu Province, and five maize varieties in five experimental stations across Yunnan Province. The results show that at the same sowing time, jointing stage, heading stage and maturity stage of maize prolong with increasing elevation. In other words, the durations from sowing to jointing, jointing to heading and heading to maturity become longer with higher elevation. Growth period is therefore positively related with elevation at 0.01 significant level. But when elevation rises 100 m, maize growth becomes sluggish by 4~5 days. Maize plant height and ear leaf number reduce with rise in elevation.

Key words Maize (*Zea mays* L.), Growth stage, Elevation, Gansu Province, Yunnan Province

(Received March 21, 2008; accepted Aug. 1, 2008)

玉米是世界和中国均分布广泛的作物。世界范围内,大部分玉米分布在50°N和55°S之间^[1],从海平面到海拔4 000 m处皆有种植^[2]。中国的玉米分布遍及全国,从低于海平面的吐鲁番到海拔3 600 m以上都有种植^[1]。在影响玉米生产的环境因素中,海

拔高度和纬度是与温度并列的重要因素^[3]。研究玉米生育期与海拔之间的相关性,从量化关系上揭示二者之间的变化规律,对玉米生产具有重要意义。早在19世纪末开始,美国森林昆虫学家Hopkins用了20多年时间研究经纬度、高度对植物开花期的影

* 国家星火计划项目(2004EA860010)资助

** 通讯作者: 李唯(1955~),男,教授,博士生导师,主要从事种质改良研究。E-mail: liw@gau.edu.cn

陈学君(1963~),男,在读博士,研究员,主要从事玉米遗传育种和种子生产研究。E-mail: cxj0468@163.com

收稿日期: 2008-03-21 接受日期: 2008-08-01

响, 于 1918 年发表了著名的生物气候律——霍普金斯定律^[4]。而关于玉米生育期随海拔的变化规律, 国内外尚少见报道^[5]。在国内, 关于小麦的生育期与海拔的关系, 近年来仍有报道^[6]。对于玉米, 其生育期受海拔影响的研究, 在局部地区也有所开展^[7]。玉米生育期随海拔升高而延长的变化趋势已成为研究者的共识^[8-11], 但量化资料较少。生育期是玉米生长发育的重要和基本特征。Evans^[12]认为, 在玉米杂交种中, 粒生长时期长短与产量高低关系密切。在

等^[13]的玉米品种熟期类型划分指标中, 生育期长短是重要指标之一。本研究选取北、南两片不同海拔点群, 进行多品种不同年度的垂直生态试验, 以期在同类研究的基础上^[14-18], 阐明玉米品种生育期和海拔之间的相关性及其量化的变化趋势, 以期为进一步揭示玉米生育期的海拔变化规律积累资料。

1 材料和方法

1.1 参试品种

北方海拔点群参试玉米品种有“豫玉 22 号”、“沈单 16 号”、“中单 2 号”、“永玉 3 号”、“农大 108”、“金象 3 号”和“酒试 20”7 个品种, 南方海拔点群参试玉米品种有“郑单 958”、“中单 2 号”、“农大 108”、“金象 3 号”、“会单 4 号”5 个品种。其中, “中单 2 号”、“农大 108”、“金象 3 号”是两个点群的共同参试品种。

1.2 试点布设

北方高纬度高海拔点群设在甘肃省张掖市, 地理坐标 38°56'N, 100°26'E。在实测海拔 1 280.0 m、1 506.5 m、1 706.5 m、2 000.0 m 和 2 231.5 m 处各设 1 个试验点, 这 5 个定点垂直的试点组成北方点群。其空间范围覆盖中国北方高纬度高海拔玉米产区, 所代表的玉米种植面积约 366.7 万 hm²。

南方低纬度高海拔点群设在云南省楚雄州大姚县, 地理坐标 26°N、101°E 左右。在实测海拔 1 435 m、1 860 m、1 987 m、2 186 m 和 2 250 m 处各设 1 个试验点, 5 个定点垂直的试点组成南方点群。其空间范围覆盖中国南方低纬度高海拔玉米产区, 所代表的玉米种植面积约 116.7 万 hm²。

1.3 试验方法

2006 年和 2007 年两个年度内, 按照统一的试验方案, 在每个试点进行田间小区试验。小区面积 4 m × 5 m, 每小区种 8 行, 等行距, 行距 50 cm, 两个边行各距小区埂 25 cm, 按 3 500 株 · 667 m⁻² 密度, 每小区 105 株, 每行约 13 株, 定苗后株距 38 cm, 2 次重复。

北方点群做 2 个年度的试验。2006 年 5 个海拔

点的播种日期为 4 月 21~24 日, 2007 年 3 个海拔点 4 月 20 日播种, 2 个海拔点 4 月 19 日播种。南方点群仅做 2007 年的试验, 其中 3 个海拔点播种日期为 5 月 19~25 日, 2 个海拔点的播种日期在 4 月下旬至 5 月上旬之间。

北方各海拔点的前茬均为春小麦, 按当地丰产田水平进行管理。早春耙耱保墒, 平整后播种。基肥施农家肥 30 000 kg · hm⁻², 磷二铵 375 kg · hm⁻², 尿素 150 kg · hm⁻²。整个生育过程适时灌水, 生长期间干整 2 次, 湿锄 1 次, 间苗和定苗各 1 次, 追肥 2 次, 结合灌水时追施尿素、磷二铵 600 kg · hm⁻²。

南方点群亦按当地丰产田水平进行管理。

及时调查记载播种期、出苗期、拔节期、抽雄期、吐丝期、成熟期。于抽雄后, 在每个小区随机连续抽取 10 株, 以测定株高、穗位高和穗位以上叶数。玉米收获后进行考种和小区测产。

所得数据经整理后, 用双向方差分析、新复极差测验、回归分析等方法进行统计处理。

2 结果与分析

2.1 物候期

2.1.1 北方点群

表 1 表明, 2006 年和 2007 年北方点群 7 个参试玉米品种的拔节期和成熟期皆随海拔的升高而有明显推迟的趋势, 抽雄期总体上也有这种变化趋势(以“中单 2 号”、“金象 3 号”、“农大 108”为例)。播种~拔节、拔节~抽雄、抽雄~成熟分别标志着玉米一生的营养生长、营养生长与生殖生长并进、生殖生长 3 个生育阶段。在经纬度一致的条件下, 随着海拔的升高, 玉米的 3 段生长天数相应增加, 从出苗至成熟的生育期相应延长。

2.1.2 南方点群

南方点群 1 435 m、1 860 m、2 186 m 这 3 个海拔试点的播种日期大体一致, 故表 2 以这 3 点为例。表 2 表明, 在云南低纬度高海拔试点, 在大体同期播种条件下, 海拔高差较大的 1 435 m 和 2 186 m(相差 751.0 m)2 点中, 3 个品种在后者的成熟期明显推迟(依次相差 30 d、23 d、11 d)。1 860 m 试点虽比 1 435 m 试点的海拔高 425 m, 但播种日期提早 6 d, 故成熟期基本一致, 总体上也反映了随海拔升高, 玉米品种的成熟期有逐渐后延的趋势。

2.2 生育天数(出苗至成熟天数)

2.2.1 北方点群

表 3 表明, 无论哪个试验年度, 所有参试玉米品种的生育期天数皆随海拔的升高而增加。2006 年, 不同品种和不同海拔试点生育期的极差是 48 d, 标

表1 甘肃省高纬度生态点参试玉米品种的物候期
Tab.1 The phenological phase of maize in high latitude of Gansu Province

年份 Year	品种 Variety	海拔 Elevation(m)	物候期(月-日) Phenology stage (month-day)			
			播种期 Sowing stage	拔节期 Jointing stage	抽雄期 Tasseling stage	成熟期 Maturity stage
2006	中单2号 Zhongdan 2	1 280.0	04-21	06-14	07-10	09-10
		1 506.5	04-24	06-15	07-19	09-13
		1 706.5	04-23	06-17	07-14	09-15
		2 000.0	04-21	06-17	07-26	10-06
		2 231.5	04-22	07-02	08-13	10-13
	金象3号 Jinxiang 3	1 280.0	04-21	06-14	07-10	08-31
		1 506.5	04-24	06-15	07-17	09-12
		1 706.5	04-23	06-17	07-16	09-14
		2 000.0	04-21	06-22	07-24	09-30
		2 231.5	04-22	07-02	08-09	10-13
2007	农大108 Nongda 108	1 280.0	04-21	06-14	07-14	09-14
		1 506.5	04-24	06-14	07-23	09-21
		1 706.5	04-23	06-17	07-17	09-29
		2 000.0	04-21	06-20	07-26	10-16
		2 231.5	04-22	07-03	08-09	10-19
	中单2号 Zhongdan 2	1 280.0	04-19	06-14	07-12	09-11
		1 506.5	04-20	06-14	07-14	09-11
		1 706.5	04-20	06-17	07-15	09-15
		2 000.0	04-19	06-25	07-18	10-05
		2 231.5	04-20	07-02	08-01	10-15
	金象3号 Jinxiang 3	1 280.0	04-19	06-15	07-12	08-31
		1 506.5	04-20	06-14	07-16	09-03
		1 706.5	04-20	06-17	07-17	09-12
		2 000.0	04-19	06-24	07-26	10-02
		2 231.5	04-20	07-02	08-09	10-14
	农大108 Nongda 108	1 280.0	04-19	06-14	07-14	09-13
		1 506.5	04-20	06-17	07-17	09-19
		1 706.5	04-20	06-17	07-17	09-24
		2 000.0	04-19	06-25	07-28	10-17
		2 231.5	04-20	07-02	08-01	10-22

表2 云南低纬度生态点参试玉米品种的物候期(2007)
Tab.2 The phenological phase of maize in low latitude of Yunnan Province in 2007

品种 Variety	海拔 Elevation(m)	物候期(月-日) Phenology stage (month-day)	
		播种期 Sowing stage	成熟期 Maturity stage
中单2号	1 435	05-25	08-26
Zhongdan 2	1 860	05-19	08-25
	2 186	05-21	09-25
金象3号	1 435	05-25	08-23
Jinxiang 3	1 860	05-19	08-22
	2 186	05-21	09-15
农大108	1 435	05-25	09-01
Nongda 108	1 860	05-19	09-01
	2 186	05-21	09-12

准差 14.7 d, 变异系数为 10.16%。做生育期天数的品种间和地点间双向方差分析, $F_{\text{海拔}}=267.413$ 3^{**}, $F_{\text{品种}}=6.266$ 3^{**}, $F_{\text{海拔}} \gg F_{\text{品种}}$, 即不同海拔试点的生育期差异远远大于不同品种间的差异。

新复极差测验表明, 从高海拔到低海拔, 全部参试品种的平均生育期天数依次为 165.4 d、157.7 d、137.0 d、134.9 d、128.6 d。在 5% 水平上, 差异为 a、b、c、cd、e; 在 1% 水平上, 差异为 A、B、C、C、D。

由于本点群的纬度和经度是一定的, 在地理上是定点垂直的 5 个海拔点, 因此在分析海拔对玉米品种生育期之间的关系时就可简化为一元关系。以海拔为自变量, 生育期天数为依变量, 7 个品种的回归方程如下:

表 3 参试玉米品种在甘肃省不同海拔点的生育天数
Tab. 3 The growth duration of maize in different elevation sites in Gansu Province

年份 Year	品种 Variety	海拔 Elevation (m)					d
		1 280.0	1 506.5	1 706.5	2 000.0	2 231.5	
2006	豫玉 22 号 Yuyu 22	130	137	138	162	167	
	沈单 16 号 Shendan 16	128	132	134	156	165	
	永玉 3 号 Yongyu 3	128	139	141	164	166	
	农大 108 Nongda 108	137	141	144	165	169	
	金象 3 号 Jinxiang 3	123	132	133	154	167	
	酒试 20 Jiushi 20	121	130	131	150	162	
	中单 2 号 Zhongdan 2	133	133	138	153	162	
	平均值 Average	128.6eD	134.9cdC	137.0cC	157.7bB	165.4aA	
2007	豫玉 22 号 Yuyu 22	130	138	140.5	165.5	173	
	沈单 16 号 Shendan 16	129	135	137.5	158	171.5	
	永玉 3 号 Yongyu 3	129.5	140	144.5	167	171.5	
	农大 108 Nongda 108	135	147.5	152	168	175	
	金象 3 号 Jinxiang 3	120	136	138	155	167.5	
	酒试 20 Jiushi 20	118	130	132	154	166	
	中单 2 号 Zhongdan 2	131.5	138	141	157	169	
	平均值 Average	127.6dD	137.8cC	140.8cC	160.6bB	170.5aA	

豫玉 22 号: $y=73.5537+0.0420x (r=0.9631^{**})$ (1)

沈单 16 号: $y=70.4453+0.0416x (r=0.9605^{**})$ (2)

永玉 3 号: $y=73.2595+0.0426x (r=0.9711^{**})$ (3)

农大 108: $y=86.1281+0.0373x (r=0.9627^{**})$ (4)

金象 3 号: $y=60.6891+0.0465x (r=0.9747^{**})$ (5)

酒试 20: $y=63.6538+0.0431x (r=0.9774^{**})$ (6)

中单 2 号: $y=86.2074+0.0330x (r=0.9589^{**})$ (7)

7 个品种的 r 值均达到 0.01 极显著水平。在纬度和经度一定的前提下, 玉米品种从出苗到成熟的生育期与海拔之间存在极显著的正相关性, 海拔每升降 100 m, 玉米品种的生育期延长或缩短 4 d 左右。

2007 年, 不同品种和不同海拔试点生育期的极差是 57 d, 标准差 16.5 d, 变异系数为 11.22%。通过双向方差分析, $F_{\text{海拔}}=344.7939^{**}$, $F_{\text{品种}}=20.1823^{**}$, 生育期天数的海拔间差异和品种间差异皆达 0.01 的极显著水平, 但 $F_{\text{海拔}} \gg F_{\text{品种}}$, 即不同海拔试点的生育期差异远远大于不同品种间的差异。

新复极差测验表明, 从高海拔到低海拔, 全部参试品种的平均生育期天数依次为 170.5 d、160.6 d、140.8 d、137.8 d、127.6 d。在 5% 水平上, 差异为 a、b、c、d; 在 1% 水平上, 差异为 A、B、C、C、D。

7 个品种的一元回归方程如下:

豫玉 22 号: $y=65.6230+0.0480x (r=0.9735^{**})$ (8)

沈单 16 号: $y=66.5040+0.0457x (r=0.9705^{**})$ (9)

永玉 3 号: $y=68.9793+0.0467x (r=0.9835^{**})$ (10)

农大 108: $y=82.0778+0.0421x (r=0.9939^{**})$ (11)

金象 3 号: $y=59.9258+0.0478x (r=0.9884^{**})$ (12)

酒试 20: $y=51.7644+0.0506x (r=0.9846^{**})$ (13)

中单 2 号: $y=78.1511+0.0396x (r=0.9808^{**})$ (14)

2007 年与 2006 年度试验有同样的规律性, 即在纬度和经度一定的前提下, 玉米品种从出苗到成熟的生育期随海拔的升降而延长或缩短, 呈极显著的正相关性。海拔每升降 100 m, 玉米品种的生育期延长或缩短 4~5 d。

2.2.2 南方点群

南方点群总的变化趋势同北方点群。在纬度和经度一定的前提下, 随海拔的升高, 玉米品种的生育期相应延长。以 2007 年播种日期大体一致的 3 个试点为例, 参试品种从出苗至成熟的生育期天数见表 4。

表中生育天数的极差 35 d, 标准差 10.4 d, 变异系数 10.90%。

表 4 参试玉米品种在云南省不同海拔点的生育天数

Tab. 4 The growth duration of maize in different elevation sites in Yunnan Province

品种 Variety	海拔 Elevation (m)			d
	1 435	1 860	2 186	
郑单 958 Zhengdan 958	87	91	112	
中单 2 号 Zhongdan 2	85	90	118	
农大 108 Nongda 108	90	96	105	
金象 3 号 Jinxiang 3	83	88	108	
会单 4 号 Huidan 4	85	94	98	

经双向方差分析, 生育天数的品种间差异不显著, 而海拔间差异达 0.01 极显著水平, $F_{\text{海拔}}=24.075\ 1^{**}$ 。在大体同日播种的 3 个海拔试点中, 5 个参试品种无一例外, 其生育期与海拔之间均呈正相关性。

2.3 有关性状

2.3.1 株高

在北方点群, 经双向方差分析和新复极差测验, 株高的海拔间差异达 0.01 水平。总趋势是随海拔升高, 株高有所降低, 但不是线性关系。最高海拔点与最低海拔点相比, 株高明显降低。在南方点群, “郑单 958”、“金象 3 号”、“会单 4 号”的株高有随海拔升高而变矮的趋势, 株高与海拔之间呈负相关性(表 5)。

表 5 参试玉米品种在云南省不同海拔点的株高

Tab.5 The plant height of maize in different elevation sites in Yunnan Province cm

品种 Variety	海拔 Elevation (m)		
	1 435	1 860	2 186
郑单 958 Zhengdan 958	220.0	213.1	195.6
中单 2 号 Zhongdan 2	236.0	262.1	217.5
农大 108 Nongda 108	210.0	274.2	253.0
金象 3 号 Jinxiang 3	230.0	224.2	205.9
会单 4 号 Huidan 4	259.8	259.8	219.3

2.3.2 其他性状

在南、北两个点群所调查的植株性状、产量性状、产量数据中, 虽然存在着品种间和海拔间 0.01 水平的差异, 但与海拔之间无规律性变化, 其中的影响因素较复杂。在云南点群的调查中, 不同品种的株型、粒型、粒色等与海拔无关。

2.4 穗上叶数

在玉米品种熟期类型划分中, 植株叶数是重要指标之一^[13]。易镇邪等^[19]认为, 穗位叶与总叶数有关。陈学君、吴东兵等^[20]试验揭示, 玉米穗位以上叶数与生育天数之间有正相关性。研究穗上叶数与海拔的关系, 也有一定意义。以北方点群 2007 年试验为例表明(表 6), 在纬度和经度一致的前提下, 玉米品种的穗位以上叶数随海拔的升高而减少, 且多数参试玉米品种有较规律的变化趋势。

3 结论

在纬度和经度一定的前提下, 设置南北定点垂直的两个试点群(以甘肃省张掖市为代表的北方高纬度点群, 5 个试点的海拔范围从 1 280.0 m 到 2 231.5 m, 高差 951.5 m; 以云南省楚雄为代表的南方低纬度点群, 海拔范围从 1 435 m 到 2 250 m, 高

表 6 参试玉米品种在甘肃省不同海拔点的穗上叶数

Tab.6 Leaf number above the ear of maize in different elevation sites in Gansu Province

品种 Variety	海拔 Elevation (m)				
	1 280.0	1 506.5	1 706.5	2 000.0	2 231.5
豫玉 22 号 Yuyu 22	7.8	7.6	6.9	6.9	6.7
沈单 16 号 Shendan 16	7.6	7.3	7.5	7.4	7.1
永玉 3 号 Yongyu 3	7.5	7.4	7.3	7.2	6.9
农大 108 Nongda 108	8.2	7.7	7.0	6.6	6.4
金象 3 号 Jinxiang 3	7.7	7.2	7.2	6.9	6.8
酒试 20 Jiushi 20	7.3	7.4	7.0	6.6	6.9
中单 2 号 Zhongdan 2	7.8	7.7	6.7	6.8	6.6

差 815 m), 研究玉米生育期的海拔效应, 在同类研究中具有一定的代表性。

试验表明, 在一定的海拔高差范围内, 随着海拔的升高, 在大体同期播种时, 玉米的拔节期、抽雄期、成熟期相应推迟, 营养生长、营养生长与生殖生长并进、生殖生长 3 个生育阶段均相应延长。

生育期是玉米生长发育的重要和基本特征。随着海拔的升高, 玉米的生育期相应延长, 二者间呈正相关。本研究结果与已有的同类研究相一致。在揭示规律性的量化关系上, 曹广才等^[14]在 37°53'N、113°01'E 的山西省黄土高原海拔 800 ~ 1 700 m 范围内, 用 3 个玉米杂交种在 4 个海拔点上做了两年 3 次重复的小区试验, 结果表明海拔每升高 100 m, 旱地玉米从播种至成熟的生育期延长 3 ~ 4 d。董玉飞等^[15]在约 31°N、104°E 的四川北部, 用 3 个玉米杂交种在海拔 600 m、900 m、1 200 m、1 500 m 的阳坡和阴坡种植, 结果表明海拔每升高 100 m, 阳坡玉米的生育期延长 4 d, 阴坡玉米的生育期延长 3.2 d。陈学君等^[16]曾在与本试验相同的经纬度点, 用 3 个玉米杂交种在 1 506.5 m、1 706.5 m、2 000.0 m、2 231.5 m 4 个海拔点上, 于 1999 年和 2004 年断续做了两年试验, 初步结论是海拔每升降 100 m, 玉米出苗 ~ 成熟的生育期延长或缩短 5 ~ 6 d。张兴端等^[17]在 2003 年和 2004 年国家武陵山区的玉米区域试验中发现, 25 个玉米品种或组合的生育期与海拔有正相关关系, 海拔每升高 100 m, 2003 年的生育期延长 3.55 d, 2004 年延长 2.95 d。本试验所包容的地理范围较大, 定点垂直的起始高度和最高高度均较大, 所得出的试验结果应该具有典型性和代表性,

与已有的同类研究结论互相印证, 所揭示的量化关系应该具有规律性。本研究表明, 在经纬度一定和大体同期播种的前提下, 玉米品种的生育期与海拔之间呈极显著(0.01 水平)正相关关系, 海拔每升降 100 m, 玉米品种的生育期延长或缩短 4~5 d。海拔升高, 温度相应降低, 必然影响到玉米的生长天数。

影响株高的因素较多。试验结果显示, 在株高与海拔之间有负相关的变化趋势。在纬度和经度一定的前提下, 玉米品种的穗位以上叶数随海拔的升高而减少, 且多数参试品种的这种变化趋势较规律。植株叶数是划分玉米品种熟期类型的重要指标。计数穗位以上叶数比计数植株总叶数简便易行。研究玉米生育期的海拔变化, 不仅对揭示其地理变化律有重要的理论价值, 对于生产上的用种问题及其布局也有实践意义。

参考文献

- [1] Sprague G. F., Dudley J. W. Corn and Corn Improvement[M]. Wisconsin, USA: Publishers Madison, 1988: 609
- [2] Brenner C. Biotechnology and Developing Country Agriculture: The Case of Maize[M]. USA: OECD PARIS, 1991: 33
- [3] Dowswell C. R., Paliwal R. L., Cantrell R. P. Maize in the Third World[M]. USA: Westview Press, 1996: 35~37
- [4] 金善宝. 中国小麦生态[M]. 北京: 科学出版社, 1991: 316
- [5] Norman M. J. T., Pearson C. J., Searle P. G. E. The Ecology of Tropical Food Crop[M]. London: Cambridge University Press, 1984: 106
- [6] 吴东兵, 曹广才, 强小林, 等. 生态高度与小麦品质的关系 [J]. 麦类作物学报, 2003, 23(2): 47~51
- [7] 霍仕平, 晏庆九, 黄文章. 纬度和海拔对西南春玉米区中熟玉米品种生育期的效应 [J]. 作物学报, 1995, 21(3): 380~384
- [8] 曹广才, 王崇义, 卢庆善. 北方旱地主要粮食作物栽培[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 124~125
- [9] 杨镇, 才卓, 景希强. 东北玉米[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 126~144
- [10] 张保明, 陈学君, 孙振. 黄土高原径流农业[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 172~173
- [11] 杨华, 王玉兰, 张保明, 等. 鲜食与爆裂玉米育种和栽培 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008
- [12] Evans L. T. Crop Evolution, Adaptation and Yield[M]. London: Cambridge University Press, 1993: 259
- [13]
- [14] 曹广才, 吴东兵. 海拔对我国北方旱农地区玉米生育天数的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 1995, 13(4): 92~98
- [15] 董玉飞, 侯大斌, 岳含云, 等. 北川山区海拔和坡向对杂交玉米的影响 [J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(5): 428~431
- [16] 陈学君, 曹广才, 吴东兵, 等. 海拔对甘肃河西走廊玉米生育期的影响 [J]. 植物遗传资源学报, 2005, 6(2): 168~171
- [17] 张兴端, 霍仕平, 李求文, 等. 海拔高度对武陵山区玉米品种生育期和产量的影响 [J]. 玉米科学, 2006, 14(3): 99~101, 106
- [18] Forcella F., Gesch R. W., Isbell T. A. Seed yield, oil, and fatty acids of cuphea in the northwestern corn belt[J]. Crop Science, 2005, 45(6): 2195~2201
- [19] 易镇邪, 王璞, 陶洪斌, 等. 氮肥基/追比对华北平原夏玉米生长发育与水、氮利用的影响. 夏玉米生长发育与水分利用效率 [J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(6): 65~68
- [20] 陈学君, 吴东兵, 曹广才, 等. 玉米穗位叶——旗叶叶数与生育天数的相关性 [J]. 中国种业, 2006 (4): 24~25