

云南南亚热带地区气候资源与水稻、冬播玉米的适应性

朱 勇¹, 李 树 云², 张 石 宝²

(1. 云南省农业气象中心, 云南 昆明 650034; 2. 中国科学院昆明植物研究所, 云南 昆明 650204)

摘要: 云南南亚热带地区光能资源丰富, 不仅表现在太阳辐射量高于我国华南和华东地区, 而且辐射强度大, 是籼型杂交水稻、冬播玉米等作物的高产区。全年热量资源充足, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 $6\,000 \sim 7\,500^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 之间。但温度年较差小, 日较差大, 冬暖夏凉, 一年四季都能种植玉米, 是云南南亚热带地区玉米气候生态的一大特点。夏季高温强度不够, 日照时数偏少是限制杂交水稻提高结实率和产量的主要因子。全年降水适中, 但分布不均, 地域差异大, 干季降水量仅占全年总降水量的 $10\% \sim 15\%$, 冬春干旱严重制约着冬播玉米以及水稻拔节前的生长发育。发展农田水利和灌溉是云南南亚热带地区夺取水稻、冬播玉米高产、稳产最重要的措施。

关 键 词: 云南南亚热带; 气候资源; 水稻; 冬播玉米

中图分类号: S162.3

文献标识码: A

1 云南南亚热带地区气候资源特征

云南南亚热带地区地理位置特殊, 地形地貌复杂, 土壤和气候资源丰富多样。面积约 $7.34 \times 10^4 \text{ km}^2$, 多不连片, 受地形和海拔高度的制约特别明显, 且有较强的层次性, 大部地区土壤为红壤、黄壤和石灰岩土。根据不同的气候特点, 可将云南南亚热带地区划分为东部、西部和北部, 其中东部、西部大致以地理经度 $103^{\circ}30' \text{ E}$ (或以哀牢山) 为界, 北部指金沙江流域的低热河谷, 东部海拔 $350 \sim 1\,200 \text{ m}$, 西部 $750 \sim 1\,400 \text{ m}$, 北部 $< 1\,400 \text{ m}^{[1]}$ 。与国内外其他南亚热带相比, 云南由于地理纬度偏北, 海拔较高, 总热量偏低^[2], $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温, 比我国华南地区偏低约 $500^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ 。在低纬度、高海拔地理条件的综合影响下, 气候资源有以下特征。

(1) 光能资源丰富, 辐射强度大。云南南亚热带地区地处低纬高原, 海拔高度平均在 $1\,000 \text{ m}$ 左右。旱季, 空气清新, 大气透明度好, 日照时数多, 辐射强; 雨季多过程性降水, 没有长时间的连阴雨, 且夜雨多, 夜雨率达 $53\% \sim 70\%$ 。

全年太阳辐射总量在 $5\,400 \sim 6\,200 \text{ MJ/m}^2$, 高于同气候带的广州及地处北亚热带长江下游的南京, 和华北平原相近。仅雨季 (7~10 月) 与广州相近, 6~8 月比南京少外, 其余月份均大于广州、南京, 尤其是西部的潞西, 全年均大于广州。另外, 由于高海拔地区的空气柱质量比低海拔地区少得多, 故辐射强度大。

(2) 热量资源充足, 冬无严寒, 夏无酷暑。云南南亚热带地区热量充裕, 年平均气温 $18 \sim 22$

, 日均温 $\geq 18^{\circ}\text{C}$ 有 180~240 d, 最热月均温 $22\sim 26^{\circ}\text{C}$, 最冷月 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$, 年最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的日数一般在 5 d 以下, 极端最低气温多年平均值为 $0\sim 3^{\circ}\text{C}$, 夏无酷暑, 冬无严寒。 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 $6\,000\sim 7\,500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间, 作物生长期 330~365 d, 基本无冬, 只有一个月左右的霜期。冬暖夏凉, 农作物生育期长, 喜温作物都可生长。冬季充足的光照可在一定程度上补偿温度的不足。夏季雨热同季, 少有高温危害, 夏秋季光、温、水适宜, 利于作物生长和形成丰产。但夏季高温强度不够, 易造成水稻空瘪率增加, 从而影响产量。

(3) 降水量地域差异大, 季节性强。云南南亚热带地区降水量地域差异大, 西部雨量充沛, 年降水量 1 300~2 200 mm, 但分配不均, 干湿分明, 干季(11 月~次年 4 月)降水量仅占全年的 10%~15%; 东部雨量适中, 年降水量 800~1 200 mm, 干季降水占全年的 12%~16%; 北部金沙江河谷雨量较少, 年降水量 600~800 mm, 蒸发量为降水量的 4~6 倍, 干旱较为严重。

2 杂交水稻生长的适应性

按杂交水稻的气候生态分类^[4], 云南属高原山地一季杂交稻区。与中国气象局组织的“全国杂交水稻气候生态试验研究”的课题试验资料比较, 云南南亚热带地区种植的杂交水稻与其他杂交稻区相比, 在生态上表现的趋势是: 植株变矮、穗长变短、叶片数增多 1~2 片、生育期延长、有效穗增多、穗粒数增加、着粒密度增大; 叶面积前期增加缓慢, 但最大叶面积指数较省外高 1~2, 抽穗至成熟, 叶面积衰减慢; 结实率、千粒重仅次于淮北平原, 产量为全国高产区。

(1) 热量条件。云南南亚热带地区是省内籼型杂交稻主种区, 以种植一季中稻为主, 若早春有水灌溉, 不少地区热量资源可满足双季稻种植。本区水稻播种期为 4 月上旬, 移栽期为 5 月上旬至 5 月中旬, 成熟期在 8 月下旬至 9 月上旬, 全生育期为 150~160 d, 分别比华南和长江中下游稻区长 30~45 d 和 20 d 左右。整个生长期间的总热量比华南稻区偏多 400~500 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 和长江中下游稻区相当, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温在 $3\,400\sim 3\,500^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 之间, 各生育阶段 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温, 与华南稻区相比播种-移栽、抽穗-成熟期相差不大, 移栽-抽穗期则比华南多 400~500 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$; 和长江中下游稻区相比则相差不大, 但云南南亚热带稻区全生育期及各个生育期间的平均气温明显低于华南、长江中下游稻区(表 1)。云南南亚热带杂交稻区, 稳定通过 12°C 的时间和华南稻区相近, 这就为水稻生长季长赢得时间。播种-移栽期平均温度为 $19\sim 21^{\circ}\text{C}$, 虽低于最适温度^[5], 但已能满足水稻正常生长, 加之此时正值光照条件最好的时段, 利于幼苗早生快发, 培育壮秧。分蘖期温度 $20\sim 22^{\circ}\text{C}$ (极少数地区达到 24°C , 如元谋), 这种相对低温, 配合充足的光照, 使其植株不旺长、叶面积不猛增, 根冠比发展协调, 对适当增加基本苗, 促进有效分蘖十分有利^[6], 为争取穗多创造了条件。幼穗分化期平均气温 $21\sim 23^{\circ}\text{C}$, 平均最高气温 $25\sim 28^{\circ}\text{C}$, 正处于幼穗分化最适温度内, 有利于幼穗分化, 极少发生高温抑制现象, 这种温度条件是创造粒多的气候基础。抽穗开花期要求较高温度, 连续 3 d 平均气温低于 22°C 则易形成空壳和瘪谷^[5], 按此指标, 云南南亚热带杂交稻区不少地方最热月平均气温都达不到 22°C , 但云南的杂交稻并未出现较高的空瘪, 这主要是由于云南南亚热带稻区在高原相对低温的持续作用下, 经过漫长的适应过程, 已逐渐形成了生育期适宜温度低、生育期延长和耐冷害的特殊适应性, 加上高原日较差大, 有利于干物质积累, 夜间呼吸消耗小, 从而形成花期冷害指标较省外低 2~3 $^{\circ}\text{C}$, 籼稻花期耐寒低温为 $20\sim 21^{\circ}\text{C}$, 并有随海拔升高, 低温冷害指标降低的趋势^[7]。总体上讲云南南亚热带杂交稻区生育期内温度相对较低, 但气温变化平稳, 生育期延长。这种生育期的延长, 使水稻全生育期的总热量超过华南稻区 400~500 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 与长江中下游稻区

相当,在一定程度上弥补了生育期间气温低的不足,加上昼夜温差较大,辐射强度大,促使杂交水稻生长量大,千粒重高。因此,云南仍为全国杂交稻的高产区。

当然,云南种植杂交稻也有不利的方面,一是杂交稻种植地区的北部(海拔1300~1400

表 1 云南南亚热带地区与广州、南京水稻生育期及气象条件比较

Table 1 Comparisons of rice development stages and climate conditions among southern Yunnan subtropical zone, Nanjing and Guangzhou

地区	生育期参数	播种- 移栽期	移栽- 抽穗期	抽穗- 成熟	全生育期	品种
蒙自	生育期	上/4月~上/5月	上/5月~上/8月	上/8月~上/9月		南优3号
	生育期天数(d)	33	87	38	158	汕优6号
思茅	生育期	上/4月~上/5月	上/5月~上/8月	上/8月~上/9月		南优3号
	生育期天数(d)	33	89	39	161	汕优6号
广州	早稻	生育期	下/2月~上/5月	上/5月~中/6月	中/6月~中/7月	汕优6号
		生育期天数(d)	34	63	31	
	晚稻	生育期	上/7月~上/8月	上/8月~下/9月	下/9月~下/10月	汕优6号
		生育期天数(d)	24	53	33	
南京	生育期(d)	中下/5月~中/6月	中/6月~下/8月	下/8月~上/10月		汕优6号
	生育期天数(d)	26	76	36	138	
蒙自	平均气温()	21.2	22.8	21.8	22.2	
	≥10 积温(·d)	698.1	1 979.2	828.8	3 506.1	
	辐射量(M J/ m ²)	636.4	1 544.6	591.0	2 772.0	
	降水量(mm)	55.7	376.4	159.4	591.5	
思茅	平均气温()	19.7	21.6	21.2	21.1	
	≥10 积温(·d)	649.2	1 922.8	825.1	3 397.1	
	辐射量(M J/ m ²)	627.2	1 343.1	537.2	2 507.9	
	降水量(mm)	58.9	701.0	366.2	1 126.1	
广州	平均气温()	18.3	24.1	27.4	23.4	
	早稻	≥10 积温(·d)	620.6	1 520.9	850.4	2 991.9
		辐射量(M J/ m ²)	169.7	616.3	368.8	1 154.8
		降水量(mm)	98.2	499.3	281.0	878.5
	平均气温()	28.4	27.6	24.5	26.8	
	晚稻	≥10 积温(·d)	681.6	1 462.9	806.9	2 951.4
		辐射量(M J/ m ²)	338.5	744.4	459.6	1 542.5
		降水量(mm)	164.7	371.3	106.1	642.1
南京	平均气温()	22.6	27.4	21.6	25.0	
	≥10 积温(·d)	586.3	2 085.0	776.4	3 447.7	
	辐射量(M J/ m ²)	443.3	1 446.5	301.2	2 181.0	
	降水量(mm)	119.2	276.9	105.5	501.6	

注:表中上、中、下指各月上旬、中旬、下旬

m) 常有 ‘倒春寒’天气发生,对秧苗影响较大,但只要加强人工保护,推广薄膜育秧,这个问

题不难解决。更主要的是水稻抽穗扬花前后 30 d, 此时段是水稻产量形成的关键期, 对温度最为敏感, 若高温不足, 或平均温度连续 3 d 低于 20℃, 就会出现重度低温冷害, 造成空秕率增加, 从而影响产量。

(2) 光能条件。云南苗期正值旱季, 太阳辐射强, 且生育期长, 累积太阳辐射量多; 抽穗—成熟时段晴天多, 辐射强, 有利于籽粒灌浆、千粒重增加, 从而形成高产; 但移栽—抽穗期间, 日照时数偏少。尽管杂交稻在高原相对低温的气候生态条件下, 植株变矮, 可起到一定的自身调节作用, 加之高原辐射强度大, 散射光多, 光质好, 有一定的光质补偿效应, 但多雨寡照, 仍是限制云南杂交稻提高结实率和产量的限制因子, 并且是水稻稻瘟病等病害发生的关键因子。总之云南南亚热带杂交稻主要生育期间每天辐射强度大, 日均温偏低, 基本不出现 35℃ 高温天气, 并且高海拔地区的水稻的叶片的光合作用的光补偿点和光饱和点均比低海拔地区种植的水稻高^[6], 以致每天光合作用强。又由于日较差大, 白天温度较高利于光合, 夜间温度低减少消耗, 有利于积累较多的营养物质, 促进稻穗的充分发育, 达到穗大、粒多、粒饱而获得高产。

(3) 降水条件。云南南亚热带杂交稻区水稻全生育期间的降水量在 550 ~ 1 200 mm 之间, 降水分布地域性极强, 东部和北部降水在 550 ~ 850 mm 之间, 西部降水在 1 000 mm 以上。东部和北部全生育期降水总量与广州、南京相当, 但播种—移栽期降水量仅为两地的 1/2, 6 ~ 8 月雨量适中, 日照时数 400 h 以上, 是云南杂交稻区光、温配合最好的地方, 也是云南杂交稻的高产区。西部全生育期降水远高于广州、南京, 除播种—移栽期间降水低于两地外, 其他各生育期均高于两地, 该区进入雨季后雨水过多, 日照时数偏少, 6 ~ 8 月日照时数为 240 ~ 400 h, 是云南杂交稻区光、温配合较差的地区, 由于日照少, 降水多, 该区还是稻瘟病等病害主发区。尽管云南南亚热带杂交稻区水稻全生育期间降水量丰沛, 但由于分布不均, 生育前期干旱严重 (尤其是雨季来临迟的年份), 所以种植水稻必须有灌溉设施, 以确保水稻生育期长、生育期无高温危害、光资源丰富的优势得以发挥, 保证云南杂交稻高产稳产。

3 冬播玉米的气候适应性

(1) 热量条件。云南南亚热带地区冬暖夏凉, 全年温度条件基本未超过玉米气候生态适宜条件的最高值和最低值。根据“滇中现代化农业——蒙自万亩吨粮田综合配套技术试验研究”课题组玉米四季播种试验证明, 一年四季玉米均可完成生育全过程, 正常成熟。

冬播玉米是近年在云南南亚热带地区发展起来的一种新的种植模式, 主要种植制度是水稻、冬玉米连作, 在不影响大春水稻适时移栽的前提下, 又要考虑充分利用 3 ~ 5 月的最佳光热资源供冬播玉米灌浆成熟, 故品种布局一般以中熟及中晚熟品种为主。

云南南亚热带地区最冷月气温 10 ~ 15℃, 蒙自 1 月均温为 12.1℃, 冬播玉米没有越冬休眠期, 一直处在生长阶段。从 12 月播种至 5 月收获, 经历 167 d。与华南地区的广州冬播玉米相比, 生育天数仅差 2 d (表 2)。两地全生育期间 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温分别为 2718.5℃·d 和 2814.3℃·d, 蒙自比广州仅少 95.8℃·d。但蒙自是采用苗期玉米均呆在薄膜中越冬近 50 d, 由于膜内的增温效益明显, 有效积温可增加 200 ~ 250℃。从表 2 看, 播种—吐丝期, 虽然蒙自比广州积温少 253.4℃·d, 期间平均气温低 1.3℃, 但期间生育天数却比广州少 6 d, 这充分表明了冬播玉米生育前期和中期, 由于植株相对矮小, 地膜增温效应高, 有利于玉米生长发育, 故生育提前。吐丝—成熟期, 蒙自比广州长 8 d, 期间 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温比广州多 157.6℃·d; 平均温度比广州低 0.4℃。这种生殖生长期的延长, 十分有利于籽粒充分灌浆成熟, 故蒙自的千粒重较广州高, 为 270 ~ 310 g, 广州的仅 140 ~ 170 g, 蒙自产量一般为 6 750 ~ 7 500 kg/hm², 广州仅

为 2 250 ~ 4 500 kg/hm²。

表 2 云南南亚热带地区与广州冬播玉米生育期及气象条件比较
Table 2 Comparisons of winter-sown maize development stages and climate conditions among southern Yunnan subtropical zone and Guangzhou

地区	生育期参数	播种- 吐丝	吐丝- 成熟	播种- 成熟	品种
蒙自	生育期	中/ 12 月 ~ 下/ 3 月	下/ 3 月 ~ 中/ 5 月	中/ 12 月 ~ 中/ 5 月	京杂 6 号
	生育天数(d)	117	50	167	
广州	生育期	下/ 11 月 ~ 中/ 3 月	中/ 3 月 ~ 上/ 5 月	下/ 11 月 ~ 上/ 5 月	中单 2 号
	生育天数(d)	123	42	165	
蒙自	平均气温()	14. 0	21. 7	16. 3	
	≥ 10 积温(· d)	1 634. 5	1 084. 0	2 178. 5	
	辐射量(MJ/ m ²)	1 749. 1	956. 3	2 705. 4	
	降水量(mm)	67. 6	104. 3	171. 9	
广州	平均气温()	15. 3	22. 1	17. 1	
	≥ 10 积温(· d)	1 887. 9	926. 4	2 814. 3	
	辐射量(MJ/ m ²)	970. 4	360. 7	1 331. 1	
	降水量(mm)	191. 2	254. 4	445. 6	

(2) 光能条件。玉米为 C₄ 高光效作物, 在自然光条件下, 群体达不到光饱和点, 光照越强, 越有利于玉米进行光合作用, 越有利于干物质积累和产量形成。而云南光能资源在全国属于最丰富的省份之一, 且年内变化特点是冬大夏小, 春多于秋。干季(11 月 ~ 次年 4 月) 为全国光能资源丰富区, 雨季(5 ~ 10 月) 为较少区。从冬播玉米生长发育看, 云南南亚热带地区冬播玉米全生育期及各个生长发育阶段的太阳辐射量明显高于广州地区(表 2), 充分保证了冬播玉米生殖生长期具有丰富的光能资源。由于充足的光照, 冬播玉米叶面积指数在后期仍较高, 且衰减很慢, 花丝期叶面积指数为 2. 49, 熟乳期叶面积指数仍为 2. 34, 真正体现了苞叶、籽粒腊黄, 而叶子仍为青绿。正由于云南南亚热带地区冬春日照时间长、太阳辐射强的优势, 尤其是冬播玉米灌浆成熟期正好对应着日照时数最多、太阳辐射最强的 3 ~ 5 月, 为高产稳产提供了最佳的光能资源, 故冬播玉米表现出了良好的丰产性, 产量和大春水稻相近, 超出了正季(春播秋收) 的玉米产量。

(3) 降水条件。玉米生长期中至少要有分配均匀的降水 250 mm 量。云南南亚热带地区冬播玉米生长期正好处在旱季, 全生育期降水 100 ~ 150 mm, 约为玉米理想需水量的 1/ 4, 且分配不均, 有 50 mm 左右是在 5 月的冬玉米腊熟期。冬播玉米生育期间降水量年际变动大, 变率在 40 % ~ 60 %。水分不足是冬播玉米生长的关键限制因子, 只有通过灌溉, 满足冬播玉米对水分的需求, 才能充分利用光热资源优势, 夺取高产稳产。由于我们在生产实际中采用了地膜覆盖栽培技术, 不仅起到了增温作用, 更重要的是保持了土壤水分, 近年的大田种植, 采用节水栽培种植, 一般在播种、破膜、大喇叭口 3 个时期灌水即可获得高产。

4 结 论

(1) 云南南亚热带杂交稻区生育期内温度相对较低, 但气温变化平稳, 生育期较华南、长江中下游稻区延长, 使水稻全生育期总热量加大, 在一定程度上弥补了生育期间气温低的不足,

加上昼夜温差较大, 辐射强度高, 全生育期内的太阳辐射总量多, 光资源丰富, 故云南杂资稻区生长量大, 产量高。

(2) 云南南亚热带地区冬玉米生育期内光照资源丰富, 尤其是开花吐丝—成熟期, 正好对应着日照时数最多、太阳辐射最强的 3~5 月, 温度条件基本能满足玉米生长发育, 但苗期有霜冻危害存在, 需进行地膜覆盖栽培 45~50 d 才破膜引苗; 冬春水份不足是冬播玉米生长的关键限制因子, 只有通过灌溉, 才能满足其正常生长发育需要, 但由于有地膜覆盖保水, 冬播玉米仅需在播种、破膜引苗和大喇叭口 3 个时期进行灌溉即可获得高产。

参 考 文 献

- [1] 王 明, 寿陞扬. 云南气候类型的客观分析[C]. 低纬高原天气, 1989, 2: 83~89.
- [2] 张家诚, 林之光. 中国气候[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1984. 23~37.
- [3] 程在全. 滇中高原光温对小麦光合作用及干物质积累的影响[J]. 西南农业学报, 1995, 8(1): 28~31.
- [4] 全国杂交水稻气象科研协作组. 杂交水稻气候适应性研究文集[C]. 北京: 气象出版社, 1985. 1~27.
- [5] 中国农业百科全书农业气象卷编委会. 中国农业百科全书: 农业气象卷[M]. 北京: 农业出版社, 1986. 276~279.
- [6] 卞福久. 云南高原低温度气候与水稻高产的初步分析[J]. 农业气象, 1984, 5(3): 21~25.
- [7] 李存信, 林德辉. 不同海拔地区种植的水稻叶片光合作用特征的比较[J]. 云南植物研究, 1986, 8(4): 459~466.

Climate Resource and Adaptability of Rice and Winter-Sown Maize in Southern Subtropical Zone of Yunnan

Zhu Yong¹⁾ Li Shuyun²⁾ Zhang ShiBao²⁾

(1) Yunnan Agrometeorological Center, Kunming 650034;

2) Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204)

Abstract: Yunnan Province has plenty of light resource in its southern subtropical zone where both hybrid rice and winter-sown maize yield high. Besides, thermal condition is also very good with 6 000 to 7 500 °C·d of ≥ 10 °C accumulative temperature for a whole year, smaller annual and greater diurnal temperature difference. Such climate as warm winter and cool summer can make maize be planted any time in a year, being typical of the southern subtropical climate zone for the crop. Not so high temperature in summer when sunshine is weak in some degree causes lower yield of the hybrid rice. Rainfall is distributed unevenly either in season or in space, though its annual total amount is proper, and within dry spring and winter seasons it is only 10 % to 15 % of the total, accordingly restricting growth of the winter-sown maize and pre-planting rice. To develop water conservancy and irrigation therefore is the most important for achieving high and stable yields of rice and maize in this zone.

Key words: Southern subtropical zone of Yunnan, climate resource, rice, winter-sown maize