

西南单季稻区立体生态亚区划分探讨

张晓梅^{1,2} 杨从党³ 丁艳锋¹ 武卫³ 李刚华^{1*}

(¹ 南京农业大学/农业部作物生理生态与生产管理重点实验室, 南京 210095; ² 德宏师范高等专科学校, 云南 芒市 678400;

³ 云南省农业科学研究院, 昆明 650205; * 通讯作者: lgh@njau.edu.cn)

摘要:通过对西南 3 省 1 市 69 个水稻种植区气象站点 10 年的气象资料进行统计分析, 结合各区水稻生育期特点, 把西南立体生态区划分为 4 个生态稻作区(热带稻作区、温暖稻作区、温凉稻作区、冷凉稻作区), 并细分为 5 个生态亚区(干热籼稻亚区、湿热籼稻亚区、温暖籼粳稻交错亚区、温凉籼粳稻交错亚区和高原冷凉粳稻亚区)。根据这一划分制定相应的栽培措施和方案, 以指导各区域水稻生产。

关键词: 西南; 单季稻; 立体生态; 亚区划分

中图分类号: S511 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8082(2016)05-0010-05

西南稻作区包括四川、重庆、贵州、云南等 3 省 1 市的 345 个县(市、区), 现有稻田面积 467 万 hm^2 , 约占全国稻作面积的 6%。胡立勇等^[1]把西南单季稻区划分为黔东高原山区单季稻亚区、滇川高原岭谷单季稻两熟亚区、滇南河谷盆地单季稻亚区、川陕盆地单季稻亚区 4 个亚区; 廖西元^[2]将川、渝、黔、滇稻作区划分为 9 个亚区: 川东南冬闲(水)田中稻-再生稻亚区、川西平原稻麦(油)两熟水旱轮作亚区、川中及川东北丘陵一季中稻亚区、渝西浅丘及三峡库区沿江河谷中稻-再生稻亚区、渝东渝南丘陵低山中稻亚区、黔中高原中稻亚区、黔东黔南山地高原丘陵中稻亚区、滇中高原一季中稻亚区、滇南低海拔杂交籼稻亚区。

由于社会的发展、技术进步、热区冬季农业开发力度的加大、农业种植结构的调整, 使西南各省市水稻生产实际发生了较大的改变, 双(三)季稻种植面积已经很少, 上述亚区的划分不再适合现在的西南地区单季稻稻作分布情况。本研究立足于西南立体生态区, 针对不同生态区水稻生长的特点, 通过收集、整理、分析西南 3 省 1 市 69 个气象站点 10 年气象数据, 对西南立体生态亚区一季中稻种植区域进行重新划分, 旨在为西南地区单季稻高产栽培共性规律研究提供依据。

1 数据来源与分析方法

选用了中国气象局收集的川、渝、黔、滇水稻种植区海拔 180 m 至 2 400 m 之间的 69 个气象站点 2004-2013 年气象资料, 包括最高温度、最低温度、平均温度、日照时数、降雨量、相对湿度等数据, 按全年和西南水稻生长季节(3 月 1 日至 10 月 30 日)2 种方式求 10 年平均值, 积温为 $\geq 0^\circ\text{C}$ 的日平均温度总和。

稻作区的分级: 以西南稻区稻季 $\geq 0^\circ\text{C}$ 有效积温、

日均温及稻季降雨量和相对湿度为稻区划分方法。稻季 $\geq 0^\circ\text{C}$ 有效积温超过 5 400 $^\circ\text{C}$ 、日均温 $\geq 22^\circ\text{C}$ 为热带稻作区; 积温 4 900 $^\circ\text{C}$ ~5 400 $^\circ\text{C}$, 日均温 20°C ~ 22°C 为温暖稻作区; 积温 4 400 $^\circ\text{C}$ ~4 900 $^\circ\text{C}$, 日均温 18°C ~ 20°C 为温凉稻作区; 积温 3500 $^\circ\text{C}$ ~4400 $^\circ\text{C}$ 为冷凉稻作区。

运用 Excel 2007 软件分析各气象要素与海拔高度和纬度的关系, 绘图运用 origin 8.5。运用 SAS 9.1 软件的聚类分析方法和典型相关分析方法处理西南稻作区立体生态亚区数据。采用 ARCGIS 10.0 绘制西南稻作区之间气象因子变化趋势图。

2 结果与分析

2.1 西南稻作区生态因子布局

西南稻区海拔呈现川西北较高、成都平原较低的布局。海拔 2 500 m 以上区域主要分布在川西北的甘孜州和凉山州, 及滇西北地区的迪庆州, 由于海拔较高, 只有其中的一些高原平坝适合种植水稻。海拔 1 000~2 000 m 地区包括贵州的六盘水、黔西南州, 滇东南、滇南的思茅、玉溪及滇西北的丽江、大理、保山; 海拔较低地区主要位于成都平原, 包括重庆市、黔东南和黔南大部。

10 年调查数据显示, 年均温较高的区域主要位于川滇交界的金沙江流域, 包括四川的攀枝花, 云南的元谋、华坪、元江、德宏州、思茅地区、西双版纳州及文山

收稿日期: 2016-06-26

基金项目: 云南省省院省校科技合作专项(2013IB011); 公益性行业(农业)科研专项(201303102); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD16B14, 2012BAD20B05, 2012BAD04B08, 2013BAD20B05)

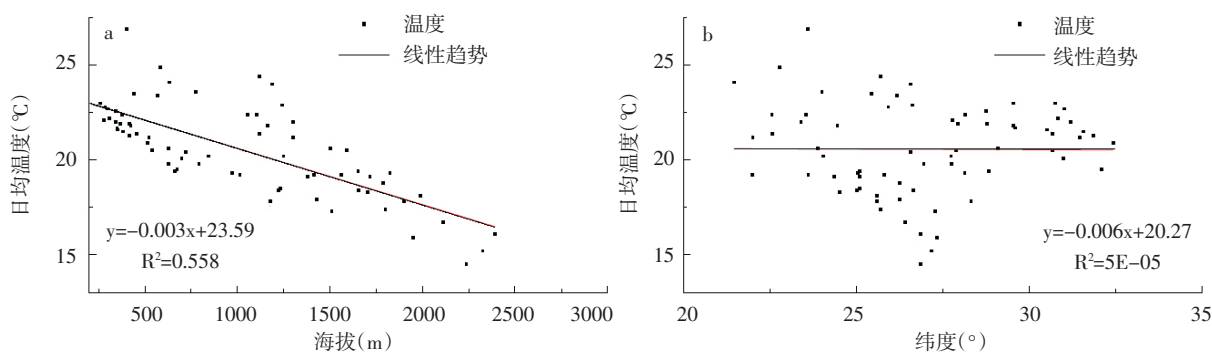


图1 西南稻区海拔和纬度对日均温度的影响

州部分县(市);黔西南、黔南地区、黔东南大部,川中、川东北地区、川西平原,滇中大部分区域及重庆大部热量分布次之;川、渝盆周山区,成都及周边的温江、郫县、双流、广汉、什邡、仁寿等地区再次之;云、贵交界的六盘水、毕节,贵阳及滇东昭通大部,滇西向北的大理、怒江和滇西北的丽江、迪庆年均温较低;川西北的甘孜、阿坝、雅安及周边区域,滇、桂接壤的滇东南部分地区,滇西北的中甸、德钦,黔中高原的黔西、织金等区域年均温相对最低,由于生产条件差,水稻单产低而不稳,但有增产潜力。

10年统计数据表明,西南稻区降雨量较多的地区主要分布在四川雅安、都江堰,云南江城、勐腊、思茅、澜沧、瑞丽、腾冲;次之的地区包括黔西南州,滇西,滇西南的德宏、临沧、思茅,四川的乐山和达州;再其次是成都平原的黔中、黔北、黔南、黔东南大部,滇中的昆明、保山、临沧部分地区;降雨量较少的地区主要集中在四川的绵阳、德阳,滇东的曲靖,滇东北的昭通,滇中的楚雄、玉溪大部,滇西北的迪庆、大理部分地区,滇东南的文山州大部。

10年统计数据表明,海拔较高的川西北高原、黔西南州和滇中的昆明平均日照时数变化趋势较大;其次是成都平原和云南大部;变化较小的是滇中地区。

2.2 气象因子与海拔高度和纬度的关系

2.2.1 温度与海拔高度和纬度的关系

调查数据显示,水稻生长季节日均温受海拔高度的影响较大。海拔从187 m增加到2 400 m,日平均气温降低了12.4℃,海拔高度每上升100 m日平均气温下降0.56℃。在海拔1 000 m以下地区,日均气温在19.3℃~26.9℃之间;海拔高度1 000~1 500 m地区,除元谋、攀枝花日均气温高于24.0℃外,大部分地区日均气温在17.0℃~23.0℃之间;海拔1 500~1 800 m地区,日均气温在17.0℃~20.5℃之间;海拔1 800~2 400 m地区,除楚雄日均气温高于19.0℃外,大部分地区日均气

温在14.0℃~18.0℃之间(图1-a)。

随着纬度的升高,水稻生长期间的日平均温度有下降趋势但无明显规律,二者相关性不大(图1-b)。在最低北纬21°,平均温度为24℃,而到北纬32°时,平均温度降为20℃。但是北纬26°左右时,也出现平均气温14℃的低值。最低温出现在北纬26°~27°之间,并未出现在北纬32°区域。可见,立体生态区水稻生长季节的平均温度主要由海拔决定,受纬度变化的影响较小。

2.2.2 降雨量与海拔高度和纬度的关系

随着海拔高度升高,水稻生长季节降雨量有减少的趋势,但无明显规律性变化(图2-a)。海拔1 000 m以下地区降雨量在600~1 400 mm之间,干热河谷区,如云南元江其海拔只有400 m,但降雨只有680 mm。海拔2 000 m以上地区降雨量690~882 mm,海拔1 100~2 000 m地区的降雨量变化范围较大,降雨量高的达1 900 mm以上,降雨量低的在700 mm以下。

降雨量总体趋势是随着纬度的升高降雨量降低,但相关度不大(图2-b)。

2.2.3 相对湿度与海拔高度和纬度的关系

随着海拔的上升,相对湿度有降低的趋势,但趋势不明显且规律性不强(图3-a)。在海拔500 m的区域,相对湿度在80%左右,而在2 400 m区域,相对湿度仅为70%。金沙江流域的元谋、华坪、元江、攀枝花等地非常特殊,其相对湿度低于65%,可能与其处于干热河谷区有关。

随着纬度的升高,相对湿度有降低趋势,但相关度不大(图3-b)。

2.2.4 日照时数与海拔高度和纬度的关系

海拔从187 m上升至2 400 m,日照时数从2.8 h提高到4.7 h,随着海拔的增加日照时数总体呈递增趋势。海拔1 000 m以下地区日照时数大部分地区低于5.0 h,少数地区高于6.0 h;海拔1 200~1 300 m的部分地区日照时数达到5.5 h以上,极个别地区低于4.5 h

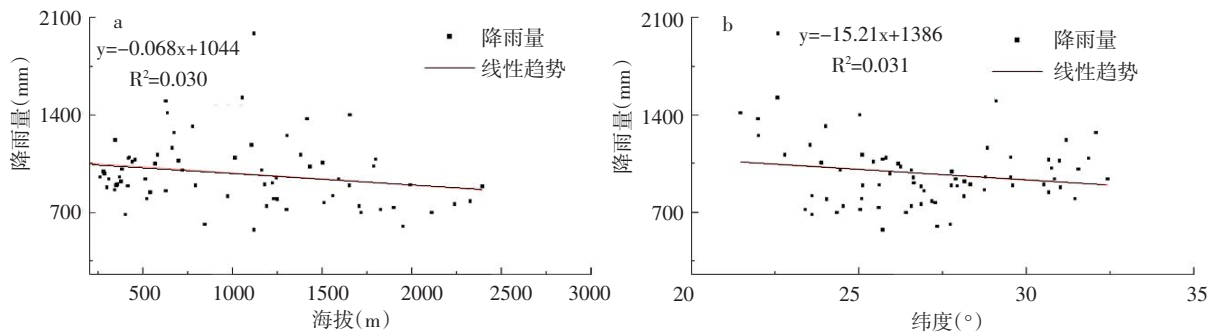


图2 海拔和纬度对降雨量的影响

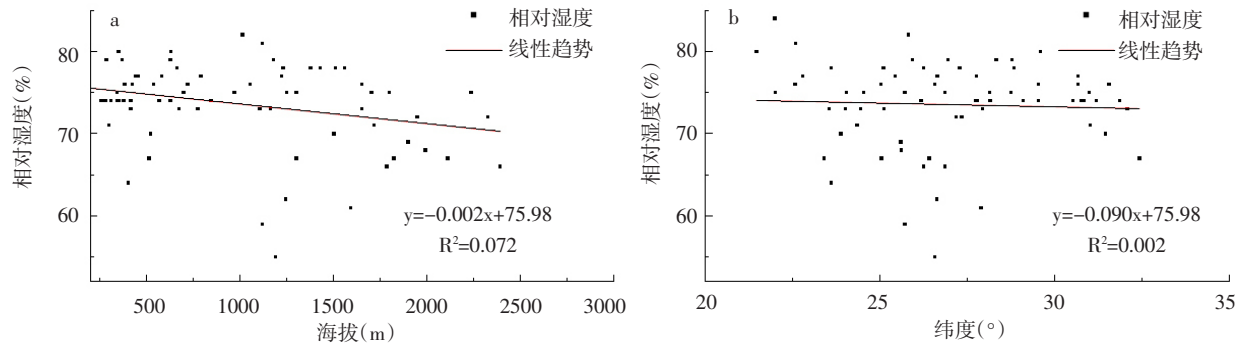


图3 西南稻区海拔和纬度对相对湿度的影响

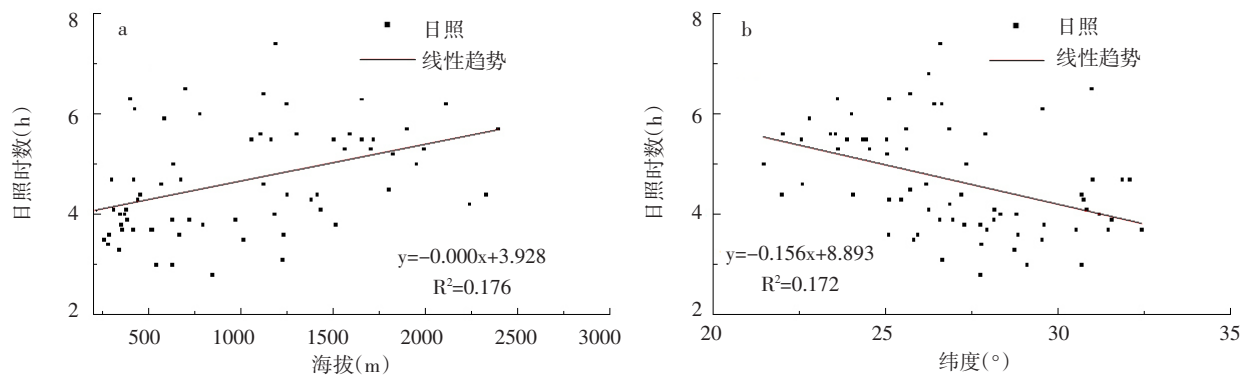


图4 西南稻区海拔和纬度对日照的影响

(图4-a)。

随着纬度的增加,日照时数呈下降趋势(图4-b)。

2.3 环境因子与气象因子的典型相关分析

以上根据海拔或纬度对气象因子的分类中,气象因子的数据同时受到海拔高度和纬度的共同作用,为了进一步分析海拔高度、纬度变化对气象因子影响的重要性,对海拔(X1)、纬度(X2)、年平均温度(Y1)、日照时数(Y2)、相对湿度(Y3)、降雨量(Y4)进行典型相关分析。结果表明,虽然特征变量H1与C1,H2与C2都具有相关性,但是第1对典型变量H1与C1所占的贡献率高达99%,因此以第1对变量为主(表2)。经过标准化变量后为:H1=0.9474X1+0.1031X2,C1=-

0.9584Y1+0.0619Y2-0.2474Y3+0.0447Y4($r_1=0.9882, P<0.01$)。

H1与C1两者的典型相关包含了99%的相关信息,表明在西南稻区的海拔高度(X1)对气象因子的影响比纬度(X2)更大,海拔是决定气象条件的主要因子;而气象因子(C1)中,温度(Y1)起着决定性的作用,日照时数(Y2)、相对湿度(Y3)、降雨量(Y4)对气候类型的影响较小。由H1与C1典型相关分析可以得出,海拔(X1)是决定年平均温度(Y1)的主要因子,也是决定气候类型的主要因子。因此,以海拔的高低来划分西南稻区水稻生态类型是切实可行的。

2.4 西南稻作区立体生态亚区的划分

表 1 地理位置与气候因子的典型相关分析结果

编号	特征根	贡献率	累计贡献率	典型相关系数	典型相关系数的平方	P 值
1	41.7282	0.9903	0.9903	0.9882	0.9766	<0.0001
2	0.4070	0.0097	1.0000	0.5378	0.2893	0.0211

表 2 不同生态亚区特征

生态区	生态亚区	平均 海拔 (m)	全年		水稻生长季				
			平均温度 (℃)	活动积温 (℃)	平均温度 (℃)	活动积温 (℃)	平均降雨量 (mm)	相对湿度 (%)	平均日照时数 (h)
热带稻作区	干热籼稻亚区	660	21.7	7 927.1	≥22	≥5 400	765.0	<65	6.6
	湿热籼稻亚区	660	19.5	7 116.7	≥22	≥5 400	1 300.0	75~85	5.1
温暖稻作区	温暖籼粳稻交错亚区	740	17.6	6 365.2	20~22	4 900~5 400	1 037.5	66~84	4.4
温凉稻作区	温凉籼粳稻交错亚区	1 300	16.0	5 459.4	18~20	4 400~4 900	883.0	65~75	4.7
冷凉稻作区	高原冷凉粳稻亚区	1 880	13.6	4 791.3	14~18	3 500~4 400	840.6	66~75	5.1

通过 2.1~2.3 节的讨论得知,日均温度是西南稻作区立体生态亚区划分的主要指标,其主要受海拔高度影响。根据不同地区的海拔高度、水稻生长季的日均温和传统稻作习惯,可把西南单季稻区划分为热带稻区、温暖稻区、温凉稻区和冷凉稻区。热带稻区平均海拔 660 m,最高海拔 1 200 m,水稻生长季日均温 22.0℃以上,稻季≥0℃积温在 5 400.0℃以上,位于北纬 21°~31°之间的河谷流域和平原。温暖稻区平均海拔 740 m 以下,水稻生长季日均温 20.0℃~22.0℃,稻季≥0℃积温在 4 900.0℃~5 400.0℃之间,位于北纬 22°~32°之间的丘陵或平原地区。温凉稻区平均海拔 1 300 m,水稻生长季日均温 18.0℃~20.0℃,稻季≥0℃积温在 4 400.0℃~4 900.0℃之间,位于北纬 22°~32°之间。冷凉稻区平均海拔 1 880 m,水稻生长季日均温 14.0℃~18.0℃,稻季≥0℃积温在 3 500.0℃~4 400.0℃之间。

在热带稻作区,温度已不是限制水稻生长的因子,限制水稻生产的主要因子是空气湿度和降雨量。根据西南热带稻区的降雨量和空气湿度的差异,结合该区域稻作种植习惯,把热带稻作区又细分为干热籼稻亚区和湿热籼稻亚区。干热籼稻亚区年平均降雨量 765 mm,相对湿度 65%以下;湿热籼稻亚区年平均降雨量 1 300 mm,平均相对湿度 76%。西南温暖稻区既有籼稻种植,也有粳稻生产,此区域定位温暖籼粳稻交错亚区。温凉稻作区传统上以种植籼稻为主,但近几年,粳稻种植面积在逐步扩大,因此,也定义为温凉籼粳稻交错亚区。冷凉稻作区由于温度限制和海拔区域特点,定义为高原冷凉粳稻亚区。各亚区的气候特点见表 2。

干热籼稻亚区: 主要在北纬 25°~26°之间,海拔 1 000 m 以下河谷坝区,年平均温度 21.7℃,年活动积温 7 927.1℃。3~10 月水稻生长季:平均温度≥22.0℃,活动积温≥5 400.0℃,平均降雨量 765 mm,空气湿度<65%,日照时数 6.6 h。主要分布在金沙江、澜沧江、怒江、红河等河谷地区,代表性县(市)有四川攀枝花,云

南华坪、元谋。
湿热籼稻亚区: 主要分布在北纬 22°~25°、平均海拔 660 m,年平均温度 19.5℃,年活动积温 7 116.7℃。3~10 月水稻生长季: 平均温度≥22.0℃,活动积温≥5 400.0℃,降雨量 1 100~1 600 mm,平均降雨量 1 300 mm,空气湿度 75%~85%,日照时数 5.1 h。主要包括滇南的西双版纳州和普洱市,滇西的临沧市和德宏州,黔南、黔西南交界地区,代表性县(市)有奉节、宜宾、重庆沙坪坝、元江、景洪、孟定、勐腊、瑞丽、耿马、澜沧、景东、江城、普洱、红河、蒙自。

温暖籼粳稻交错亚区: 主要分布在北纬 25°~30°之间,平均海拔 740 m,年均温 17.6℃,年活动积温 6 365.2℃。3~10 月水稻生长季: 平均温度 20.0℃~22.0℃,活动积温 4 900.0℃~5 400.0℃,平均降雨量 1 038 mm,空气湿度 70%~85%,日照时数 4.4 h。主要包括四川东部的绵阳、德阳、眉山和乐山,贵州中部的贵阳、遵义、安顺及黔西南大部,滇西的保山、大理,滇东南的文山。

温凉籼粳稻交错区: 主要分布在北纬 25°~32°之间,平均海拔 1 300 m,年平均温度 16.0℃,年活动积温 5 459.4℃。3~10 月水稻生长季: 平均温度 18.0℃~20.0℃,活动积温 4 400.0℃~4 900.0℃,平均降雨量 883 mm,空气湿度 65%~75%,日照时数平均 4.7 h。主要包括川、渝盆周山区,成都及周边的温江、郫县、双流、广汉、什邡、仁寿,云、贵交界的六盘水、毕节及滇东昭通大部,滇西向北的大理、怒江,滇西北的丽江、迪庆。

高原冷凉粳稻亚区: 主要分布在北纬 25°~27°之间,平均海拔 1 880 m,年均温低于 13.6℃,年活动积温 4 791.3℃。3~10 月水稻生长季: 平均温度 14.0℃~18.0℃,活动积温 3 500.0℃~4 400.0℃,平均降雨量 840 mm,空气湿度 66%~75%,平均日照时数 5.1 h。主要包括川西北,川北的甘孜、阿坝,滇西北的中甸、德钦,川滇交界的德荣,此区域由于生产条件差,水稻单产低而

不稳,但有增产潜力。

3 小结与讨论

3.1 温度是水稻区划的主要气象因素

气候规律决定农业生产布局与种植结构^[3]。据 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 第 4 次评估报告,最近 100 年来(1905-2005 年) 全球平均气温上升了约 0.74℃^[4]。近年来中国的平均气温上升幅度也有所增加^[5-6]。气候变化引起温度、降水、CO₂ 等一系列因素的变化,对水稻生长发育及其分布产生了重大影响。光、温、水是影响水稻分布的主要气候因子^[7]。光可分为太阳辐射和日照时数,它对一个地区的水稻产量有很大影响^[7-10]。日照时数与水稻品种的生态特性有密切关系,理论日照时数主要决定于太阳高度角,即随纬度而变^[7]。日照时数与太阳辐射成正相关^[11]。热量条件的差异与品种生态类型有密切关系,决定水稻的熟制和品种区域性,是水稻区划的重要依据^[7]。水稻开花的适温为 25℃~30℃,最高温度为 40℃~45℃,最低温度为 13℃~15℃,气温低于 20℃(粳稻)~23℃(籼稻) 或高于 35℃,裂药就受影响^[2]。本文以水稻生长季的日平均气温为主要因子,兼顾日照时数、降雨量和空气湿度划分西南稻作生态区。降雨量和空气湿度影响了日照时数,干热和湿热亚区的划分主要依据空气湿度的高低。干热亚区的湿度低,日照时数和温度较高,水稻产量水平较高,单独划分出来主要是为了准确制定栽培技术实施方案。根据这一划分制定相应的栽培措施和方案,对正确指导水稻生产意义重大。

3.2 西南水稻区划的特点及亚区划分

由于西南地区地形复杂,地势高低悬殊,垂直气候分布差异非常显著,从而形成了多种多样的耕作制度

和丰富多彩的稻种资源^[12],但也为不同生态区水稻高产栽培带来了较大的难度。同时,西南稻区还受海拔和降雨及传统稻作习惯的影响。因此,在进行稻作亚区划分时,根据平均温度高低和海拔把西南稻作区划分为热带稻作区、温暖稻作区、温凉稻作区、冷凉稻作区。湿度和降雨量又是热带稻作区的限制因子。因此,将热带稻作区细分为干热籼稻亚区和湿热籼稻亚区。温暖稻区和温凉稻区海拔高的地方习惯种植粳稻、海拔低的地方习惯种植籼稻,因此,统一为温暖籼粳稻交错亚区和温凉籼粳稻交错亚区及高原冷凉粳稻亚区。

参考文献

- [1] 廖西元. 水稻区域目标产量生产技术规范[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2009:60-65.
- [2] 胡立勇,丁艳锋. 作物栽培学[M]. 北京:高等教育出版社,2008.
- [3] 张晋科,张凤荣,张琳,等. 中国耕地的粮食生产能力与粮食产量对比研究[J]. 中国农业科学,2006,39(11):2278-2285.
- [4] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 237-241.
- [5] Ren G Y, Ding Y H, Zhao Z C, et al. Recent progress in studies of climate change in China[J]. *Adv Atmos Sci*, 2012, 29(5): 958-977.
- [6] Tao F L, Yoko zawa M, Xu Y L, et al. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000 [J]. *Agric Forest Meteorol*, 2006, 138: 82-92.
- [7] 黄兴奇. 云南作物种质资源 [M]. 昆明: 云南科技出版社,2005: 22-24.
- [8] 蒋志农. 云南稻作[M]. 昆明:云南科技出版社,1995:233-266.
- [9] 《云南农业地理》编写组. 云南农业地理[M]. 昆明:云南人民出版社,1981:7-10.
- [10] 中国农业科学院. 稻作科学论文集[C]. 北京:农业出版社,1959.
- [11] 冯兴匀. 我国各地区旬太阳总辐射的统计、计算及其分布[J]. 农业气象,1980(2):7-12.
- [12] 卢其尧. 我国水稻生产光温潜力的探讨 [J]. 农业气象,1980(1): 1-11.

Study on Division of Stereo-ecological Sub-region of Single Cropping Rice in Southwest China

ZHANG Xiaomei^{1,2}, YANG Congdang³, DING Yanfeng¹, WU Wei³, LI Ganghua^{1*}

(¹ Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology in Southern China, Ministry of Agriculture/Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

² Dehong Teachers College, Mangshi, Yunnan 678400, China; ³ Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205, China; *Corresponding author: lgh@njau.edu.cn)

Abstract: The meteorological data from 69 meteorological stations in rice-growing areas of three provinces and one city in southwest China over last 10 years were analyzed in this article, that combined with characteristics of rice growing period. The result showed that, the stereo-ecological region of rice-growing areas in southwest China could divide into four ecological regions (tropical rice area, warm rice area, cool rice area and cold rice area). The four area could subdivided into five ecological sub-regions (dry-heat *indica* sub-region, dampness-heat *indica* sub-region, warm *indica* and *japonica* staggered sub-region, warm-cool *indica* and *japonica* staggered sub-region, cold and plateau sub-region of *japonica*). Making the appropriate cultivation measures and scheme according to this division to guide rice growing in this area is of great significance.

Key words: Southwest China; single cropping rice; stereo-ecological; sub-region division