

基于作物水分亏缺指数的云南葡萄 干旱状况时空差异分析

李雅善¹, 王波¹, 杨云源², 徐成东¹, 王振吉¹, 范树国¹

(1. 楚雄师范学院 化学与生命科学学院, 云南 楚雄 675000; 2. 楚雄师范学院 地理科学与旅游管理学院, 云南 楚雄 675000)

摘要:选取云南省4个代表性葡萄产区,以1982—2011年30年间的气象资料为基础,利用FAO推荐的Penman-Monteith方法及其提供的基础作物系数计算作物需水量,结合生育期内降雨量计算作物水分亏缺指数(CWDI)并对其进行分析;利用线性倾向估计方法对不同生育阶段内CWDI的年际变化趋势进行了研究;结合农业干旱等级,对葡萄不同生育阶段不同程度干旱发生频率进行了统计和分析,以研究云南葡萄产区的干旱时空分布特征。结果表明:4个产区的CWDI走势均呈倾斜的“Z”型,且宾川、元谋、弥勒3个地区5月中旬以前CWDI值均较高,葡萄生长中期CWDI值较低;4个地区葡萄生长末期的CWDI值呈上升趋势,而其它时段大部分呈下降趋势,但升降趋势大多不显著;生长前期的特旱发生频率较高,生长中后期不同干旱程度发生频率均较低。

关键词:云南;葡萄;作物需水量;作物水分亏缺指数;干旱频率

中图分类号:S 663.107⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)12-0011-05

云南省气候多样,立体气候明显,光热资源充足,冬季无需埋土防寒,具有栽培葡萄的独特优势。云南省干热区是全国葡萄成熟最早的区域,露地栽培的鲜食葡萄比北方产区早成熟2~4个月^[1];以迪庆高原产区和干热

河谷产区为代表的云南高原特色酿酒葡萄栽培已初具规模,所酿葡萄酒屡获国内外大奖^[2]。目前,云南省的葡萄种植面积多达3.3万hm²,其中鲜食葡萄3万hm²,酿酒葡萄333.3hm²;总产量为91万t,其中鲜食葡萄86万t,酿酒葡萄5万t,总产值约135亿元^[3]。尽管葡萄产业发展势头强劲,成绩喜人,但是自20世纪90年代开始,云南旱灾频发、影响范围广、持续时间长、灾害损失重,尤其是2010年所发生的百年一遇的特大干旱为历史罕见,对葡萄产业的发展产生了巨大的负面影响^[4-5]。因此,研究云南葡萄产区干旱发生规律对葡萄产业的发展具有重要的意义。

目前用于分析农业干旱的指标较多,有降雨量、土

第一作者简介:李雅善(1987-),男,河南鲁山人,硕士,助教,现主要从事葡萄生理生态等研究工作。E-mail:liyashan@cxtc.edu.cn。
基金项目:云南省高校特色植物资源研究与开发科技创新团队支持计划资助项目(IRTSTYN);云南省省级重点学科建设“生物学”和楚雄师范学院校级重点学科建设“生物学”资助项目(05YJJSXK03);云南省高校应用生物学重点实验室基地建设资助项目;楚雄师范学院学术后备人才资助项目(14XJRC21)。

收稿日期:2016-02-14

Abstract: Wine grape production areas exist many questions, such as soil barren, low utilization rate of water, unstable production restricts the development of industry in the eastern foot of Helan Mountain. Through field experiment and laboratory analysis, different irrigation quota, different irrigation gradient were set to study the influence of regulated irrigation on the growth and development of wine grape ('Cabernet Gemischt'), as well as quality and photosynthesis. The results showed that, the increase of irrigation quota and irrigation frequency could promote plant height, shoots length, deputy shoot number and increase the number of effective utilization of water, watered 10 times, irrigation water with 4 950 m³ · hm⁻² could improve the quality effectively, but watered 20 times, irrigation water with 5 850 m³ · hm⁻² reduced the soluble sugar, total acid, tannins, anthocyanins significantly. Increasing irrigation was helpful for production and single grain weight increased in the growing period of wine grape. Instead, too much water would restrain the growth of the ear. Watered 10 times, irrigation water with 4 950 m³ · hm⁻² was suitable for the region's high quality wine grape cultivation.
Keywords: eastern foot of Helan Mountain; wine grape; management; fruit quality; production

壤含水量、作物旱情指标、作物需水量、Palmer 指标、相对湿润度指数、作物水分亏缺指数等^[6-8]。作物水分亏缺指数(CWDI)是表征作物水分亏缺程度的指标之一,其能较好地反映土壤、植物和气象 3 个因素的综合影响,真实地反映出作物水分亏缺状况^[9]。前人将作物水分亏缺指数这一指标应用于农业旱情灾害的分析中,并取得了一系列成果,但这些研究对象多集中于小麦、玉米和油菜等粮油作物^[10-12]。李雅善等^[8]利用该指标对我国北方酿酒葡萄产区的旱情进行了分析,取得了良好的效果。该试验首次利用该指标对云南葡萄产区旱情时空差异进行分析,以期对葡萄产业抗旱、避旱提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究对象

选取云南省具有代表性的葡萄产区(德钦县、宾川县、元谋县、弥勒县)作为研究对象,具体位置见图 1。试验所使用的原始气象数据来源于国家气象局,选取云南省具有代表性葡萄产区的 1982—2011 年 30 年间葡萄生育期内逐日气象资料,包括日最高气温、日最低气温、日平均气温、降水量、日照时数、相对湿度、平均风速、纬度、海拔等。

表 1 云南不同产区葡萄生育期划分

Table 1 Division of growth period of grape in different production area of Yunnan Province						
产区	品种	生长初期	快速生长期	生长期中期	生长末期	生育期长度
Grape production area	Variety	The initial growth stage	The development growth stage	The middle growth stage	The later growth stage	The length of growth stage
		/(月-日)	/(月-日)	/(月-日)	/(月-日)	/d
德钦县	“赤霞珠”	04-01—04-20	04-21—05-31	06-01—09-30	10-01—12-10	250
宾川县	“红地球”	02-11—02-28	03-01—04-10	04-11—08-20	08-21—11-10	270
元谋县	“红地球”	01-11—01-31	02-01—03-10	03-11—08-20	08-21—11-20	310
弥勒县	“夏黑”	02-11—02-28	03-01—04-10	04-11—08-31	09-01—11-20	280

1.3 项目测定

1.3.1 作物水分亏缺指数的计算方法 作物水分亏缺指数(CWDI)的计算方法参考文献^[8,14-15]。其中德钦县、宾川县、元谋县和弥勒产区葡萄生育期内旬需水量基数分别取 20、30、33、27 mm。

1.3.2 葡萄需水量及葡萄作物系数的确定 作物需水量常用的方法是 FAO 推荐的作物系数法,由于当地缺少葡萄作物系数的实测数据,试验采用 FAO 提供的鲜食葡萄与酿酒葡萄基础作物系数,并根据各地历年的实际气候情况做必要的调整,调整公式及依据参见文献^[13]。

1.3.3 干旱等级划分及干旱频率计算 基于作物水分亏缺指数的葡萄干旱评价分级参照国家标准《农业干旱等级》^[14],并根据葡萄实际情况,确定其干旱等级划分(表 2)。结合该试验的划分时段及相关文献^[16],确定葡萄水分临界期为萌芽期,即试验的生长初期。按句计算不同生育期干旱发生的频率^[11]: $F_i(\%) = N/n \times 100$,式中: N 为该句出现干旱的年数; n 为统计的总年数。

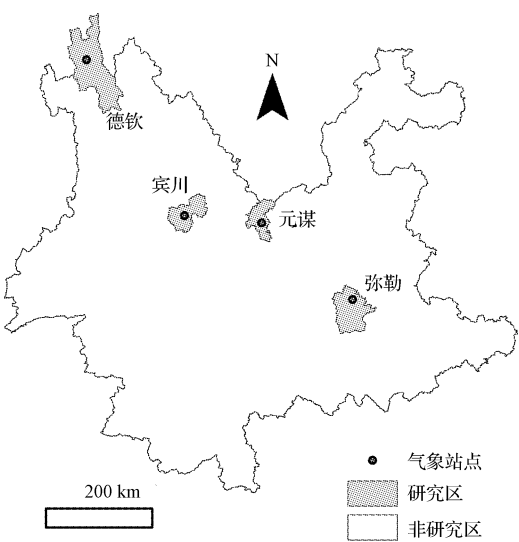


图 1 云南省 4 个主要葡萄产区代表分布

Fig. 1 Four major grape production areas of Yunnan Province

1.2 研究方法

根据文献^[13]的葡萄生育期划分方法及对当地的调查情况,确定出德钦县、宾川县、元谋县、弥勒县代表性葡萄品种的平均生育期(表 1)。其中,“赤霞珠”为酿酒葡萄品种,“红地球”和“夏黑”为鲜食葡萄品种。

表 2 作物水分亏缺指数的农业干旱等级

Table 2 Agricultural drought grade of crop water deficit index(CWDI)			
等级	类型	作物水分亏缺指数	Crop water deficit index/%
Degree	Type	水分临界期	其余发育期
		Critical period of water requirement	The other growth stages
0	无旱	$CWDI \leq 10$	$CWDI \leq 15$
1	轻旱	$10 < CWDI \leq 20$	$15 < CWDI \leq 25$
2	中旱	$20 < CWDI \leq 30$	$25 < CWDI \leq 35$
3	重旱	$30 < CWDI \leq 40$	$35 < CWDI \leq 50$
4	特旱	$CWDI > 40$	$CWDI > 50$

1.4 数据分析

利用 Excel 进行基础数据处理,图形制作及线性拟合采用 Origin 8.0 专业制图软件。

2 结果与分析

2.1 葡萄生育期内需水量、有效降雨量和水分亏缺指数变化特征

分别按句计算出德钦县、宾川县、元谋县、弥勒县葡萄在全生育期各句的葡萄需水量(ET_c)、有效降雨量

(P_i)和作物水分亏缺指数(CWDI),获得4个地区30年间的平均值。由图2可以看出,从整体上看,4个地区葡萄生育期内旬需水量均呈现“中间高、两头低”的态势。4个地区葡萄旬需水量最大值均出现在5—6月间,其中元谋和弥勒均为5月上旬,旬需水量分别达到39.42 mm和43.09 mm,宾川出现在5月下旬,达到45.42 mm,而德钦则出现在6月上旬,旬需水量为28.80 mm。就旬需水量最大值相比较而言,宾川比德钦要高出57.71%。需水量最低的时期均位于萌芽时或落叶前。

从降雨量变化趋势看,4个地区各不相同。其中宾川与元谋非常相似,以5月中旬为界,呈现出较为明显的干湿分明现象。德钦则没有干湿分明的现象,而是呈现出“锯齿”状趋势。葡萄生育期内,4个地区旬降雨量最

大值均出现在7月,其中德钦、元谋、弥勒为7月下旬,分别为42.21、36.94、60.02 mm,而宾川出现在7月中旬,为51.25 mm。宾川和元谋在5月中旬以前几乎没有降雨。

课题组同时整理了各地葡萄生育期内总需水量和总降雨量,以便从宏观层面把握水分亏缺程度。从表3可以看出,宾川葡萄总需水量最大,达到813.29 mm,德钦最小,仅为467.98 mm。总降雨量德钦、宾川、元谋差别不大,而弥勒较高,达到741.08 mm。元谋和宾川水分亏缺量最大,分别达到338.04 mm和328.96 mm,德钦的水分亏缺较少,仅为25.82 mm,而弥勒则有少量的水分盈余。为了进一步研究葡萄干旱状况发生规律,需要引入作物水分亏缺指数(CWDI)进行分析。

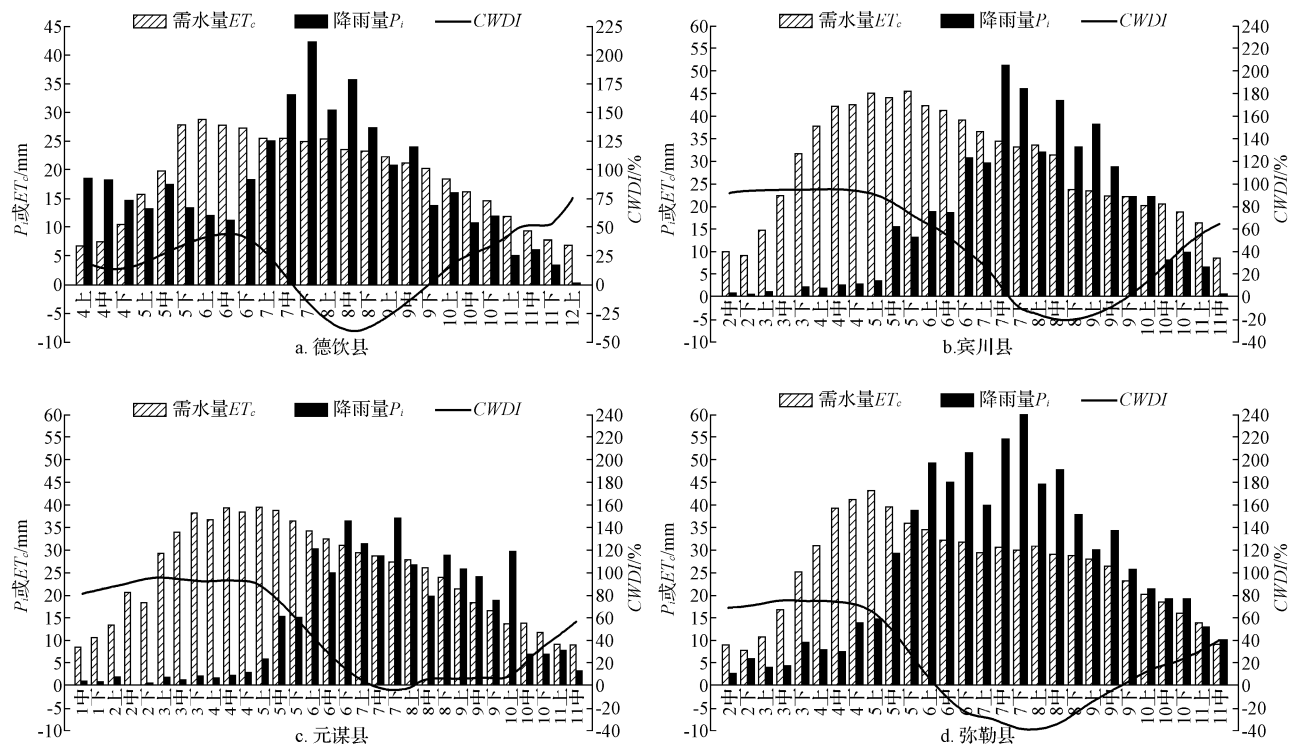


图2 德钦县、宾川县、元谋县、弥勒县葡萄需水量(ET_c)、降水量(P_i)、水分亏缺指数(CWDI)的变化
Fig. 2 Change of crop evapotranspiration(ET_c), precipitation(P_i) and crop water deficit index(CWDI) of grape by ten days of Deqin county, Binchuan county, Yuanmou county and Mile county

对于作物水分亏缺指数,从图2可以看出,4个地区的走势大致呈倾斜45°的“Z”型。其中宾川、元谋、弥勒的走势较为相似,葡萄生长初期干旱少雨,而需水量不断增加,作物水分亏缺指数在旱季维持一个较高的态势。而德钦县则与前三者有所不同,在葡萄生长前期,作物水分亏缺指数相对较低。随后需水量不断加大,而降水则逐渐减少(6月下旬前),于是,作物水分亏缺指数不断上升,至6月中旬达到第1个高点。进入6月下旬,降雨增多,作物水分亏缺指数不断下降,至8月中下旬达到最低点,随后逐渐反弹,在葡萄落叶前达到最高点。

表3 不同地区葡萄生育期总需水量、总降雨量和水分亏缺量

Table 3 Total crop evapotranspiration, precipitation and quantity of water deficit of different grape production area mm			
产区 Grape production area	总需水量 Total crop evapotranspiration	总降雨量 Precipitation	水分亏缺量 Quantity of water deficit
德钦	467.98	442.16	-25.82
宾川	813.29	484.33	-328.96
元谋	775.45	437.41	-338.04
弥勒	730.18	741.08	+10.90

注:十表盈余,一表不足。

2.2 葡萄不同生育阶段的作物水分亏缺指数年际变化趋势

为了对葡萄不同生育阶段的作物水分亏缺指数年际变化趋势进行分析,试验采用线性倾向估计法^[17]。各个生育阶段的作物水分亏缺指数取其阶段内各旬水分亏缺指数的算数平均值。因篇幅有限,故试验没有给出线性倾向估计拟合图,只给出拟合结果。

由表 4 可以看出,除了 4 个地区的葡萄生长末期及弥勒县的生长初期和快速生长期表现出上升趋势(即干旱强度增强)外,其余均表现出了下降的趋势(即干旱程度减弱)。但是,无论上升还是下降,除了宾川县的生长中期和弥勒县的生长末期外,其余均变化不显著。其中变化较大的为德钦县的快速生长期和弥勒县的生长末期,前者干旱不断缓和,作物水分亏缺指数下降每 10 年约 0.1,而后的干旱程度不断增加,作物水分亏缺指数增加约 0.13。基本保持不变的为宾川县的葡萄生长末期,倾向值仅为 0.000 39。

表 4 葡萄不同生育阶段水分亏缺指数
年际变化趋势

Table 4 Annual changes of CWDI during each
growth stage of grape

产区 Grape production area	生育阶段 Growth stages	倾向值 Value of tend	相关系数 Correlation coefficient
德钦县	生长初期	-0.004 20	-0.151 09
	快速生长期	-0.010 28	-0.191 96
	生长中期	-0.005 22	-0.062 53
	生长末期	0.004 04	0.055 31
	生长初期	-0.003 38	-0.268 12
宾川县	快速生长期	-0.001 59	-0.073 55
	生长中期	-0.007 45	-0.300 68 *
	生长末期	0.000 39	0.188 31
	生长初期	-0.007 17	-0.011 53
元谋县	快速生长期	-0.001 22	-0.013 72
	生长中期	-0.001 64	-0.154 40
	生长末期	0.005 80	0.129 58
	生长初期	0.004 03	0.102 13
弥勒县	快速生长期	0.001 67	0.161 59
	生长中期	-0.005 05	-0.112 07
	生长末期	0.013 33	0.383 65 *

注: * 表示上升或下降趋势显著($P < 0.05$)。

Note: * represent the tendency of rise or down were significant at 0.05 level.

2.3 各生育阶段不同程度干旱发生频率的变化特征

由表 5 不同地区葡萄不同生育阶段不同程度干旱发生频率可以看出,在葡萄生长初期,宾川、元谋、弥勒的特旱发生频率较高,其中宾川达到了 100%,这也显示出该阶段旱情的严重,这与当地的干湿季分明有关。重旱发生频率数弥勒最高,为 20.00%。而德钦的无旱发生频率最高,为 63.33%。到了快速生长期,宾川、元谋的特旱发生频率依旧较高,而弥勒的特旱发生频率有所下降,但其重旱发生频率增加 1 倍。而德钦县此阶段的无旱发生频率减少了 16.66%。在生长中期,随着雨季

的到来,4 个地区的干旱发生频率都在缓解,尤其是特旱发生频率缓解较大。无旱发生频率都在升高,其中德钦和弥勒的最大,而元谋和宾川还有一定程度的重旱、中旱和轻旱发生。在生长末期,元谋和宾川的无旱发生频率迅速增加,而德钦和弥勒的则减少。弥勒和德钦几乎不同程度的干旱发生频率均增加,恰恰相反,宾川和元谋不同程度的干旱发生频率均降低。

表 5 葡萄不同生育期不同程度干旱频率变化

Table 5 Variations of drought frequency at different growth stages of
grape in different counties %

等级 Degree	产区 Grape production area	生长初期 The initial growth stage	快速生长期 The development growth stage	生长中期 The middle growth stage	生长末期 The later growth stage
无旱	德钦	63.33	46.67	83.33	23.33
	宾川	0.00	0.00	23.33	76.67
	元谋	6.67	0.00	6.67	60.00
	弥勒	3.33	0.00	90.00	76.67
轻旱	德钦	10.00	26.67	13.33	33.33
	宾川	0.00	0.00	26.67	20.00
	元谋	3.33	0.00	36.67	23.33
	弥勒	0.00	3.33	3.33	13.33
中旱	德钦	16.67	10.00	0.00	23.33
	宾川	0.00	0.00	23.33	3.33
	元谋	0.00	0.00	40.00	13.33
	弥勒	13.33	13.33	6.67	3.33
重旱	德钦	3.33	13.33	3.33	20.00
	宾川	0.00	3.33	26.67	0.00
	元谋	0.00	0.00	16.67	3.33
	弥勒	20.00	40.00	0.00	3.33
特旱	德钦	6.67	3.33	0.00	0.00
	宾川	100.00	96.67	0.00	0.00
	元谋	73.33	100.00	0.00	0.00
	弥勒	63.33	43.33	0.00	3.33

3 结论与讨论

不同产区的葡萄作物水分亏缺指数走势均呈倾斜的“Z”型,宾川、元谋、弥勒的 CWDI 在 5 月中旬以前均较高,而德钦县的最高点出现在生长末期。4 个地区的 CWDI 最低点均出现在生长中期。

4 个地区葡萄不同生育期的 CWDI 在年际间的变化大部分呈下降趋势,只有少数呈上升趋势。除了宾川县的生长中期下降趋势显著、弥勒县生长末期上升趋势显著外,其余无论上升还是下降,趋势均不显著。

生长前期(包括生长初期和快速生长期)宾川、元谋、弥勒的不同程度旱情发生频率较高,尤以特旱发生频率为最高;生长中期,宾川、元谋不同程度旱情发生频率较高,而德钦和弥勒无旱频率较高;生长末期德钦县不同程度旱情发生频率要高于其他 3 个地区。

从云南省葡萄产区葡萄生育期内 CWDI 的变化特征来看,其与我国北方葡萄产区的 CWDI 变化特征^[8]差异较为明显。北方产区的 CWDI 值均大于 0,而云南地区的 CWDI 值在葡萄生长中期会小于 0,也就是说容易

发生涝灾。因此,需要做好葡萄园排水工作,因为土壤排水不良会抑制根系呼吸作用、降低土壤肥力,严重影响植株的生长发育^[18]。另外,宾川、元谋、弥勒3个地区的CWDI值在5月中旬前及11月均较高,这与彭贵芬等^[19]对云南干旱特征的研究结果一致。4个地区的葡萄生长末期的CWDI均表现出了上升的趋势,这一结果与陶云等^[20]的研究结果相呼应。而云南葡萄产区葡萄生育期内大部分时段的CWDI呈现下降的趋势,而生长末期则全部呈上升趋势,这是因为这些地区春夏降雨增多,而秋季不断减少的缘故^[21]。云南葡萄产区在葡萄生长前期(生长初期和快速生长期)特旱发生频率较高,而生长中期和末期不同程度干旱发生频率较低,这与彭贵芬等^[22]对云南干旱风险评估具有很高的一致性。总体来说,云南葡萄产区降雨量在季节间分布极不均衡,为了合理利用雨水,产区内应该注重水利设施建设,做到旱能溉、涝能排。

参考文献

- [1] 张永辉,刘海刚,张武,等. 云南高原特色葡萄产业现状及建议[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2013(5): 64-66.
- [2] 马春花,邵建辉,蔡建林,等. 极具特色的云南葡萄与葡萄酒[J]. 酿酒科技, 2011(7): 23-25.
- [3] 陆晓英,李贵华,白明第,等. 云南葡萄产业现状调查[J]. 热带农业科学, 2015, 35(7): 35-41.
- [4] 付奔,胡关东,杨帆,等. 云南干旱“常态化”的分析[J]. 水文, 2014, 34(4): 82-85.
- [5] 杨顺林,王振平. 云南葡萄干旱情况调研和抗旱技术措施[J]. 中国果业信息, 2010, 27(4): 44-45.
- [6] 姚玉璧,张存杰,邓振钢,等. 气象、农业干旱指标综述[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 185-190.
- [7] 任菊章,黄中艳,郑建萌. 基于相对湿度指数的云南干旱气候变化特征[J]. 中国农业气象, 2014, 35(5): 567-574.
- [8] 李雅善,王振吉,王艳君,等. 甘肃河西走廊酿酒葡萄栽培区旱情时空特征差异分析[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(4): 50-56.
- [9] 刘丙军,邵东国,沈新平. 作物需水时空尺度特征研究进展[J]. 农业工程学报, 2007, 23(5): 258-264.
- [10] 隋月,黄晚华,杨晓光,等. 气候变化背景下中国南方地区季节性干旱特征与适应Ⅱ. 基于作物水分亏缺指数的越冬粮油作物干旱时空特征[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2467-2476.
- [11] 尹海霞,张勃,张建香,等. 近50年来甘肃省河东区春玉米干旱时空特征分析[J]. 资源科学, 2012, 34(12): 2347-2355.
- [12] 高晓容,王春乙,张继权,等. 近50年东北玉米生育阶段需水量及早涝时空变化[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 101-109.
- [13] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements[R]. FAO Irrigation and Drainage paper 56, Rome, 1998.
- [14] GB/T 32136-2015, 农业干旱等级[S].
- [15] 黄晚华,杨晓光,曲辉辉,等. 基于作物水分亏缺指数的春玉米季节性干旱时空特征分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 28-34.
- [16] 陈连友,居丽玲,孙丽华. 酒葡萄生育期预报模型[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(29): 16188-16190.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京:气象出版社, 2007: 63-65.
- [18] 李华. 葡萄栽培学[M]. 北京:中国农业出版社, 2008: 177-178.
- [19] 彭贵芬,刘瑜,张一平. 云南干旱的气候特征及变化趋势研究[J]. 灾害学, 2009, 24(4): 40-44.
- [20] 陶云,何群. 云南降水量时空分布特征对气候变暖的响应[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2008, 30(6): 587-595.
- [21] 戚娜,杨文,姚愚,等. 对近50a云南降雨量的时空变化特征分析[J]. 水资源研究, 2012, 33(1): 31-33.
- [22] 彭贵芬,张一平,赵宁坤. 基于信息分配理论的云南干旱风险评估[J]. 气象, 2009, 35(7): 79-86.

Analysis of Temporal-spatial Variation Characteristic on Drought of Grape Based on Crop Water Deficit Index in Yunnan Province

LI Yashan¹, WANG Bo¹, YANG Yunyuan², XU Chengdong¹, WANG Zhenji¹, FAN Shuguo¹

(1. Department of Chemistry and Life Science, Chuxiong Normal University, Chuxiong, Yunnan 675000; 2. Department of Geographical Sciences and Tourism Management, Chuxiong Normal University, Chuxiong, Yunnan 675000)

Abstract: For studying the temporal-spatial variation characteristic of drought of grape in Yunnan Province, the weather data from 1982 to 2011 of four representational grape production areas of Yunnan Province was used to calculate the crop water requirement(ET_c) of grape with the method commended by FAO. Then to combine ET_c with the precipitation for calculating the crop water deficit index(CWDI). Linear trend method was used to analyze annual variation tendency of CWDI in each growth stage. Based on the grade of agricultural drought, a systematic statistical analysis was implemented of the frequency of different degrees of drought in each growth stages. The results showed that CWDI appeared sloping 'Z' type in the four areas, and the CWDI values before mid-May were very high in Binchuan county, Yuanmou county and Mile county, while the CWDI values were very low in the middle growth stage of all the four areas. The CWDI values were on the rise in the later growth stage of the four areas and most of the other stages were the downward trend, but most of the tendency was no-significant whether rise or down. The frequency of special drought was high during the early stage of the growth, while the frequency of different degree drought during the middle and later periods were low.

Keywords: Yunnan Province; grape; crop water requirement; crop water deficit index; drought frequency