

#### Ⅳ タイ国に於ける水田の蒸発散量と作物係数について



## 目 次

1.	ま え が き .....	55 (1)
2.	消費水量又は蒸発散とは .....	55 (1)
3.	消費水量又は蒸発散量の測定 .....	55 (1)
4.	調査の範囲 .....	55 (1)
5.	ポテンシャル・エバポトランスピレーションとは .....	56 (2)
6.	調査の目的 .....	56 (2)
7.	各方法のスタディーについての要約 .....	56 (2)
8.	調査結果の利用 .....	57 (3)
9.	作物係数について .....	58 (4)
10.	R D品種の作物係数について .....	58 (4)
11.	ライシメーター使用による水稻の用水量及びその使用についての要約 ...	59 (5)
12.	要約と提案 .....	60 (6)
13.	要約(本レポートの利用者のために) .....	60 (6)
14.	附表A: Monthly Potential evapotranspiration .....	61 (7)
	(mm/month, mm/day)	
15.	附図B: Monthly Potential evapotranspiration Graph .....	68(14)
16.	附図C: Potential evapotranspiration .....	94(40)
17.	附図D: Potential evapotranspiration in each area .....	108(54)
18.	附図E: Cropcoefficient for Rice by Penman method .....	121(67)
19.	附表F: Rice evapotranspiration by Lysimeter .....	123(69)
20.	参 考 文 献 .....	132(78)



## タイ国に於ける水田の蒸発散量と作物係数について

### 1. ま え が き

消費水量特に水稻の消費水量は、かんがい事業の決定に当り、水量かんがい回数、栽培システム設計、水源開発のための投資をも包含し大変重要な要素である。

### 2. 消費水量又は蒸発散とは

一般にそれは蒸気の形で耕地から空中への用水損失のことである。

2.1 植物体から直接空中への水分の蒸発又は細胞空隙から気孔を通しての水分の空中への拡散作用を蒸散と言う。

2.2 土壌からの水分蒸発又はかんがい、降雨、露などによって植物の外側に蓄積された水が放出されることを蒸発という。

### 3. 消費水量又は蒸発散量の測定

#### 3.1 その結果を直接使用しうる直接法

各測定法にはそれぞれ長所、短所がある。測定法を選ぶことは植物の種類や費用等によるが、かんがいの場合、一般に使用される方法としては

3.1.1 ライスメーターを使用する直接測定法

3.1.2 土壌水分量から求める方法

3.1.3 試験ほ場からのスタディーによる。

3.2 気象資料に基く経験公式を使用しての蒸発散位の計算、計算は多くの方法でなしうる。用水量は蒸発散位に作物係数を乗じて得られる。

### 4. 調査の範囲

ライスメーターの使用は用水量の決定については非常に精度が高いけれども、その結果は、ライスメーターがセットされたところと異なる環境又は気候条件の地域では使用出来ない。それ故、推定の蒸発散量として蒸発散位に作物係数をかけたものが使用される。

蒸発散位の算定には多くの方法があるが、このスタディーはタイ国に於ける適当な方法を採用することであった。

実験はタイ国のすべての地域を網羅する49ヶ所で行った。若し水稻作に対してのかんがい用水が十分手当されるならば他の作物に対しては問題はない、何故ならば水稻作は他作物に対してより多くの用水を必要とするからである。かゝる観点からスタディーは水稻についての係数について実施した。

## 5. 蒸発散位 (Potential evapotranspiration) とは

蒸発散位とは作物の必要とする水分を土壌が十分に保有していると仮定し、そして蒸発と蒸散が乾燥した熱風等の他のファクターによって影響されない十分に広い耕地面積と仮定したところの耕地からの水の損失のことである。

## 6. 調査の目的

6.1 ラインメーターの直接測定結果を比較し得られた最も信頼のおける蒸発散位を示す方法を決定した。

その方法は

6.1.1 Penman 法 (Combination equation)

6.1.2 Christiansen と Hargreaves 法

6.1.3 E-Pan 法

6.1.4 Makkink 法

6.1.5 Blaney Griddle 法

6.1.6 Thornthwaite 法

基本的決定はラインメーターから得られた蒸発散に最も近い蒸発散位の値を示す方法が最上の方法とした。

6.2 水稻の用水量の算定のための作物係数の最適値を得ること

基本的決定は上で述べたごとく、ラインメーターが得られたものに対し最も近い作物係数を示す方法が最も信頼出来る方法とした。

## 7. 各方法のスタディーについての要約

調査は2期間実施した。最初の期間は1978年の雨期から1979年の乾期、第2期は1980年の雨期から1980年の乾期までである。その結果はペンマン法がタイの気候にとって一番よかった。その理由はペンマン法は蒸散及び蒸発に関係するすべての気候上の要素を取り入れているからだろうと考えられる。

それ故本法は正しい値を示す他、タイ国のあらゆる地域で使うことが出来る。反面他の公式はペンマン法よりもその正確さに於て劣っているというのは蒸発散に関係するデータの取り込みが少ないことに起因するのかもしれない。

Makkink 法は Penman 法と同様に太陽輻射をファクターとしてとり入れているが、蒸気圧及風速については取り入れていない。

E-pan 又は計器からの蒸発量は太陽輻射、風速、気温、相対湿度の総合的なものである。蒸発計の設置場所がしばしば作物生育場所と異なる場所であるという理由からこれを使用している用水量の算定には大くのエラーを伴う場合がある。

Christiansen と Hargreaves 法も亦メーンデータとして計器蒸発量を使用するので Pan 法と結果は同様である。

Thornwaite と Blaney Criddle 法はメインデータとして気温だけを使用している従ってその精度は Penman 法に劣っている。

Blaney Criddle 法は大変簡易であり使用も容易であるというのは月平均気温のみを使用するからであるが、その弱点は次の如くである。

7.1 大気気温は蒸発及び蒸散に要する熱エネルギーの正確な量ではない。

真のエネルギーは気温に比例しない太陽輻射である。例えばオランダの11月と3月の平均気温はその数字が非常に似かよっている5.4℃と5℃であるが、しかし太陽輻射又は植物の用水量は殆んど4倍も相違している。

7.2 気温特に冬が終ってからの気温はだんだんと高くなっていくが、地球がうける太陽輻射よりも、より遅い、従ってその期間に於けるこの公式から得られる用水量は実際の用水量よりも少ないものとなる。

7.3 Blaney Criddle によれば気温が0℃又はそれ以下の時は蒸発及び蒸散はないということだが、これは本当ではない、何故ならば使用される気温は月平均気温でありその月に於て0℃よりも高いこともあれば低いこともあるからである。

7.4 Blaney Criddle 法は蒸発、蒸散に直接影響する熱い乾いた風の効果を含んでいる風速を加味していない。

しかし気温以外のデータがない地域に於ては用水量を概算するには重宝である。

Blaney Criddle 法は今述べた弱点はあるけれども広く使われているというのは植物の密度、タイプ、丈長等による作物係数Kを使用しているからである。若し用水量の測定が正確であるならば、計算された作物係数はその気候地帯に於ては正しく適当なものであろうと考える。

## 8. 調査結果の利用

この実験は Penman 法による蒸発散位の算出がタイ国のあらゆる地域に於て最上であり且つ最適であることを示している。反面 Penman 法は非常に多くの情報とする上、その計算は繁雑である。

蒸発散位は1951年から1975年の25年間のデータより、地域的にはタイ全土の49ステーションをカバーしている。蒸発散位はすべての作物の用水量の算定に作物係数をかけると使用されうる。

本調査の結果は次の如くである。

8.1 附表-A 月別蒸発散位 (mm/月, mm/日)

8.2 附図-B 蒸発散位線図 (mm/月)

### 8.3 附図-C 月別、地域別蒸発散位図 (mm/日)

#### 9. 作物係数について

第1期(1978年雨期-1979年乾期)と第2期(1979年雨期-1980年雨期)の作物蒸発散と蒸発散位の比較から得られた平均値は月平均値で示した。更に附表Dにペンマン法による蒸発散位の計算のための平均値を掲げた。

月	第1期	第2期	平均
1	1.04	0.92	1.00
2	1.12	1.20	1.16
3	1.27	1.48	1.37
4	1.18	1.36	1.27
平均	1.15	1.25	1.20

本表は第1期の作物係数が実際に使用するにあたり非常に良いこと及び第2期の第1と第2の月もまた良いことを示している。

第2期の3番目及び4番目の月はその値は非常に大きい従って作物係数の平均値も高くなっている。

その理由は次の通りである。

9.1 乾期の特に異常なシーズンの耕地周辺の太陽エネルギーによる熱効果即ちいくつかの試験場の地域の気温は自然条件の気温よりも低かった。それ故、試験場に於ける水稻用水量の割合は高くそして蒸発散位から得られる用水量よりも大きかった。これが作物係数の大きい理由である。

9.2 蒸発及び蒸散による水の損失は米の稔実の遅れの間試験田のまわりの水田から、かんがい用水が排水された時にはまだ大きかった。しかし、第1期及2期及び両期の平均の作物係数は、実際の異なる条件下に於て実施された試験結果であるので使用しうるものである。(更に、関係官庁及びあるコンサルタントは第2期と同じ位の高い係数を使用していた。

#### 10. RD品種の作物係数について

水稻の作物係数はかんがいのための基礎的な要素である。特にRD品種は非感光性のため一年中作れる品種で、その用水量は設計計画及びかんがい施設の管理の基本をなすものであるからである。

この分野に於ける試験結果は今までに無く、通常は他の国の結果が水稻の用水量算定に使用されていた。



そしてその数値は実際の条件にぴったりと適合していなかった。この問題を解決するために著者は我が国の気候に合致する水稻の作物係数の試験を実施した。特に蒸発散位の公式に対しての考察を行った。(付表A-D)

この試験は4ヶ所の試験場で行ったのでその結果はタイ全土をカバーしうるものである。試験とその利用のために著者は3組の作物係数を開発した即ちDirek 1,2,3である。

Month	Crop coefficient for R.D. -Rice		
	Direk 1	Direk 2	Direk 3
1	1.04	0.97	1.00
2	1.12	1.20	1.16
3	1.27	1.48	1.37
4	1.18	1.36	1.27
Average	1.15	1.25	1.20

注 5ヶ月目の作物係数については、0.98を加えることを筆者は示唆する。(この数値は1978年の雨期から1979年の乾期の間の試験結果である。)

作物係数値は4ヶ月についてのみ示したというのは通常水田に於ける水の利用は大体80~90日間である。田植期間は約25~30日間である。その他は収穫前の排水の期間であるからである。

Direk 3はDirek 1と2の平均値である。

Direk 1と3は設計、計画等に使用するのに適しており、一方Direk 2はより高い気候条件下に於ける管理に使用する。作物係数を有効に利用するため、水稻の作物係数を付録Eに示す如く、一期、二期の両方の試験から算出した。水稻の用水量を求める上に於いて大切なことは、蒸発散位をペンマン公式によらなければならないということである。

若し、他の公式即ちBlaney Criddle 公式、E-Pan公式、Thornthwaite 公式、Makkink と Christiansen 公式、Hargreaves 公式を使ってポテンシャル、エバポレーションを算出するならば、その結果は実際の数値より小さく又は大きくなるであろう。他の方法に於ても又、与えられた作物係数を使用出来るかもしれないが、それらの係数はこの国の気候条件からして改善されなければならないであろう。

#### 11. ラインメーターの使用による水稻の用水量及びその使用についての要約

ラインメーターを使用しての用水量の測定は信頼しうるものであり、又直接水田に於て使用しうるものであった。2期に及ぶ試験から用水量は国内の各地の異なる試験場に於て決められた。その目的は似かよった環境をもつ国内の各地に於て使用しうる用水量を求めることであつた。

その結果は付録Gに示した。

- 11.1 Mac Tang 試験場の結果はNorth regionに使用しうる。
- 11.2 Samchuk 試験場の結果はLower North region 及び Central region に使用しうる。
- 11.3 Muai Bang yang 試験場の結果はNortheastern regionに使用しうる。
- 11.4 Maeklong Yai 試験場の結果はWest region に使用しうる。
- 11.5 Petburi 試験場の結果はCentral, West のある地域とSouth regionの上の方の地域で使用しうる。

同じ地域内ではあるが異なる気候条件又は環境の地域は実際の値を得るためには特殊な地域として取り扱い、その使用数値もおえなければいけない。

## 12. 要約と提案

- 12.1 ペンマン公式から得られた用水量はタイ国の気候に対して最上のものであった。

重要な地域のポテンシャル・エバポトランスピレーションはタイ国の全地域に分散している49の試験場の結果より計算された。

用水量は特定の作物について特定の地域での時期別係数を使用したポテンシャル・エバポトランスピレーションから求めた。

- 12.2 六種類の公式から得たポテンシャルエバポトランスピレーションの値をライシメーターからの数値と比較したところ、その結果ペンマン法によったものが最上であった。

その結果から利用者の便宜のため3組の作物係数を確立した。

## 13. 要 約

タイ国に於けるポテンシャルエバポトランスピレーションと作物係数

(利用者のために)

筆者はこのレポートを「水田に於ける水稲のエバポトランスピレーションと有効雨量の比較」というタイトルの論文と関連して書いた。

上記の論文は1978年から1981年に観測した消費水量又は水稲のエバポトランスピレーションの試験データに基いたもので、その結果水稲の作物係数のみならずポテンシャルエバポトランスピレーションの決定に際してペンマン法によることを推奨する。

タイ国の種々の地域に於ける49の試験場からの毎月のエバポトランスピレーション(ペンマン法を用いての)は15年の気象データの平均値に基づいた同様にRD品種の水稲の作物係数もかんがいを目的とした計画及び管理のために確立した。

この決定は、タイ国に於けるかんがい事業計画又は管理のための必要なデータとして始めて実施されたものである。

1 4 附表A

Appendices A

Monthly potential evapotranspiration, mm/month and mm/day

Potential evapotranspiration

(Unit : millimeter)

No.	Station	(Month)											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1.	Chieng Rai	93	125	151	169	158	143	135	124	128	122	105	91
2.	Mae Hong Sorn	102	134	166	185	161	139	131	123	125	123	112	97
3.	Chiengmai	104	134	164	179	160	144	135	122	124	123	110	96
4.	Mae Sa Rieng	108	139	173	191	166	135	127	120	125	127	117	103
5.	Lam Pang	109	139	167	184	167	151	144	132	130	125	113	100
6.	Nan	102	133	162	177	158	144	135	124	126	126	112	97
7.	Phrae	108	137	170	188	168	145	142	130	128	125	115	103
8.	Uttaradit	114	140	165	180	160	140	133	124	128	132	123	109
9.	Tak	115	147	182	198	167	150	144	134	128	121	112	103
10.	Phitsanulok	113	138	165	175	159	143	136	126	128	125	121	108
11.	Mae Sot	117	146	177	190	163	135	128	118	127	130	123	110
12.	Pethaburi	118	143	176	180	160	140	132	122	123	131	124	112
13.	Phumipol Dam	116	153	186	197	166	148	143	141	130	125	116	106
14.	Loie	119	146	172	183	167	155	153	143	139	139	124	109
15.	Udon Thani	112	137	165	174	158	144	140	128	131	134	121	107
16.	Nakhon Phanom	113	133	157	166	155	134	132	122	127	132	121	107
17.	Sakhon Nakorn	114	138	163	173	154	143	141	129	132	135	122	108
18.	Mukdahan	119	140	167	172	156	141	136	128	135	135	127	114

No.	Station	(Month)											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
19.	Khon Kaen	117	143	168	177	162	148	147	133	132	131	126	113
20.	Roi Et	119	140	165	171	159	147	143	130	129	132	126	114
21.	Ubon Ratchathani	125	145	166	168	155	140	140	129	129	134	132	120
22.	Surin	119	139	162	162	150	137	135	125	124	126	119	110
23.	Nakhon-Ratchasima	120	143	163	168	158	151	146	134	132	127	122	112
24.	Sap Muang	113	131	147	153	145	142	137	125	125	119	112	105
25.	Chaiyaphum	125	150	172	179	172	150	144	133	130	135	130	119
26.	Nakhon Sawan	122	149	179	187	167	152	144	134	127	126	121	113
27.	Lop Buri	131	152	177	179	161	148	141	132	131	133	131	128
28.	Suphan Buri	129	147	174	182	168	155	149	142	134	132	128	121
29.	Phrachin Buri	132	147	161	162	152	136	132	158	127	131	134	128
30.	Kanchanaburi	125	151	177	182	163	148	144	135	133	127	121	116
31.	Don Muang	130	148	169	170	158	150	145	133	132	131	126	119
32.	Bangkok Metropolis	120	136	153	156	144	136	132	126	123	120	119	113
33.	Aranyaprathet	126	148	166	166	158	144	137	129	131	130	126	117
34.	Chon Buri	131	149	168	171	153	149	143	136	131	131	131	130
35.	Sattahip	140	156	171	170	152	158	151	146	139	133	137	139
35.	Chanthaburi	128	134	139	146	132	123	121	115	117	123	128	127
37.	Khlong Yai	124	130	137	137	129	120	119	112	116	121	122	123
38.	Koh Sichang	133	150	166	171	156	152	146	139	134	137	135	132

No.	Station	(Month)											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
39.	Hua Hin	127	145	165	167	152	146	139	132	132	127	125	123
40.	Prachum Khiri-Khan	125	141	159	164	154	145	142	137	140	129	128	127
41.	Chumphon	117	133	152	154	139	130	127	150	128	121	113	111
42.	Surat Thani	120	143	158	155	142	136	135	131	114	123	110	107
43.	Nakhon Si Thammarat	116	137	157	153	143	140	142	135	101	124	110	107
44.	Songkhla	103	144	153	147	135	133	135	133	79	124	113	116
45.	Narathiwat	121	136	151	154	138	135	133	131	57	127	115	110
46.	Ranong	130	145	158	153	130	118	117	113	109	115	108	120
47.	Phuket	143	159	167	155	132	132	133	132	82	126	124	132
48.	Phuket Air Port	134	150	157	148	137	127	128	125	88	120	120	123
49.	Trang	140	158	166	155	131	121	128	123	72	122	117	123

Potential evapotranspiration

Unit: millimeter/day

No.	Station	(Month)											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1.	Chieng Rai	2.99	4.46	4.88	5.63	5.08	4.75	4.35	4.01	4.27	3.92	3.49	2.92
2.	Mae Hong Sorn	3.30	4.77	5.35	6.16	5.20	4.62	4.23	3.95	4.15	3.95	3.73	3.12
3.	Chiengmai	3.34	4.79	5.29	5.98	5.16	4.79	4.34	3.93	4.13	3.95	3.65	3.11
4.	Mae Sa Rieng	3.46	4.95	5.75	6.36	5.34	4.49	4.08	3.85	4.17	4.11	3.90	3.32
5.	Lam Pang	3.50	4.95	5.37	6.14	5.39	5.04	4.63	4.26	4.33	4.03	3.76	3.22
6.	Nan	3.28	4.74	5.22	5.88	5.10	4.78	4.37	4.00	4.20	4.05	3.71	3.12
7.	Phrae	3.48	4.88	5.48	6.26	5.42	4.82	4.58	4.18	4.26	4.03	3.84	3.31
8.	Uttaradit	3.67	4.99	5.31	6.01	5.17	4.66	4.30	3.99	4.26	4.26	4.09	3.52
9.	Tak	3.71	5.26	5.87	6.58	5.37	5.00	4.64	4.33	4.26	3.90	3.73	3.33
10.	Phitsanulok	3.63	4.91	5.31	5.83	5.13	4.77	4.38	4.05	4.27	4.16	4.02	3.48
11.	Mae Sot	3.76	5.20	5.70	6.31	5.26	4.51	4.12	3.80	4.22	4.20	4.10	3.56
12.	Pnethaburi	3.81	5.11	5.67	6.00	5.15	4.67	4.25	3.93	4.09	4.22	4.13	3.60
13.	Phumipol Dam	3.75	5.46	5.99	6.57	5.36	4.93	4.60	4.53	4.33	4.04	3.86	3.40
14.	Loie	3.82	5.20	5.53	6.09	5.38	5.16	4.93	4.59	4.64	4.49	4.13	3.53
15.	Udon Thani	3.61	4.90	5.32	5.79	5.08	4.81	4.50	4.13	4.37	4.31	4.04	3.43
16.	Nakhon Phanom	3.66	4.74	5.05	5.53	4.98	4.47	4.24	3.92	4.24	4.25	4.02	3.46
17.	Sakhon Nakorn	3.68	4.93	5.26	5.75	4.97	4.76	4.55	4.16	4.40	4.35	4.08	3.48
18.	Mukdahan	3.82	5.00	5.37	5.74	5.02	4.71	4.37	4.13	4.50	4.36	4.24	3.67

No.	Station	(Month)											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
19.	Khon Kaen	3.78	5.10	5.41	5.90	5.22	4.93	4.72	4.29	4.39	4.22	4.19	3.63
20.	Roi-Et	3.83	5.00	5.32	5.69	5.11	4.90	4.62	4.18	4.30	4.26	4.19	3.69
21.	Ubon Ratchathani	4.02	5.16	5.35	5.59	5.01	4.66	4.52	4.15	4.30	4.32	4.40	3.87
22.	Surin	3.85	4.96	5.22	5.39	4.83	4.56	4.36	4.04	4.13	4.06	3.97	3.56
23.	Nakhon-Ratchasima	3.86	5.12	5.25	5.61	5.10	5.03	4.71	4.32	4.40	4.10	4.05	3.62
24.	Sap Muang	3.64	4.69	4.74	5.09	4.68	4.72	4.41	4.03	4.17	3.84	3.72	3.37
25.	Chaiyaphum	4.04	5.34	5.55	5.97	5.54	4.99	4.63	4.30	4.33	4.34	4.32	3.84
26.	Nakhon Sawan	3.95	5.31	5.78	6.22	5.37	5.07	4.63	4.31	4.23	4.06	4.04	3.65
27.	Lop Buri	4.23	5.42	5.70	5.95	5.20	4.94	4.56	4.25	4.38	4.29	4.35	4.12
28.	Suphan Buri	4.14	5.25	5.60	6.08	5.41	5.16	4.81	4.57	4.47	4.26	4.25	3.91
29.	Prachin Buri	4.27	5.26	5.19	5.39	4.90	4.52	4.25	5.08	4.23	4.23	4.47	4.11
30.	Kanchanaburi	4.02	5.40	5.69	6.07	5.27	4.92	4.64	4.36	4.43	4.09	4.04	3.75
31.	Don Muang	4.20	5.29	5.43	5.65	5.10	4.99	4.67	4.29	4.41	4.22	4.21	3.82
32.	Bangkok Metropolis	3.85	4.85	4.92	5.19	4.65	4.57	4.27	4.06	4.09	3.86	3.95	3.63
33.	Aranyaprathet	4.07	5.27	5.37	5.53	5.08	4.80	4.43	4.16	4.38	4.19	4.18	3.77
34.	Chon Buri	4.23	5.30	5.40	5.69	4.94	4.97	4.62	4.38	4.37	4.23	4.35	4.18
35.	Sattahip	4.52	5.55	5.52	5.68	4.88	5.25	4.88	4.69	4.61	4.29	4.57	4.47
36.	Chanthaburi	4.13	4.79	4.49	4.85	4.27	4.09	3.90	3.72	3.90	3.98	4.26	4.08
37.	Khlong Yai	3.99	4.63	4.42	4.56	4.16	4.00	3.84	3.59	3.88	3.90	4.07	3.97
38.	Koh Sichang	4.30	5.34	5.36	5.69	5.01	5.06	4.70	4.47	4.46	4.42	4.49	4.24

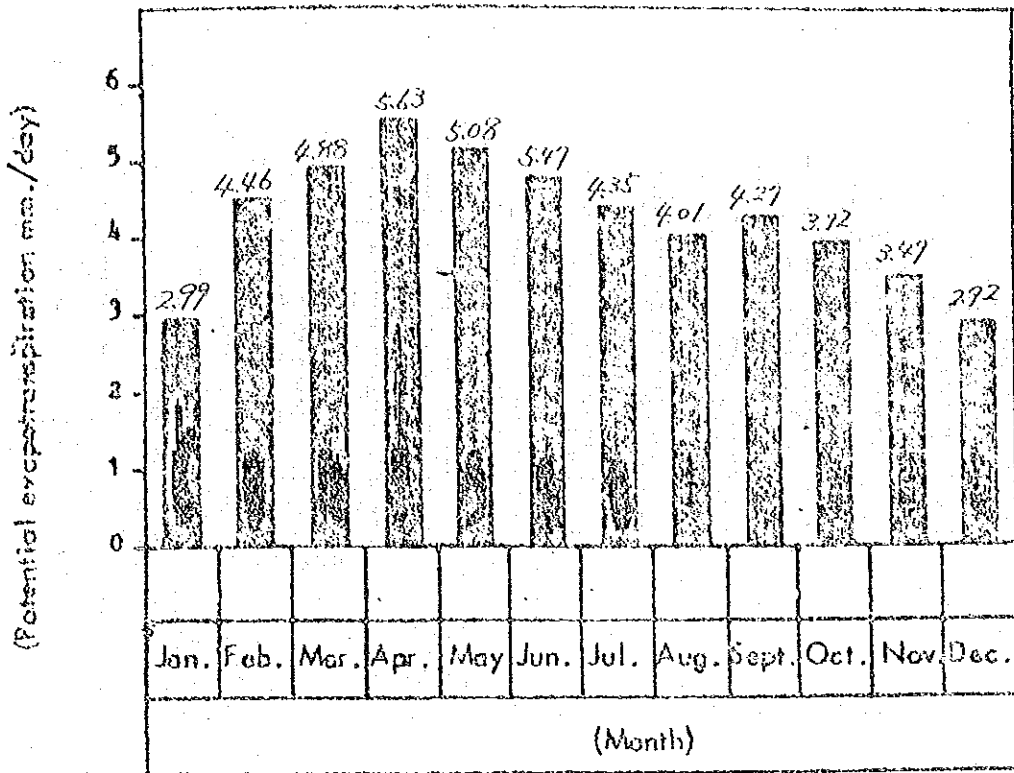


No.	Station	(Month)											
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
39.	Hua Hin	4.09	5.16	5.31	5.58	4.90	4.85	4.47	4.27	4.39	4.09	4.16	3.97
40.	Prachuap Khri Khan	4.03	5.03	5.13	5.47	4.96	4.83	4.58	4.41	4.65	4.17	4.27	4.10
41.	Chumphon	3.77	4.75	4.89	5.13	4.47	4.33	4.10	4.83	4.25	3.91	3.77	3.57
42.	Surat Thani	3.88	5.10	5.11	5.16	4.57	4.53	4.34	4.22	3.79	3.95	3.67	3.45
43.	Nakhon Sri Tham- marat	3.74	4.88	5.06	5.08	4.60	4.67	4.56	4.36	3.35	3.99	3.65	3.45
44.	Songkhla	4.18	5.15	4.94	4.90	4.35	4.42	4.36	4.30	2.64	4.00	3.77	3.73
45.	Narathiwat	3.89	4.86	4.88	5.14	4.46	4.49	4.36	4.23	1.89	4.08	3.82	3.56
46.	Ranong	4.18	5.18	5.10	5.09	4.17	3.92	3.78	3.65	3.63	3.70	3.59	3.86
47.	Phuket	4.61	5.67	5.38	5.17	4.26	4.40	4.27	4.27	2.72	4.06	4.13	4.26
48.	Phuket Air Port	4.32	5.34	5.07	4.93	4.40	4.24	4.12	4.03	2.92	3.88	4.00	3.95
49.	Trang	4.50	5.64	5.35	5.16	4.23	4.03	4.12	3.97	2.41	3.92	3.89	3.96

15 附圖-B

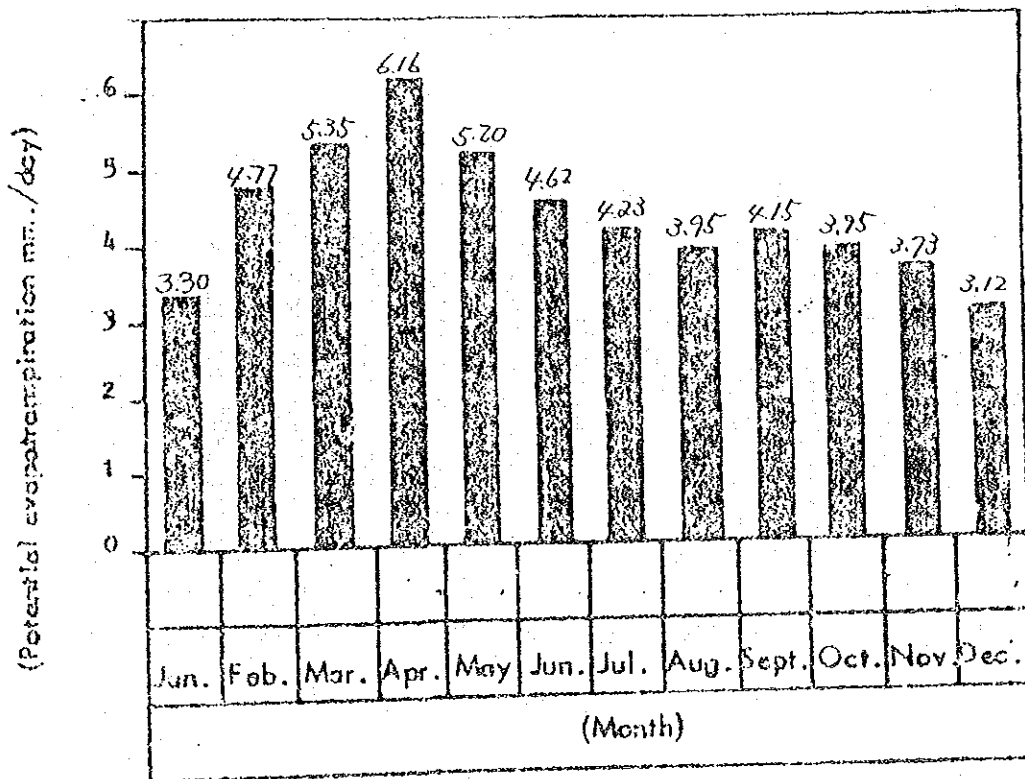
Appendices B

Monthly potential evapotranspiration graph, mm/day



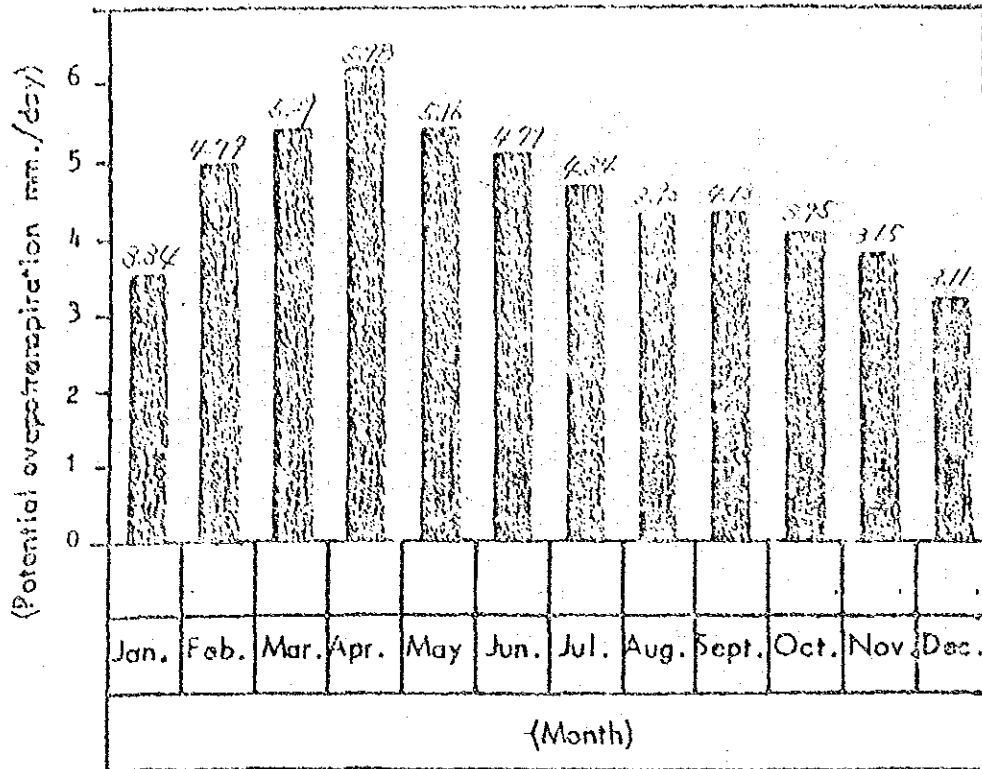
①

Province : Chiang Rai



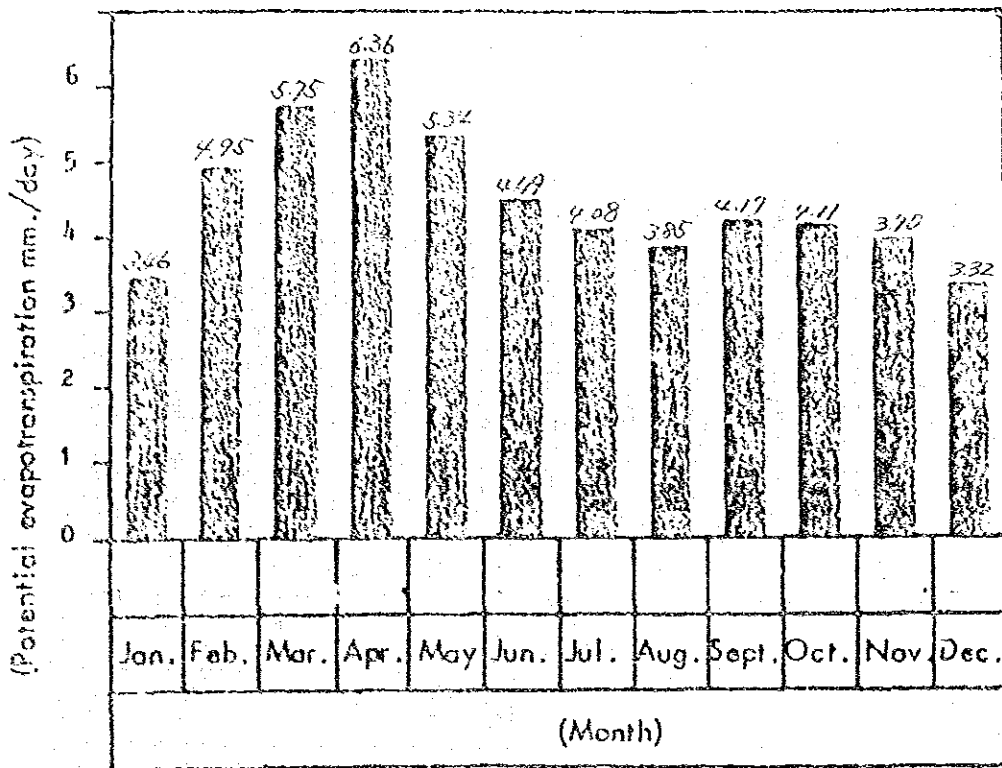
②

Province : Mae Hong Son



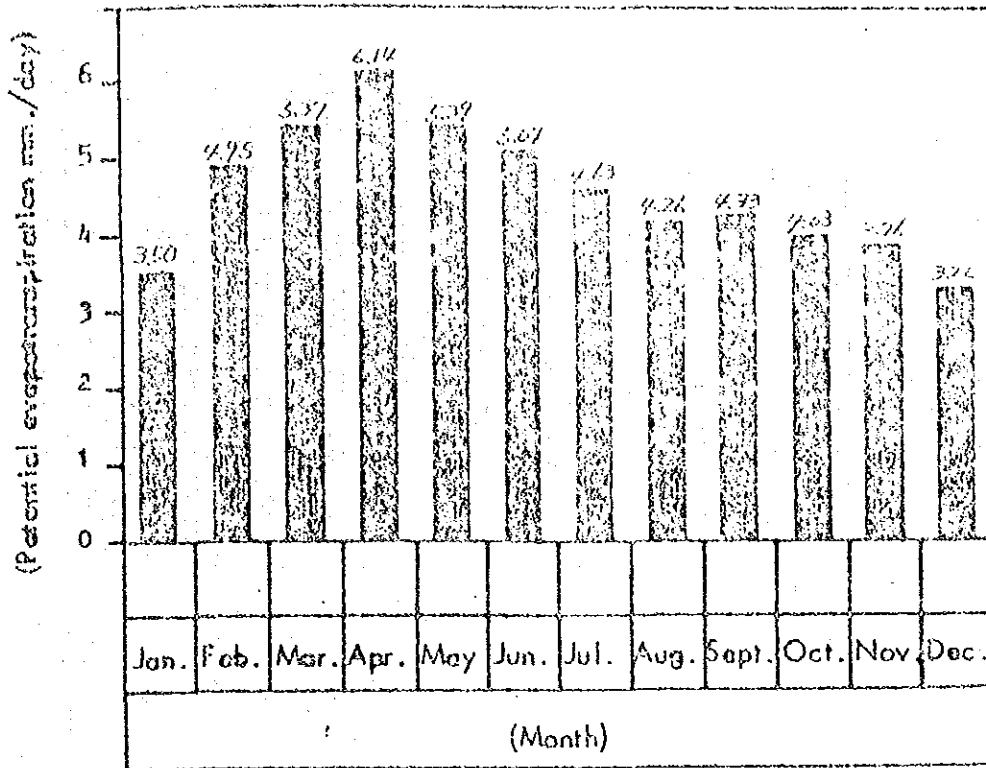
3

Province : Chiang Mai



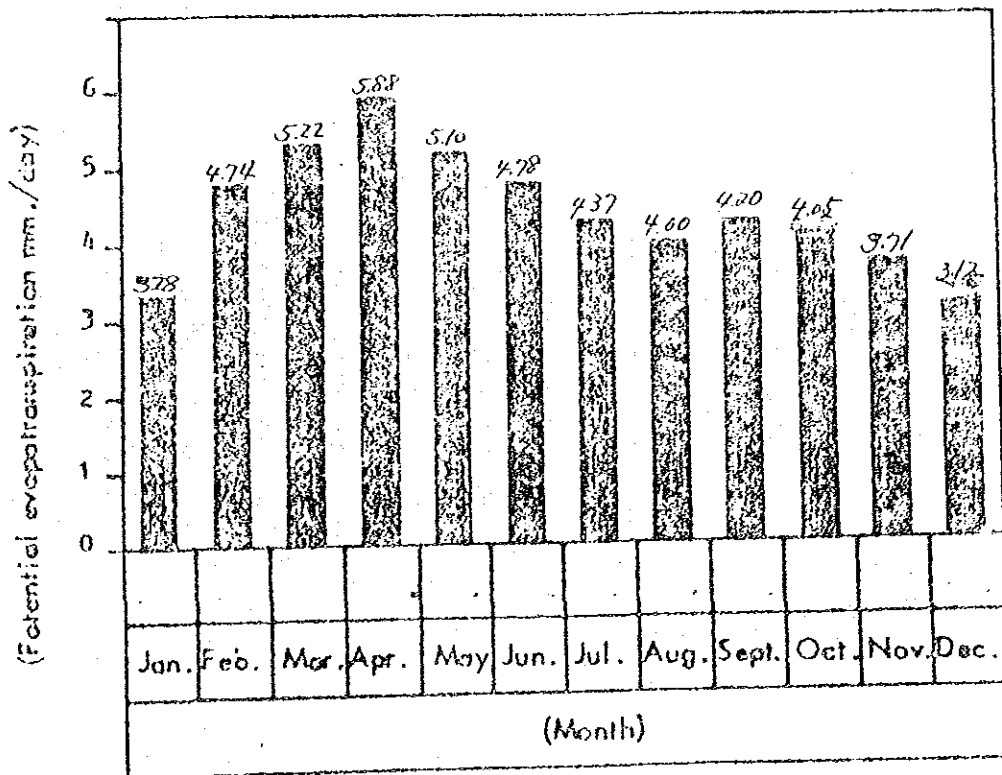
4

Amphoe : Mae Sariang



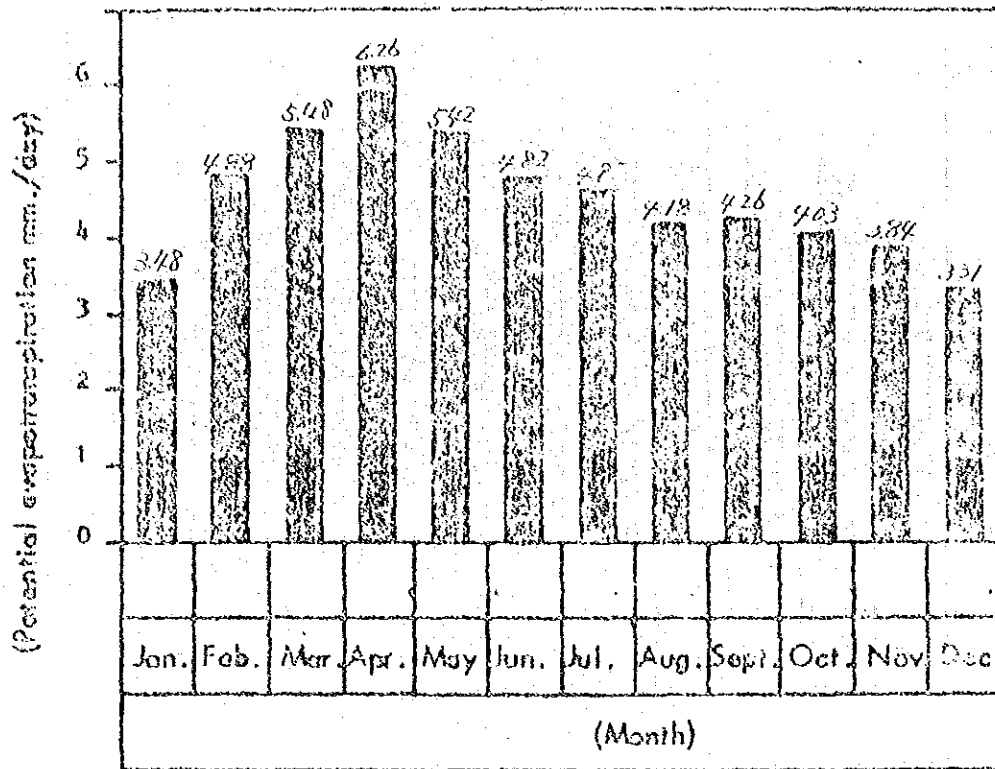
5

Province : Lampong



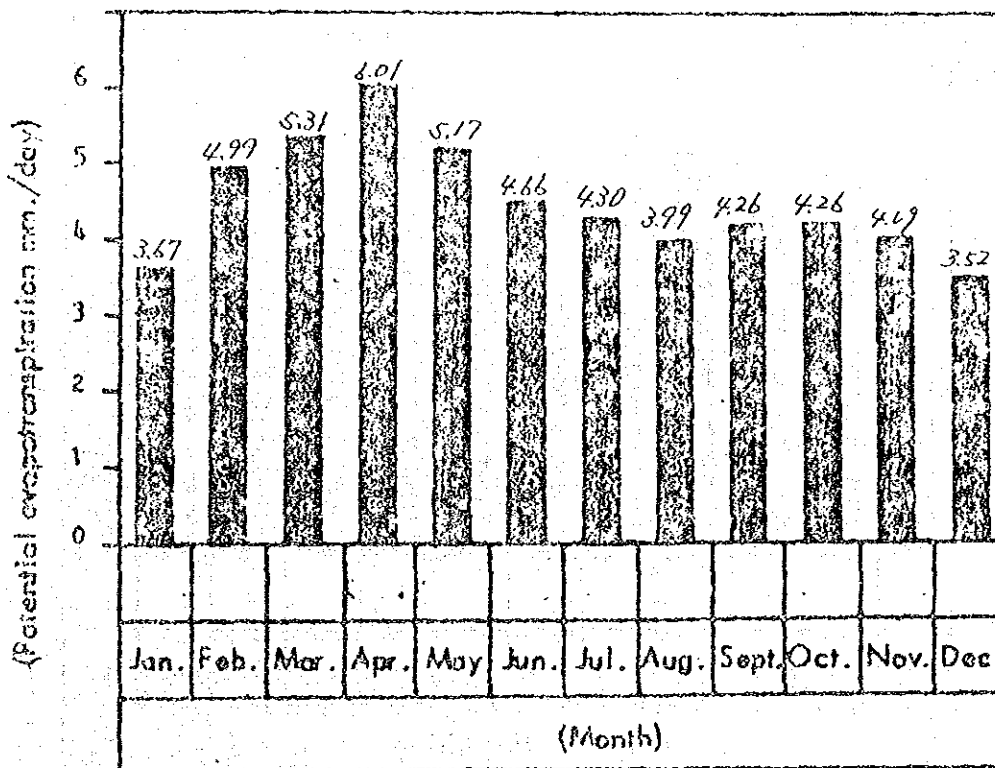
6

Province : Nan



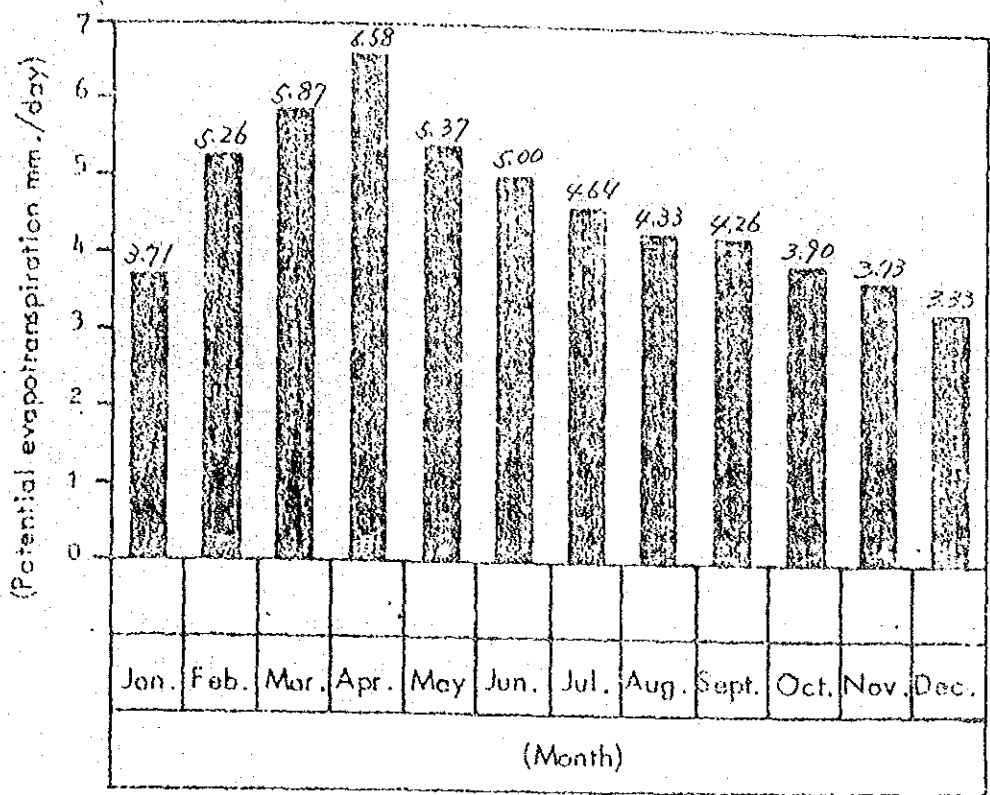
7

Province : Phrao

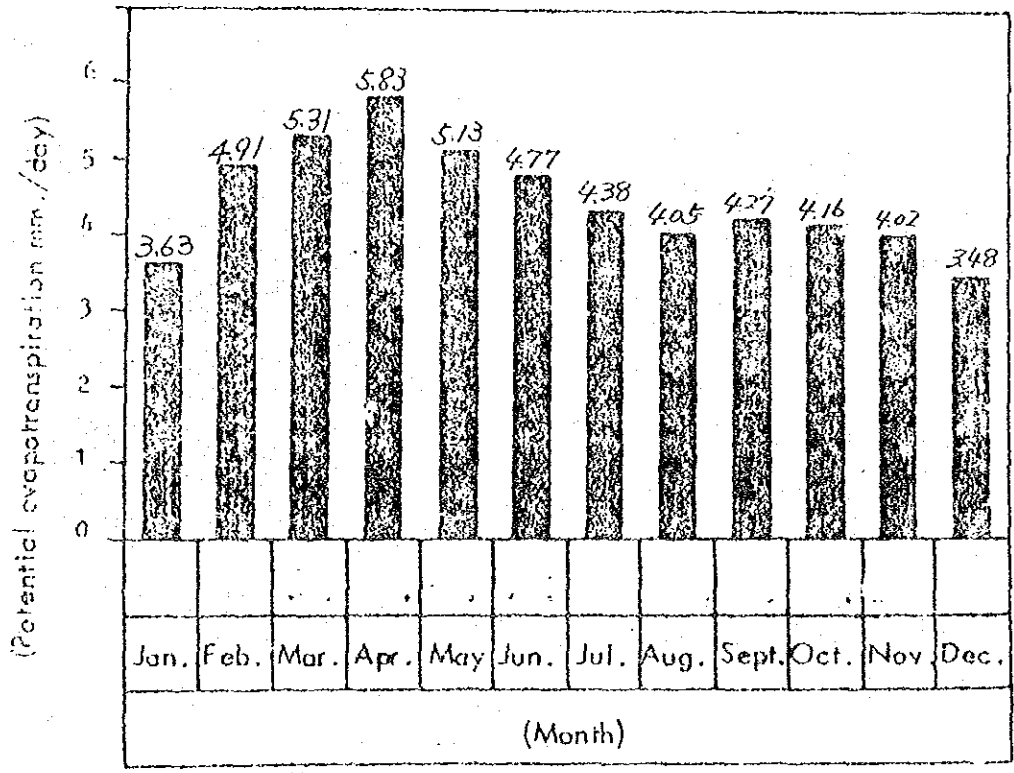


8

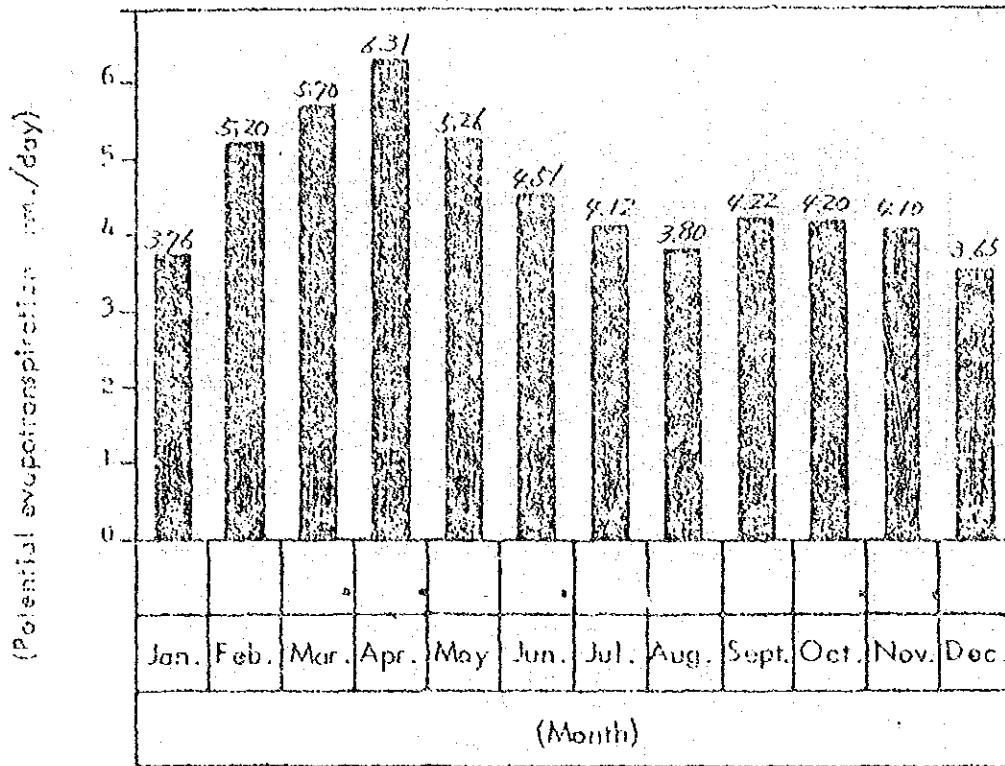
Province : Uttaradit



9 Province : Tar

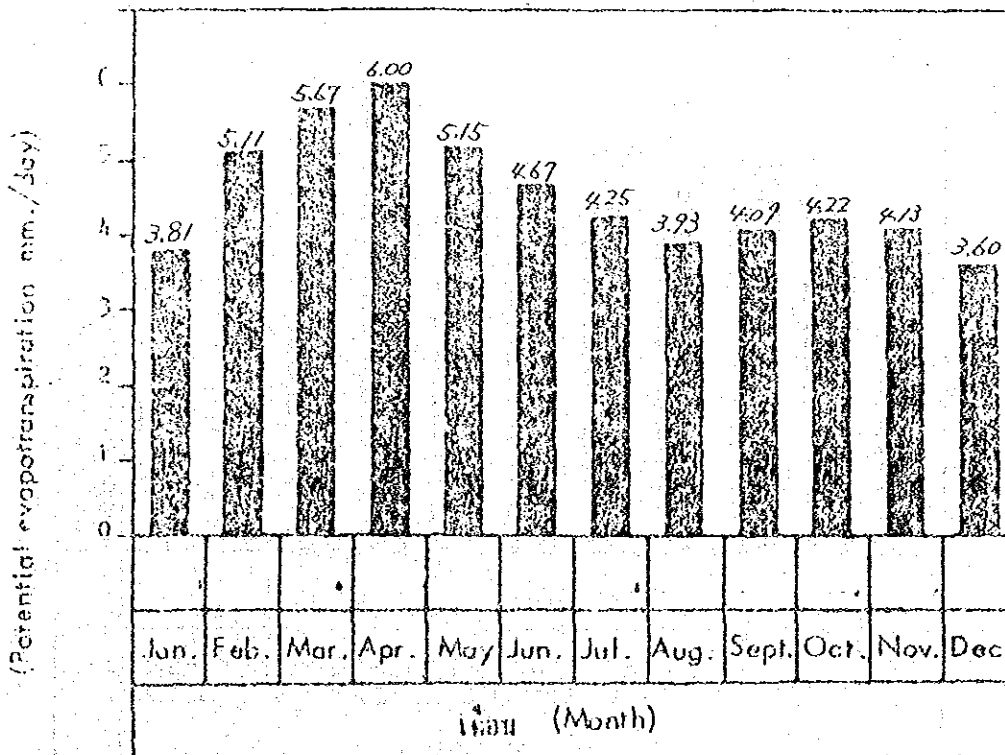


10 Province : Phitsanulok



11

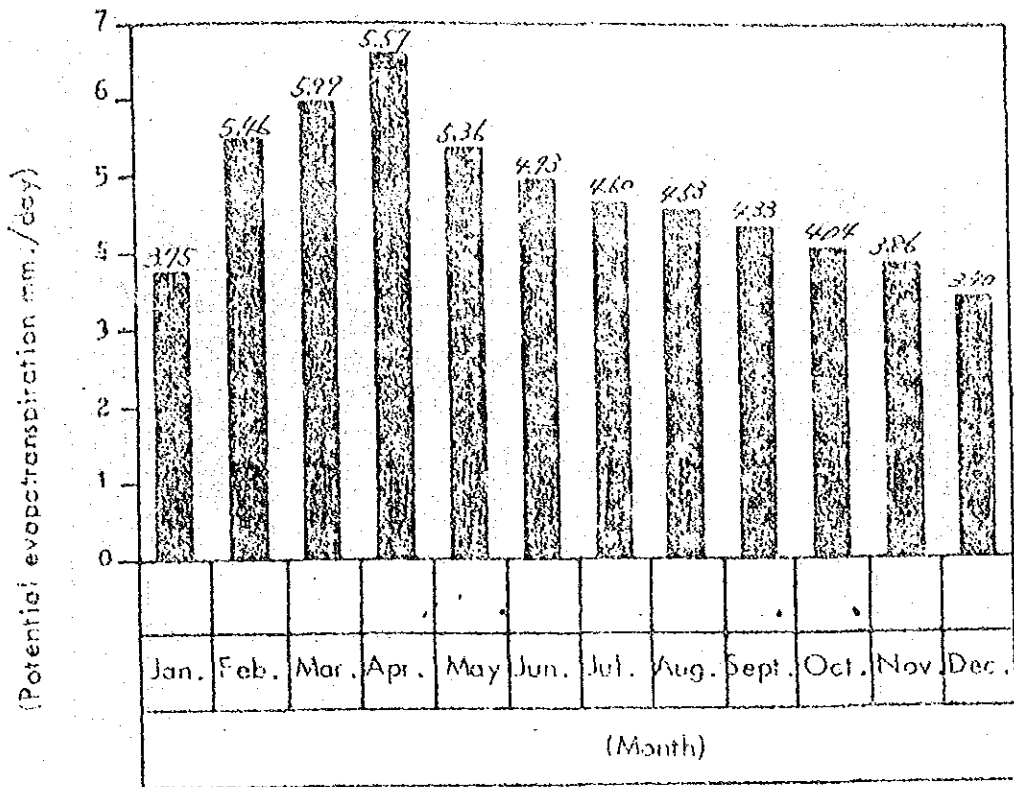
Amphoe : Mae Sai



12

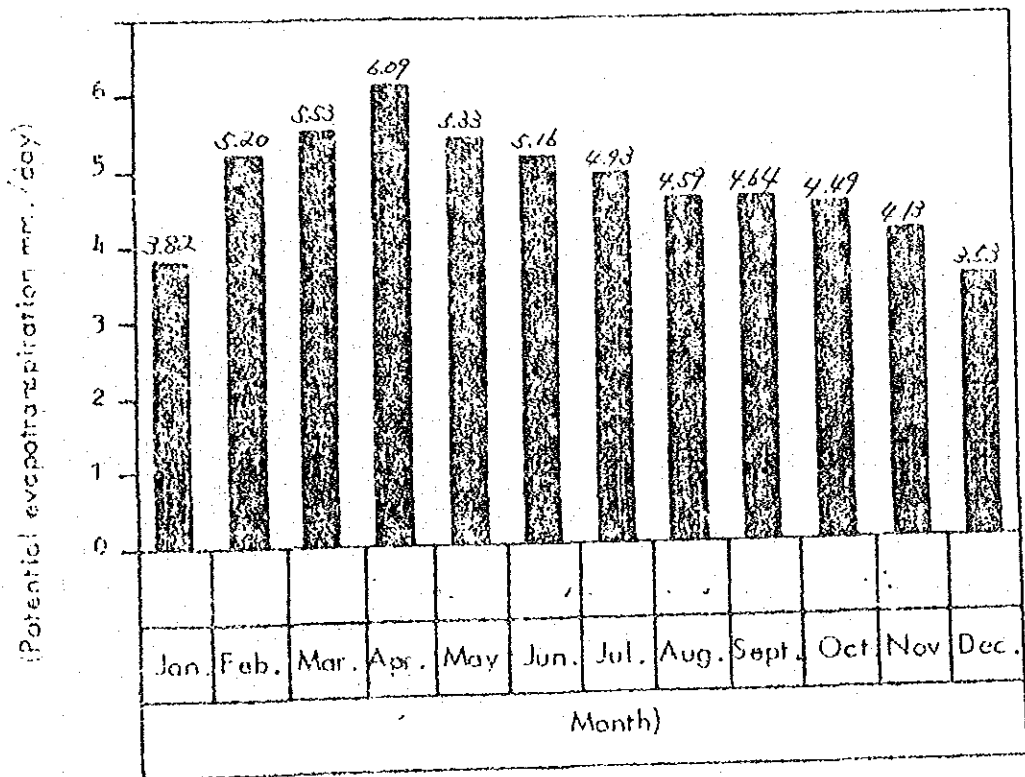
Province : Phetchabun





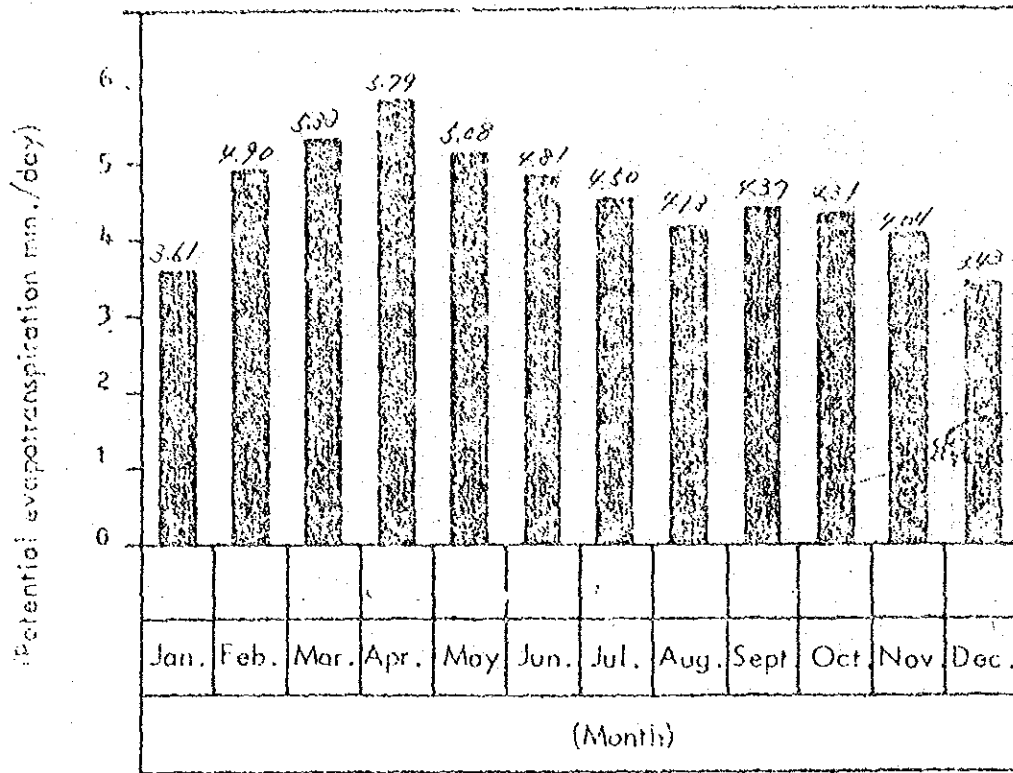
(13)

Phumipol Dam



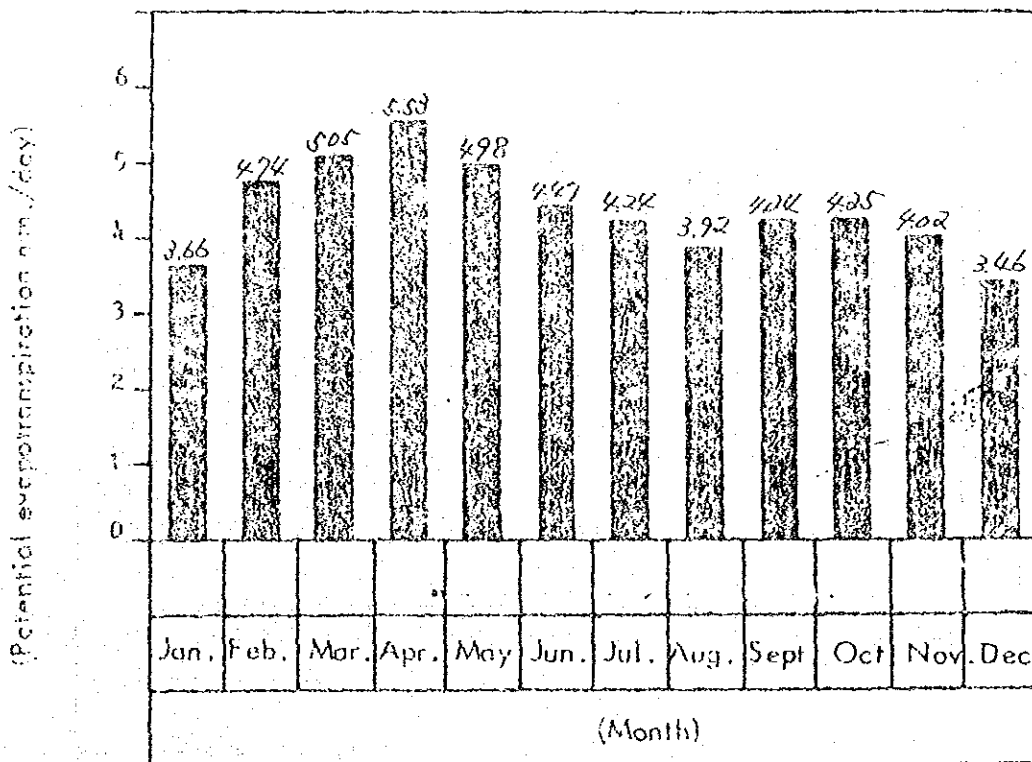
(14)

Province : Loei



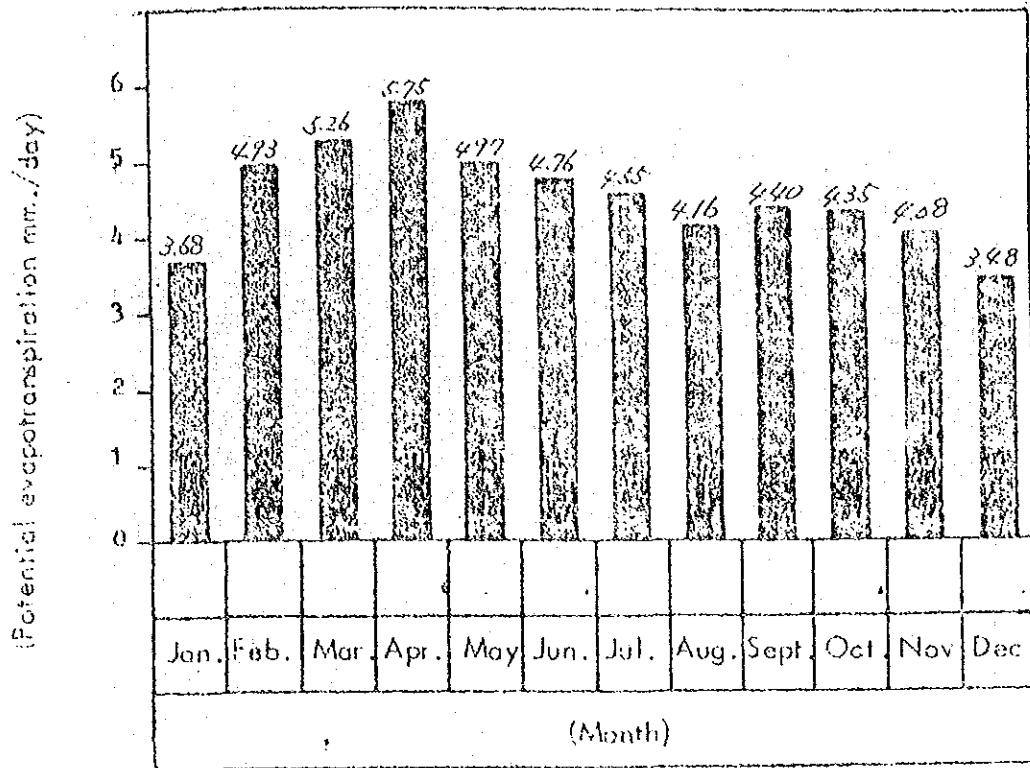
15

Province : Udon Thani



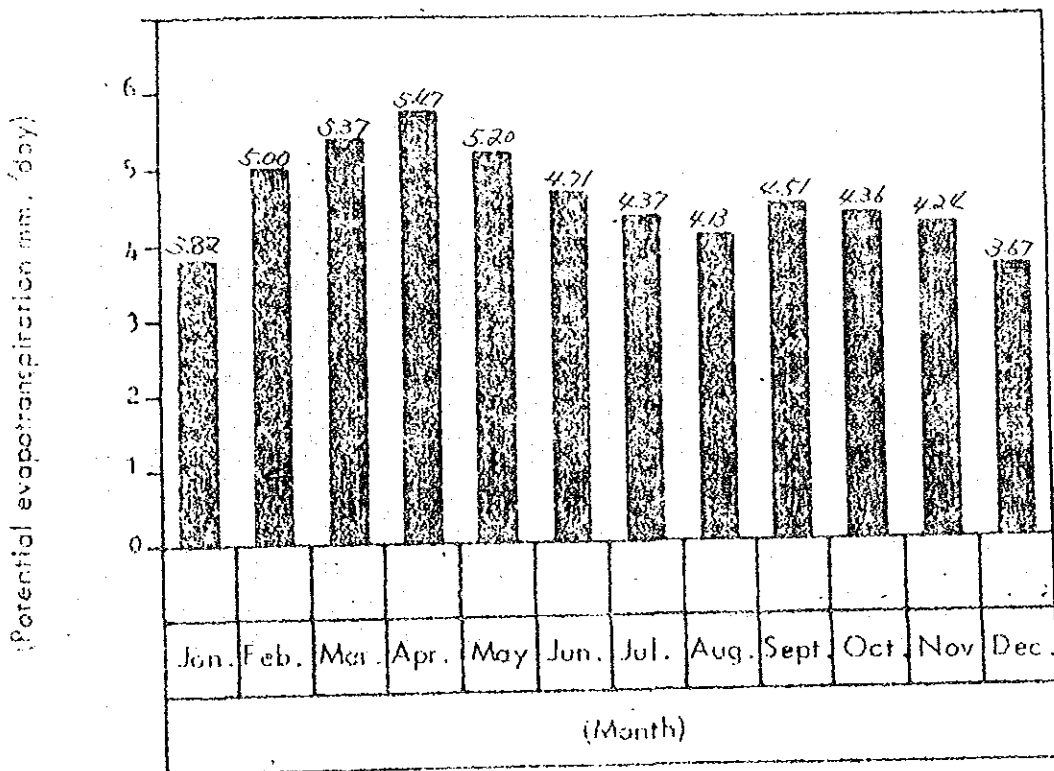
16

Province : Nakhon Phanom



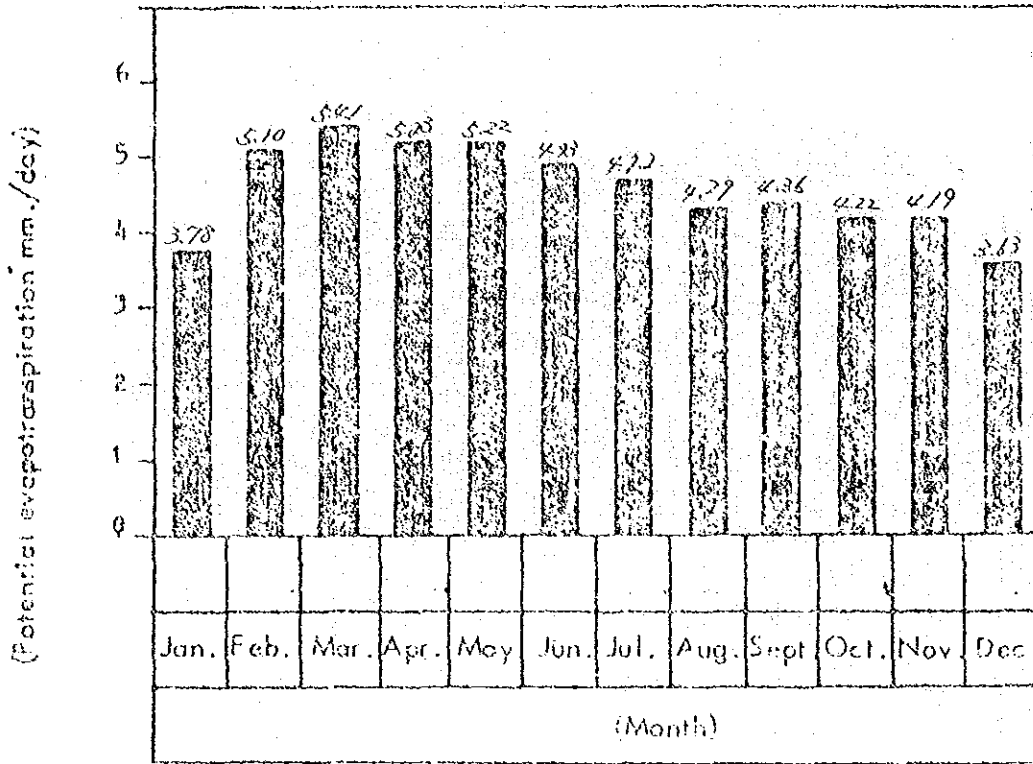
17

Province : Sakhon-Nakhon



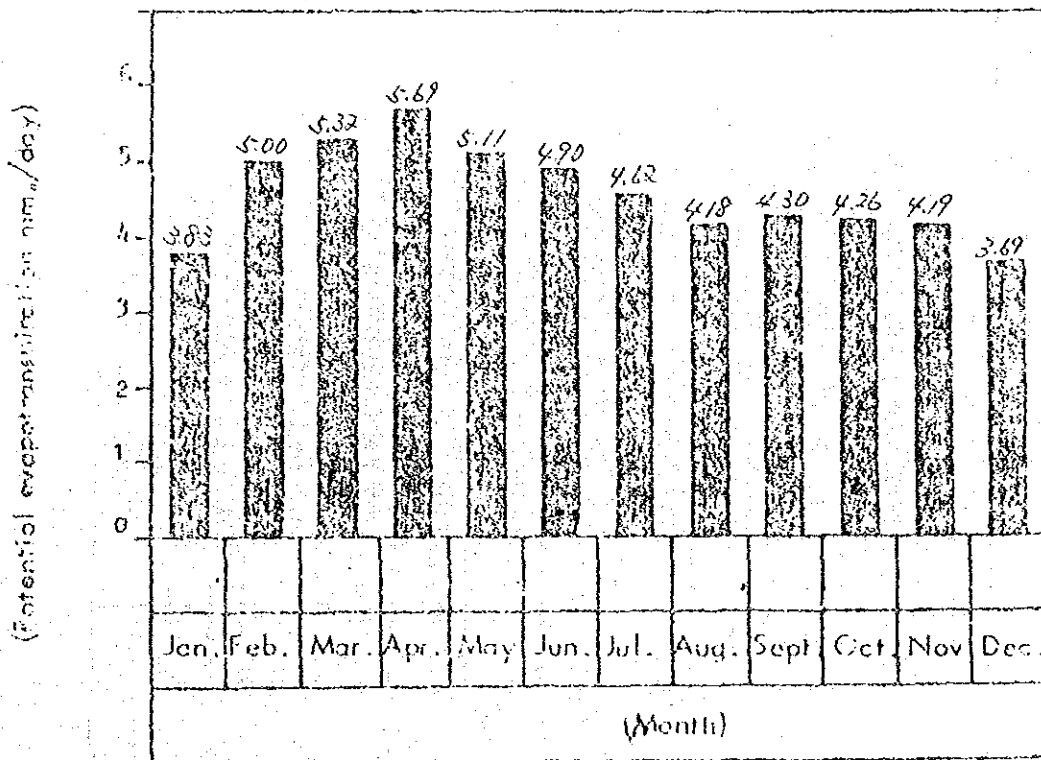
18

Amphoe : Mukdahan



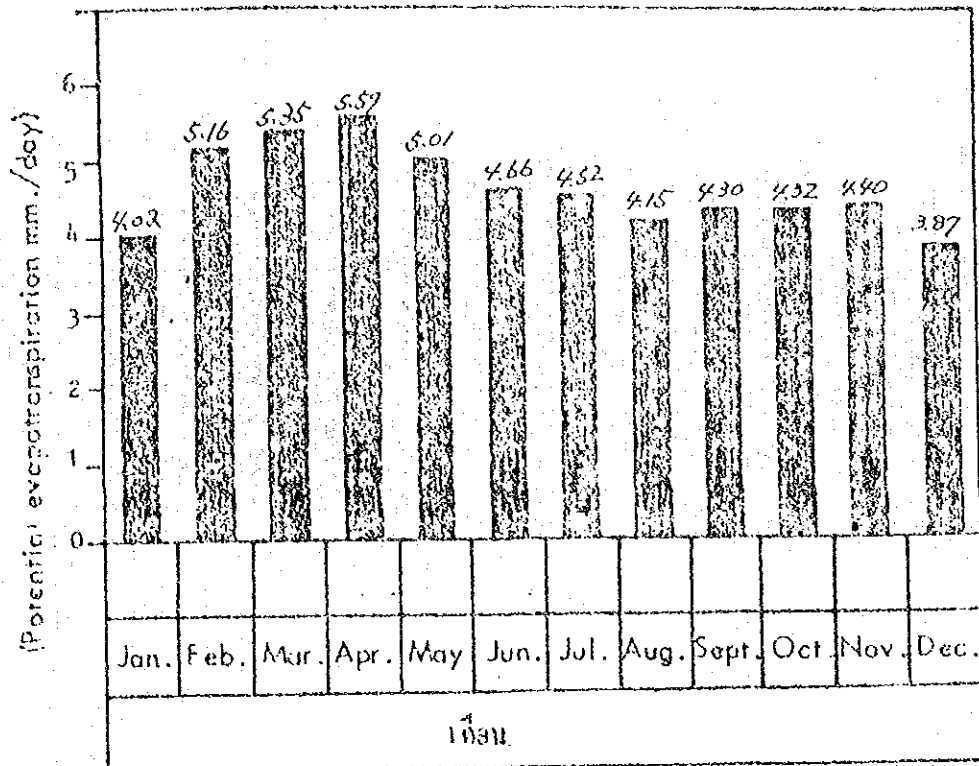
19

Province : Khon Kaen

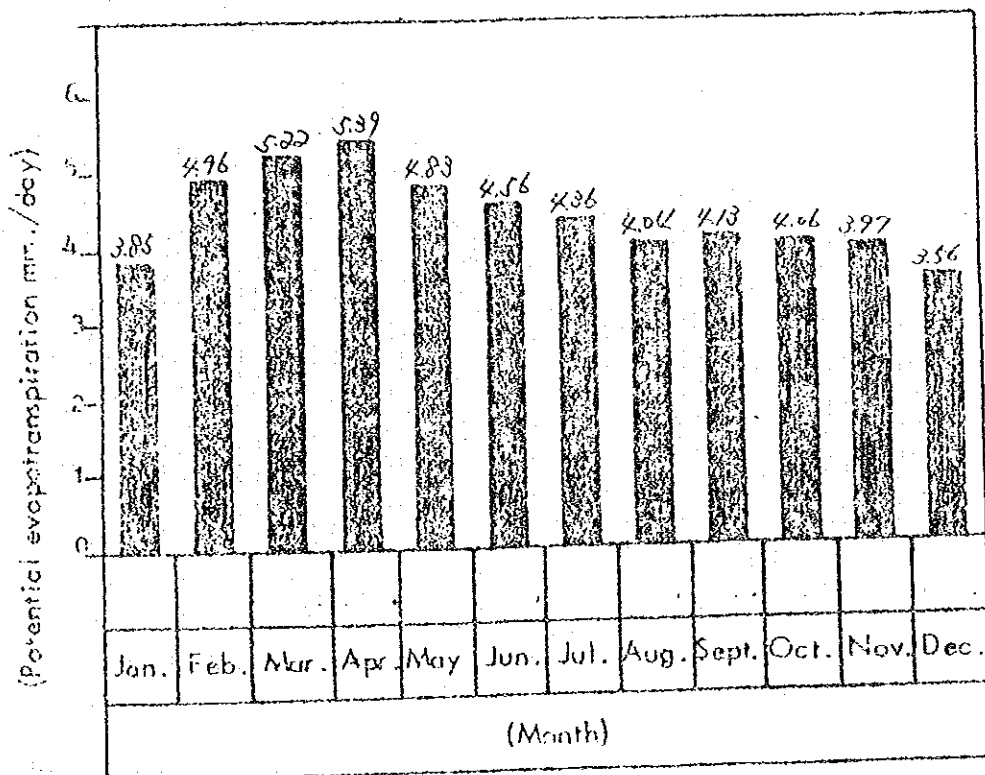


20

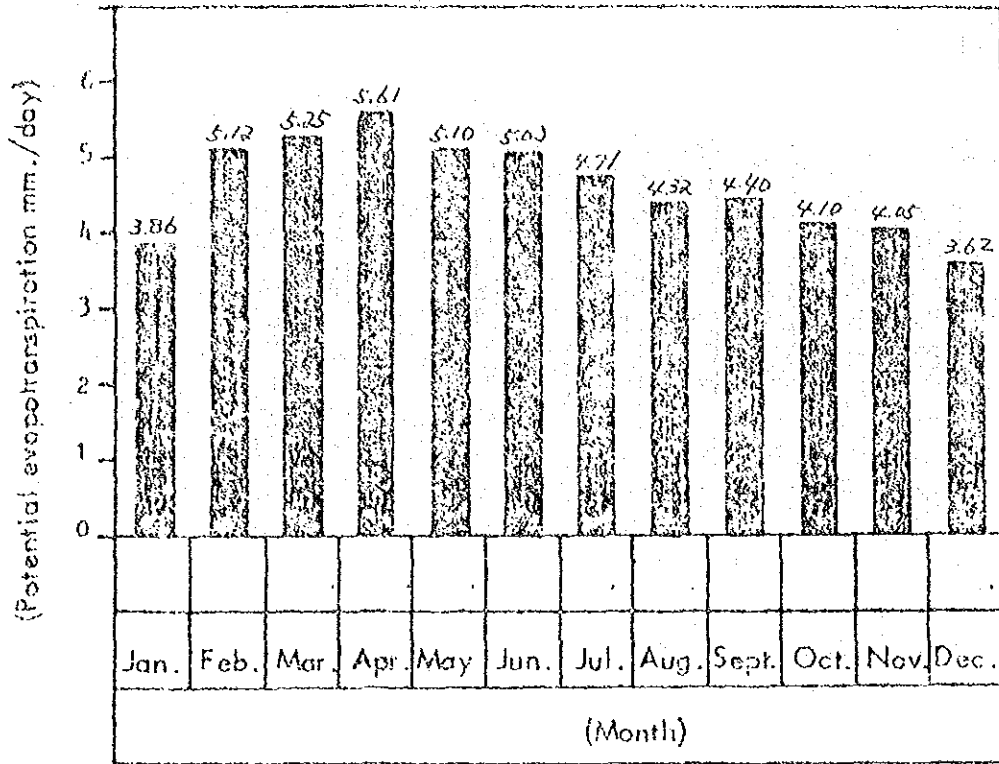
Province : Roi Et



21) จังหวัด : อุบลราชธานี  
Province : Ubon Ratchathani

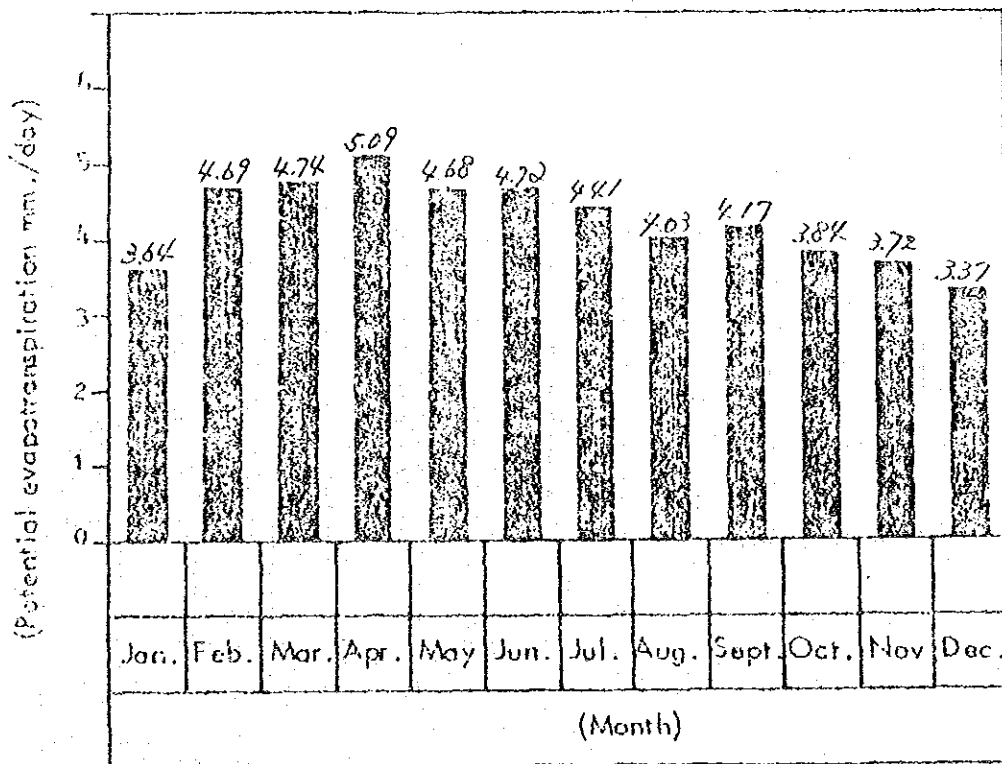


22) Province : Surin



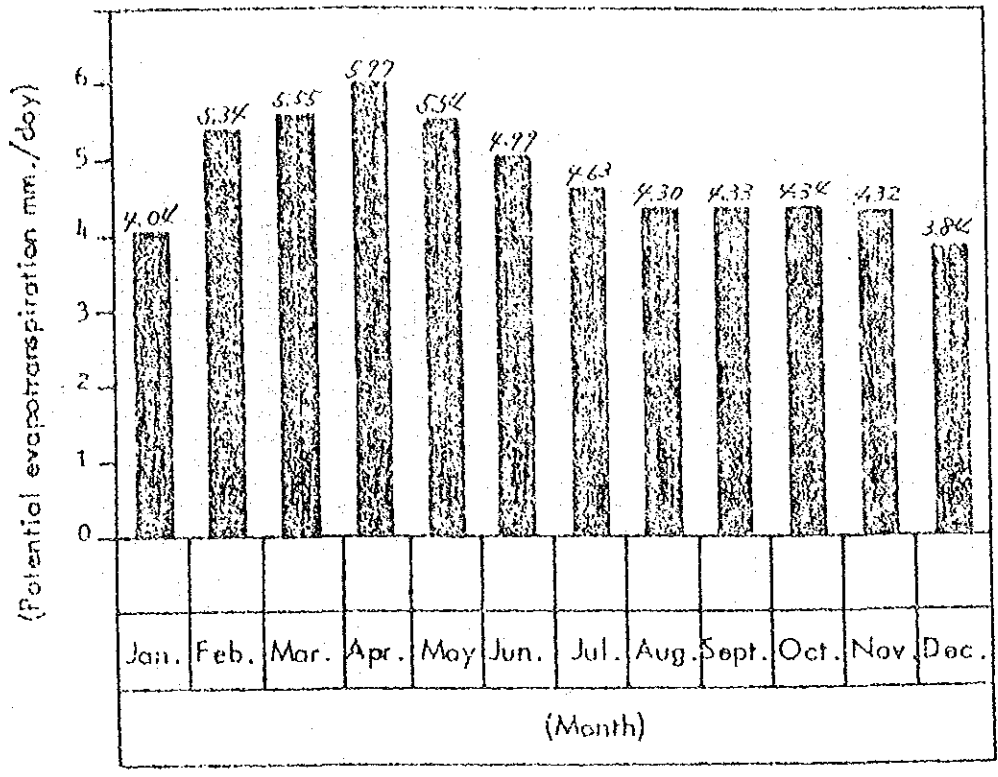
23

Province : Nakhon Ratchasima



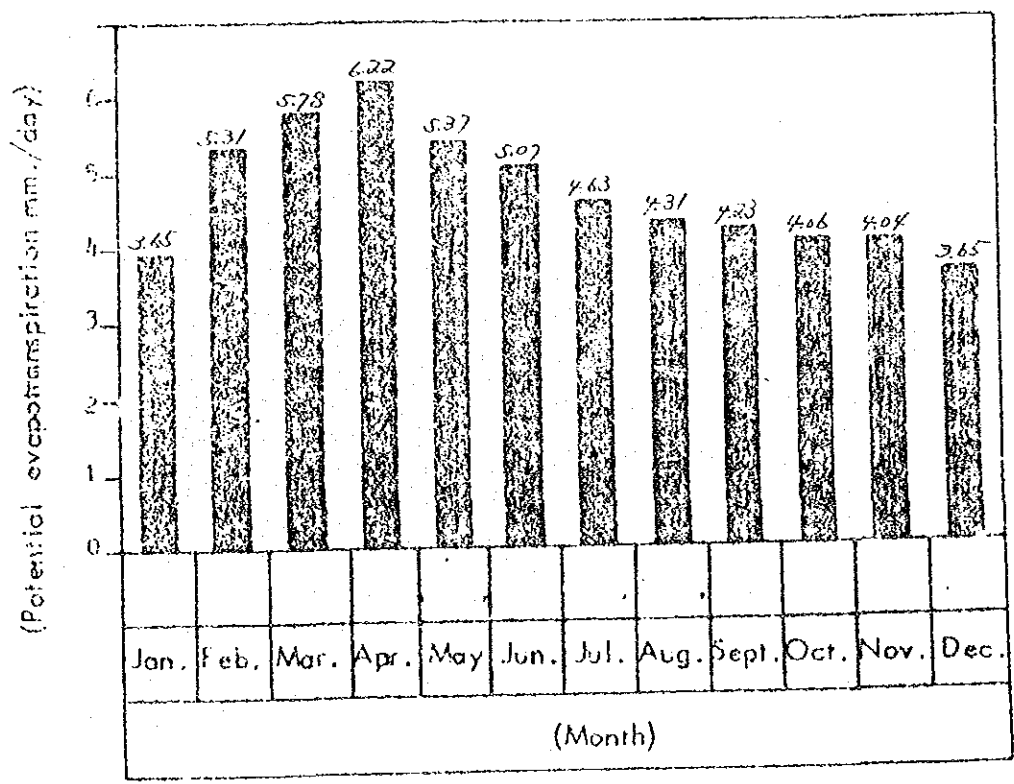
24

Amphoe : Sap Muang



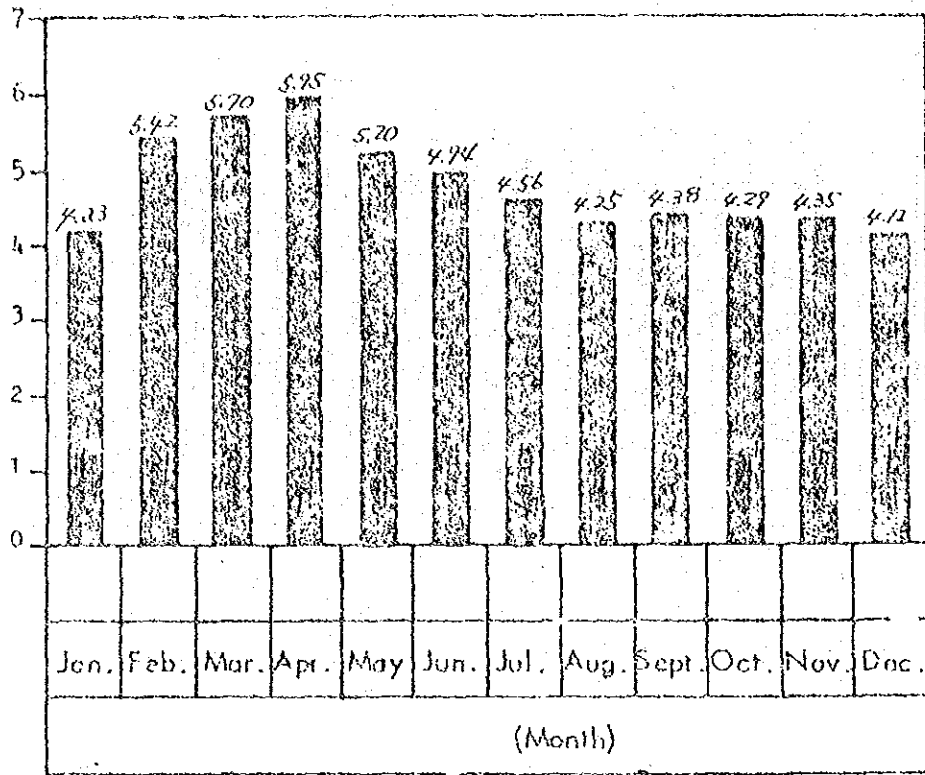
25

Province : Chaiyaphum



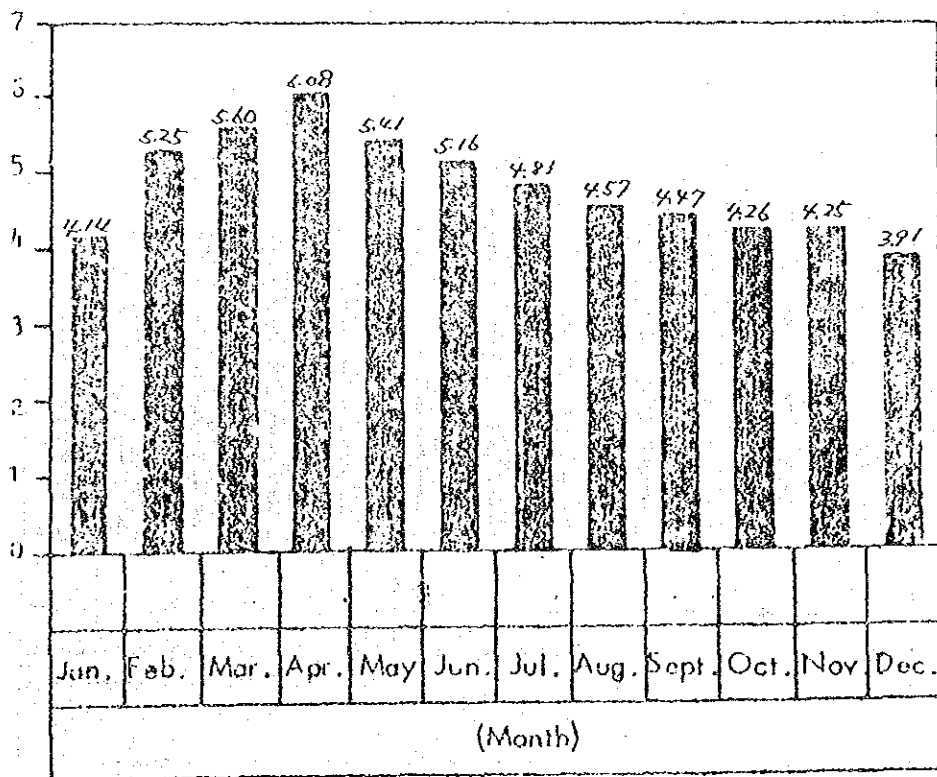
20

Province : Nakhon Sawan



27

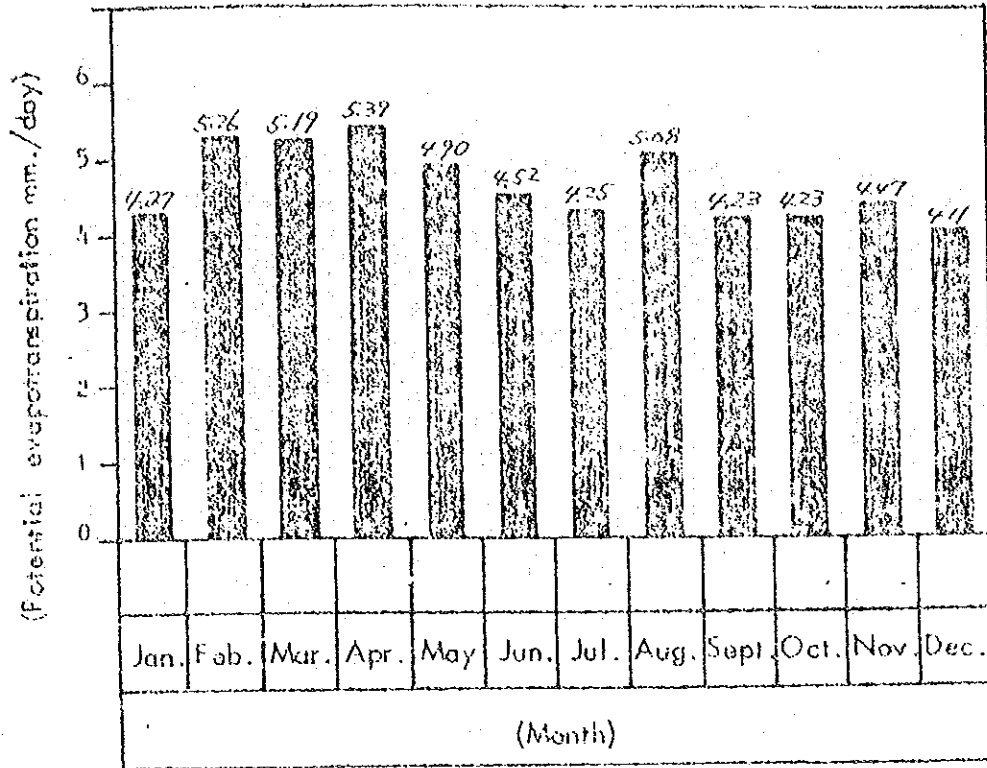
Province : Lop Buri



28

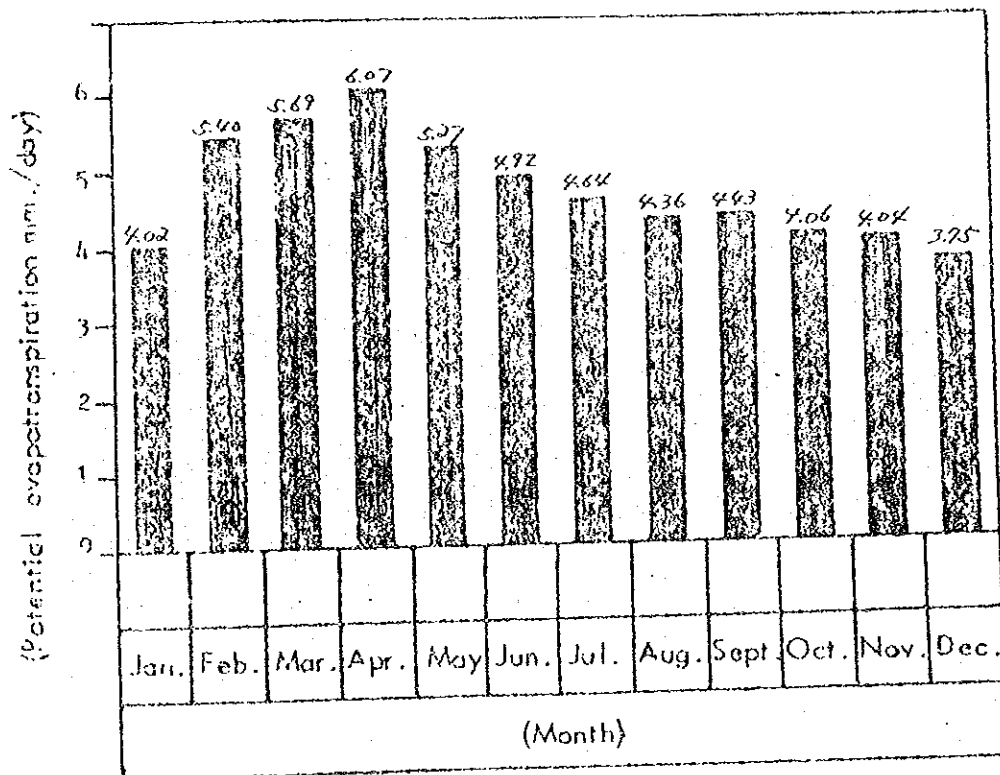
Province : Supan Buri





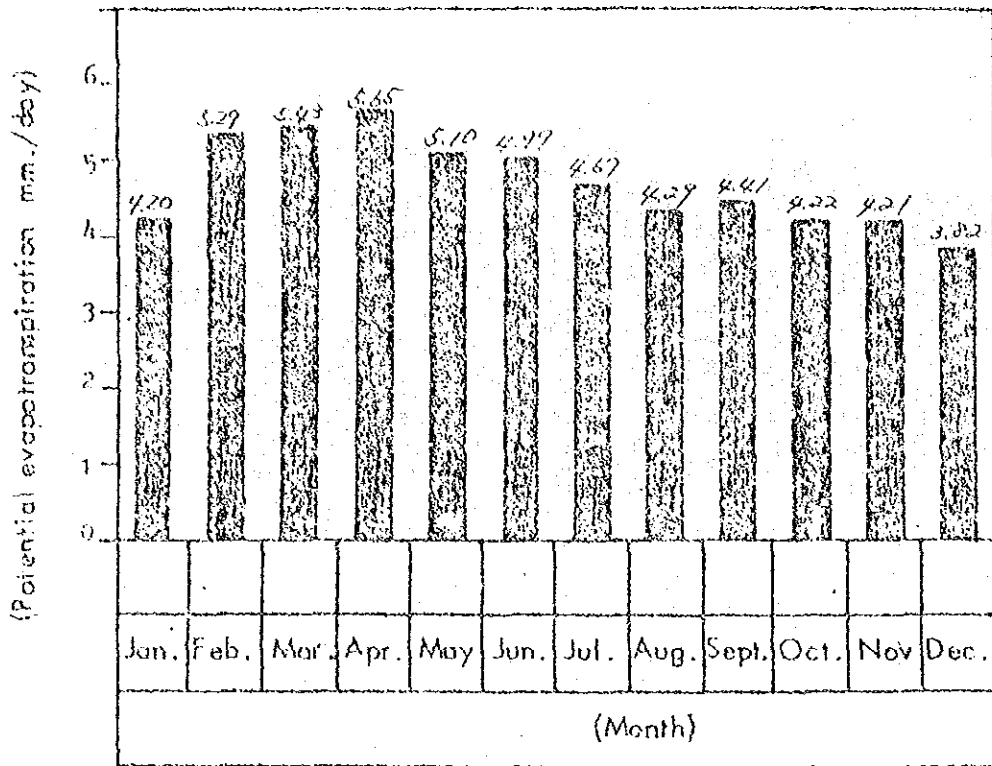
29

Province : Prachin Buri



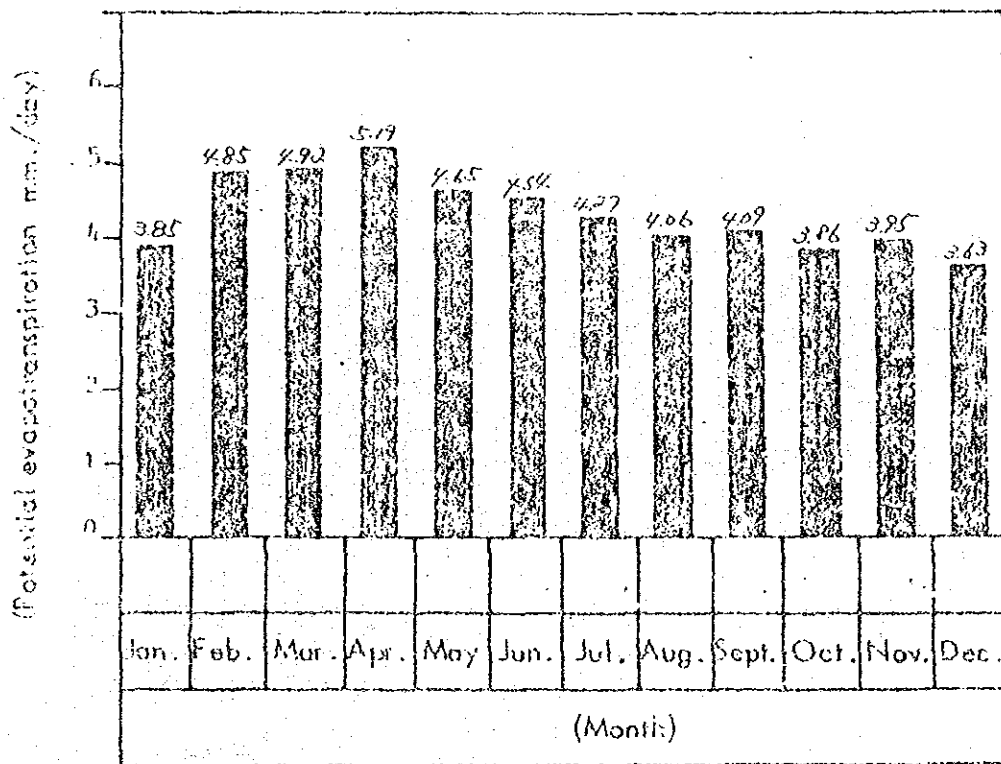
30

Province : Kanchanaburi



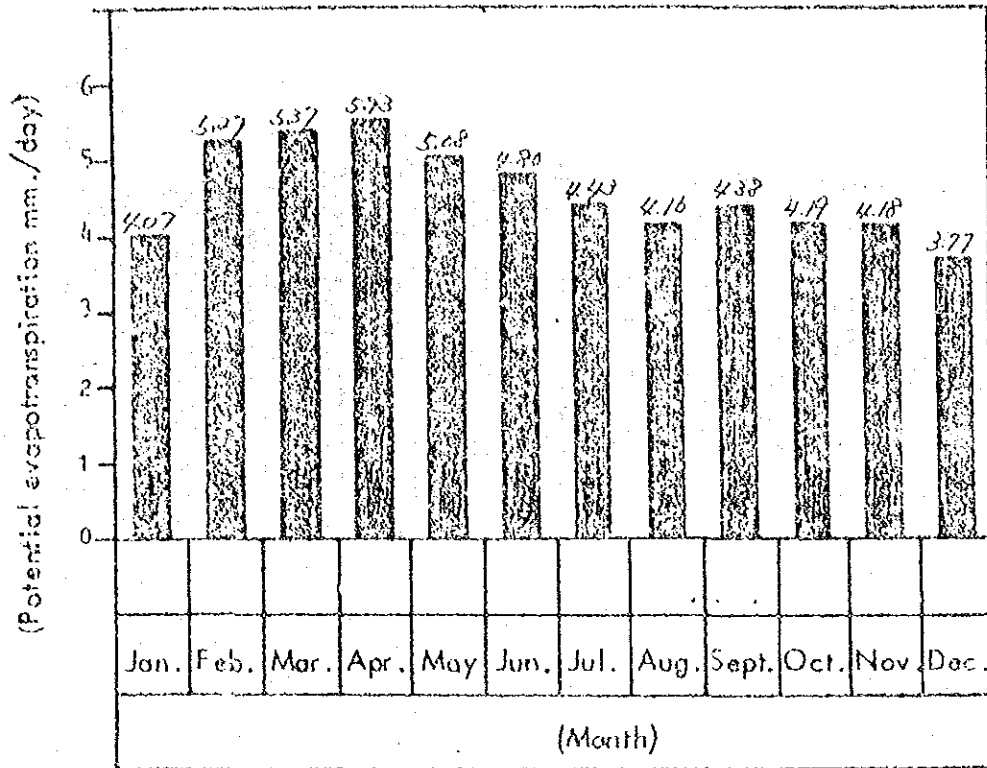
31

Don Muang



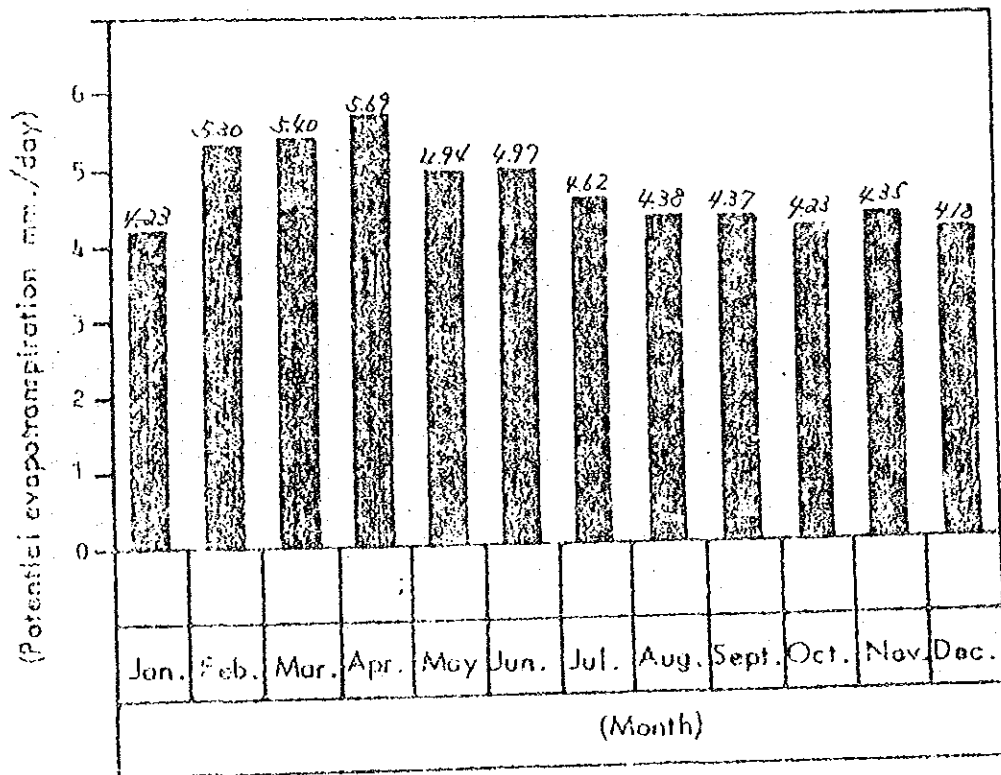
32

Province : Bangkok Metropolis



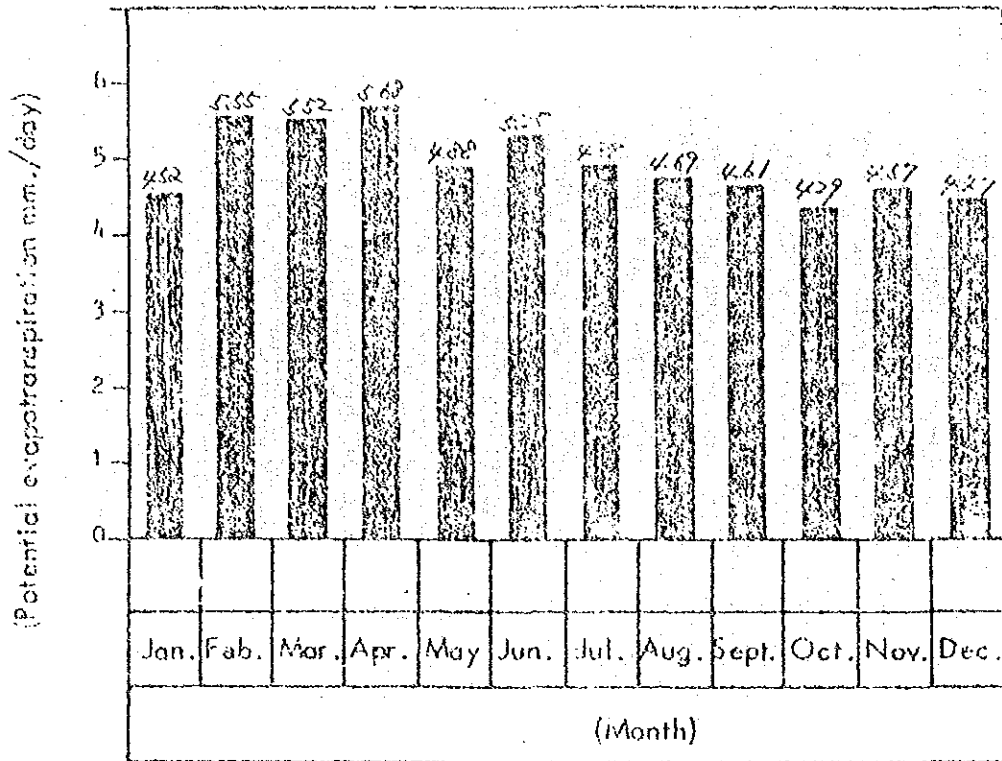
33

Amphoe : Arannaprathet



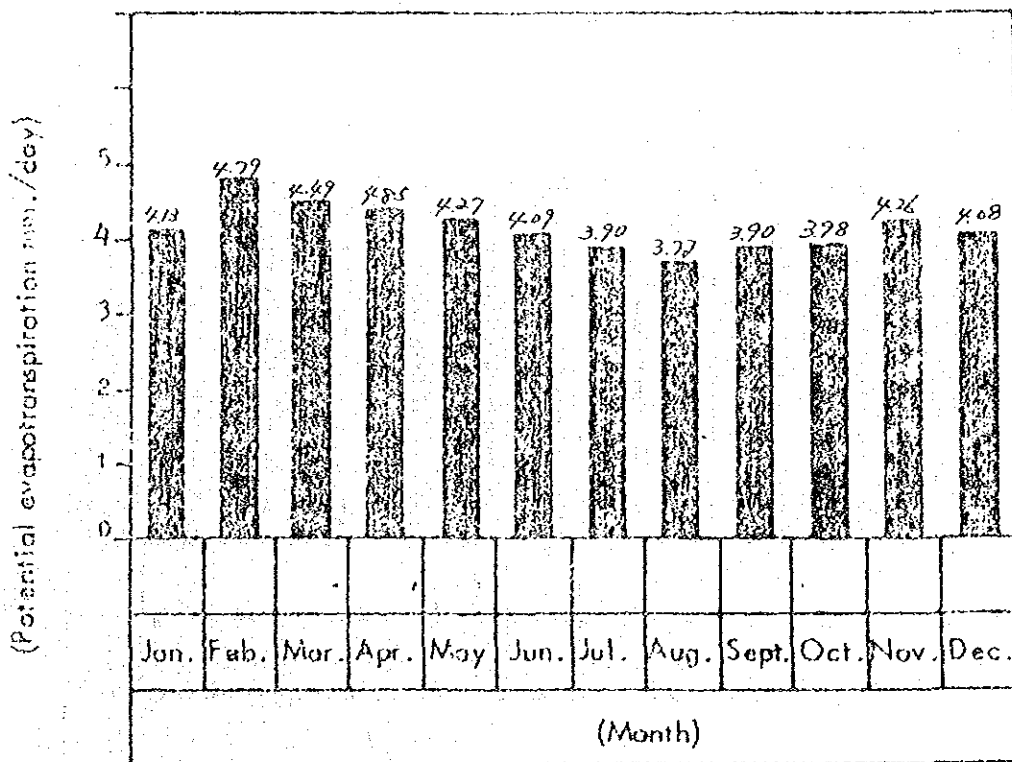
34

Province : Chon Buri



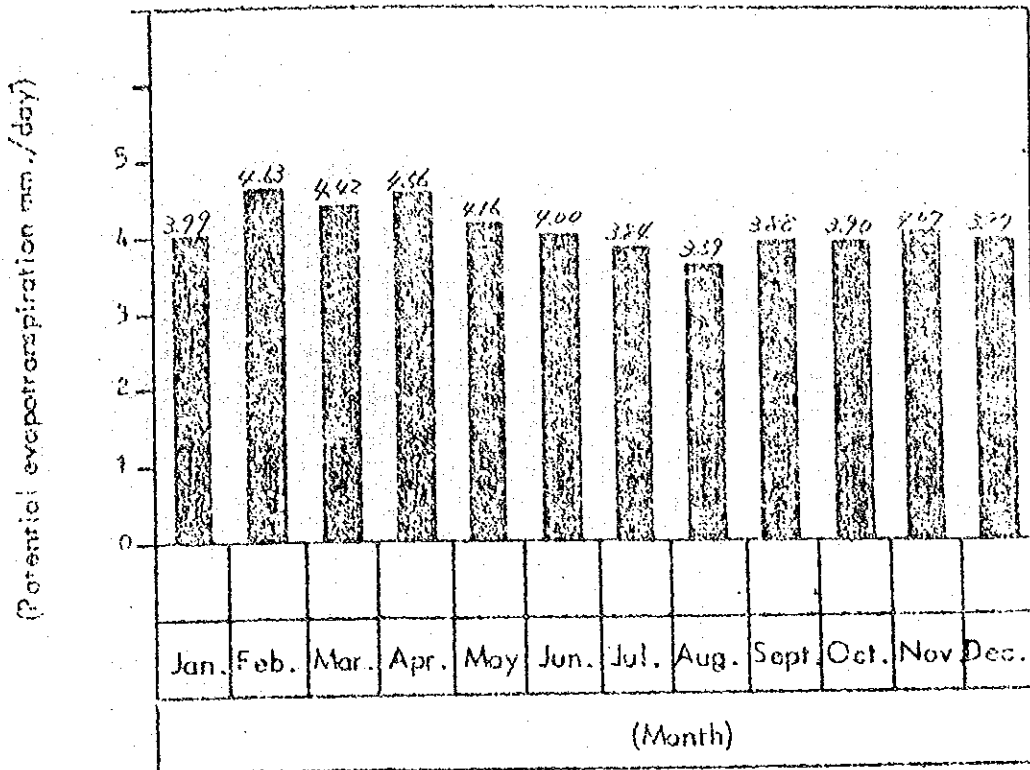
35

Amphoe : Sattahip



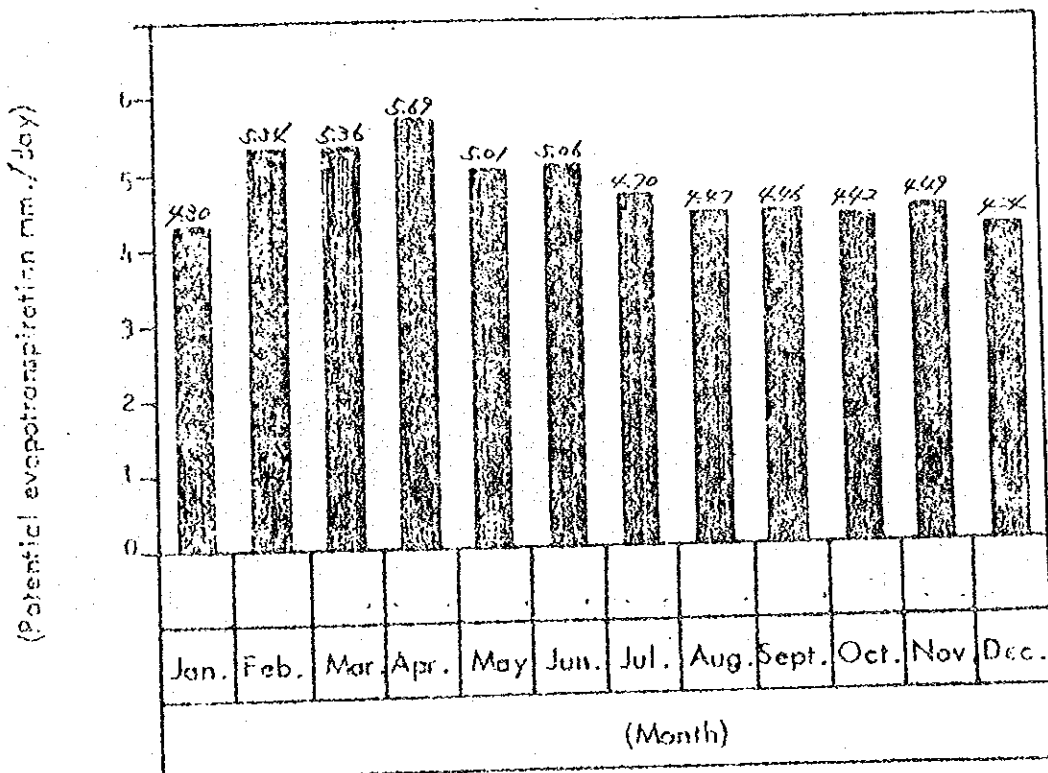
36

Province : Chanthaburi



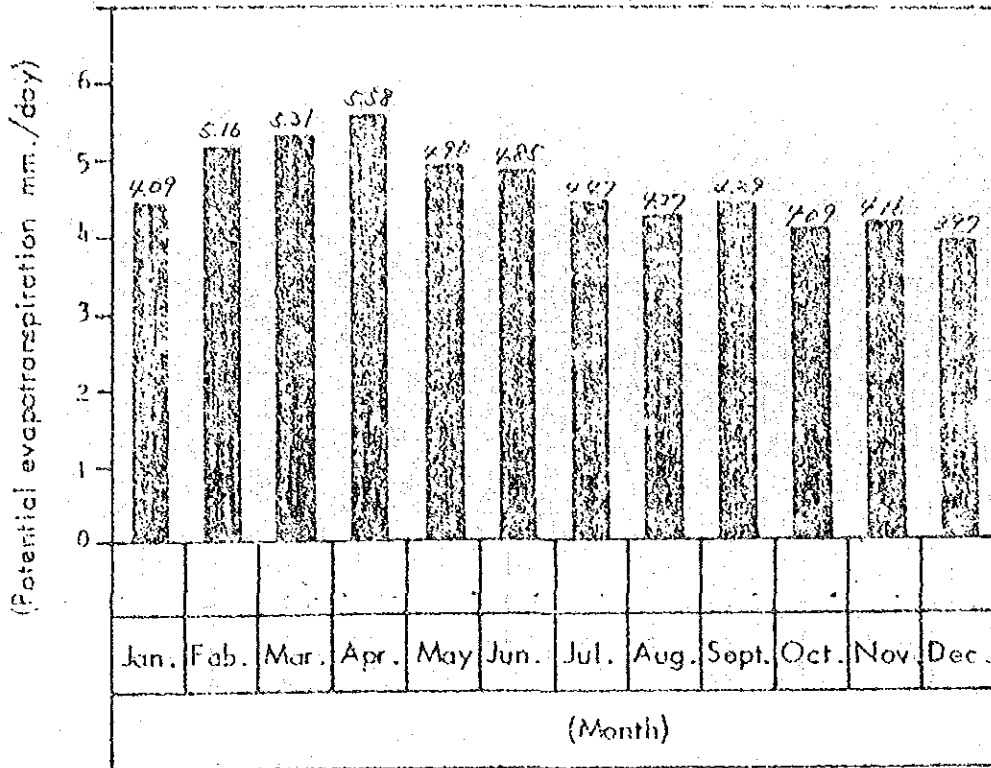
37

Amphoe : Khlong Yai



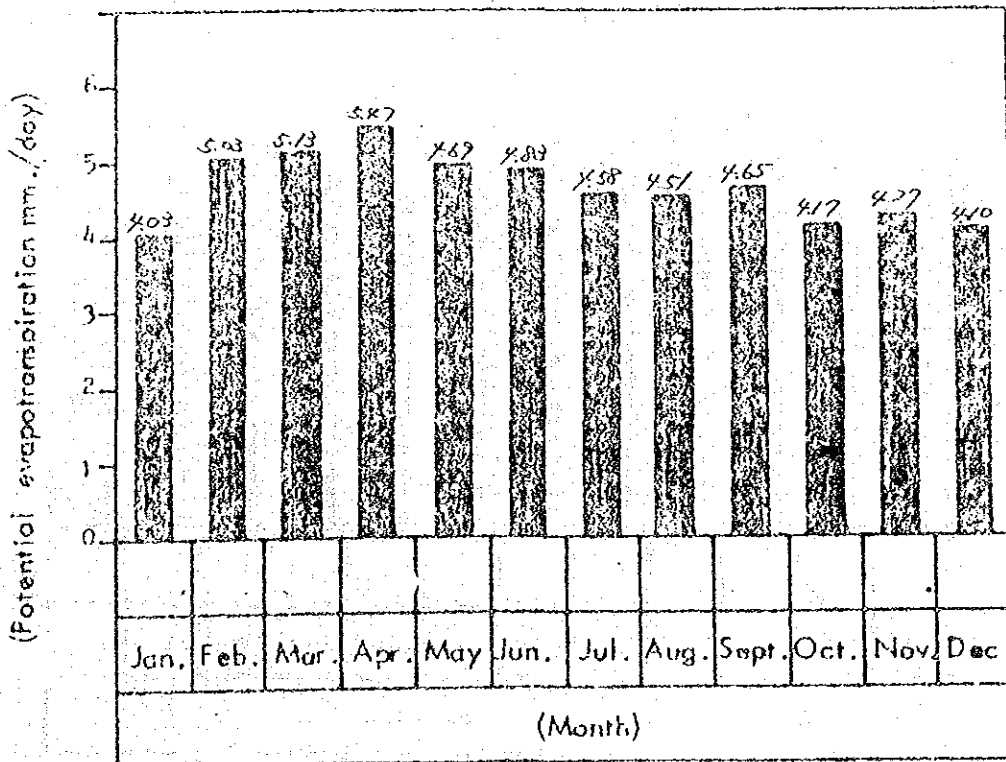
38

Kho Sichang



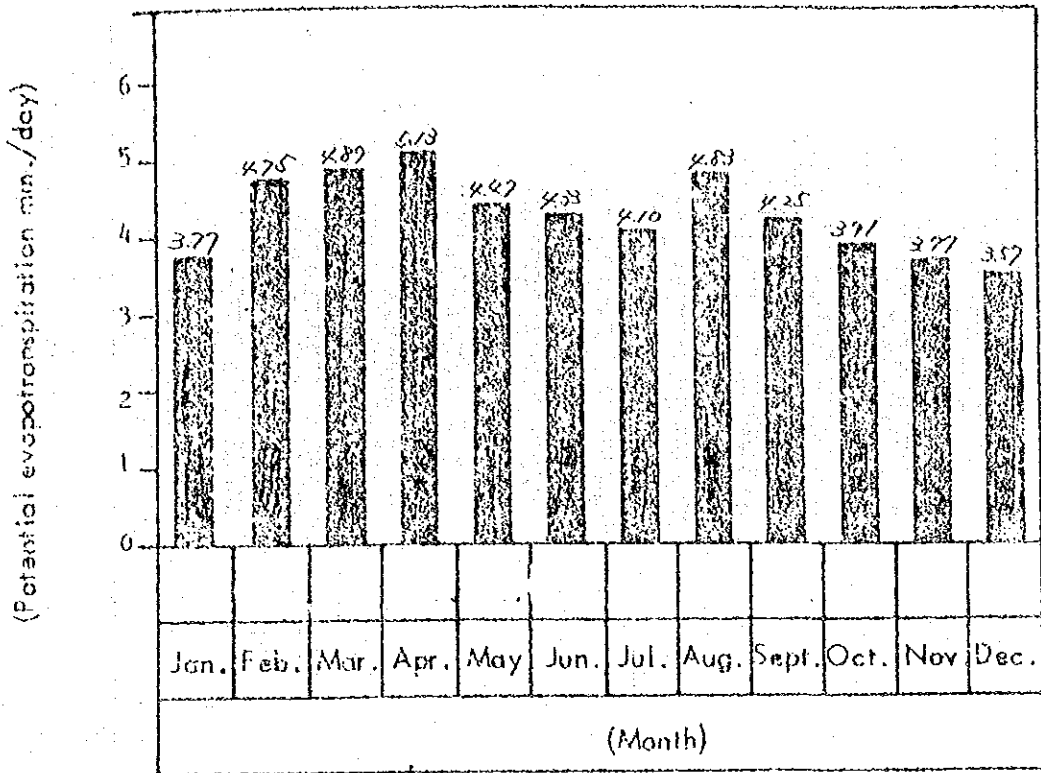
(39)

Amphoe : Hua Hin



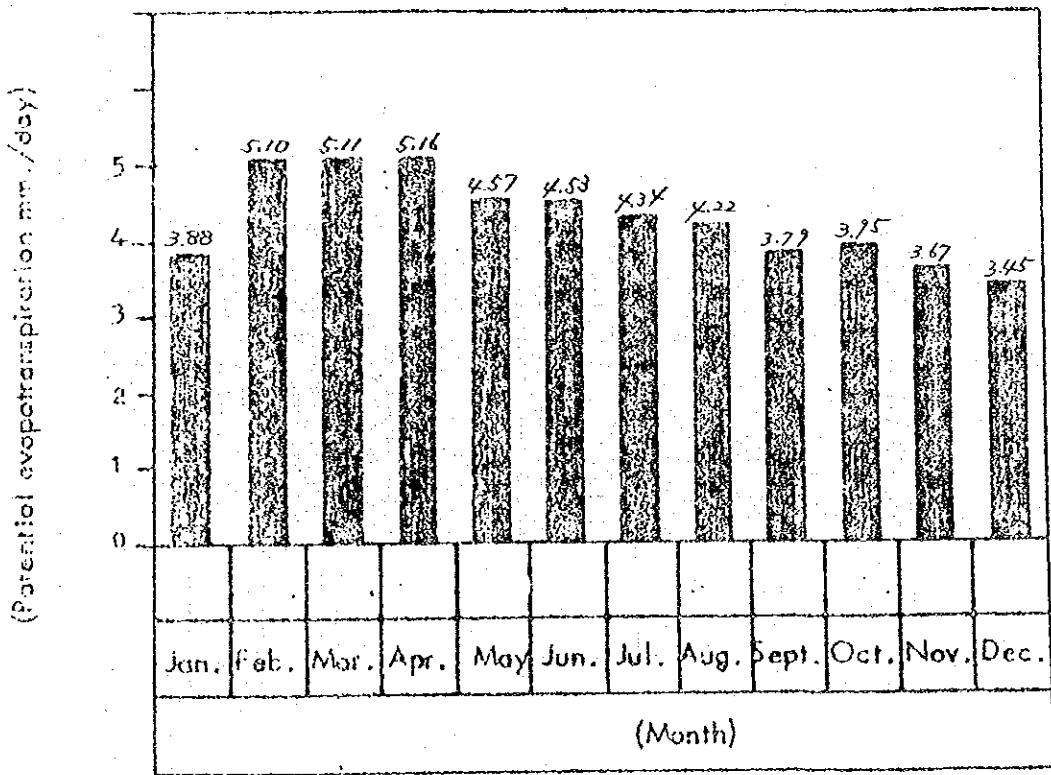
(40)

Province : Prachuap Khiri Khan



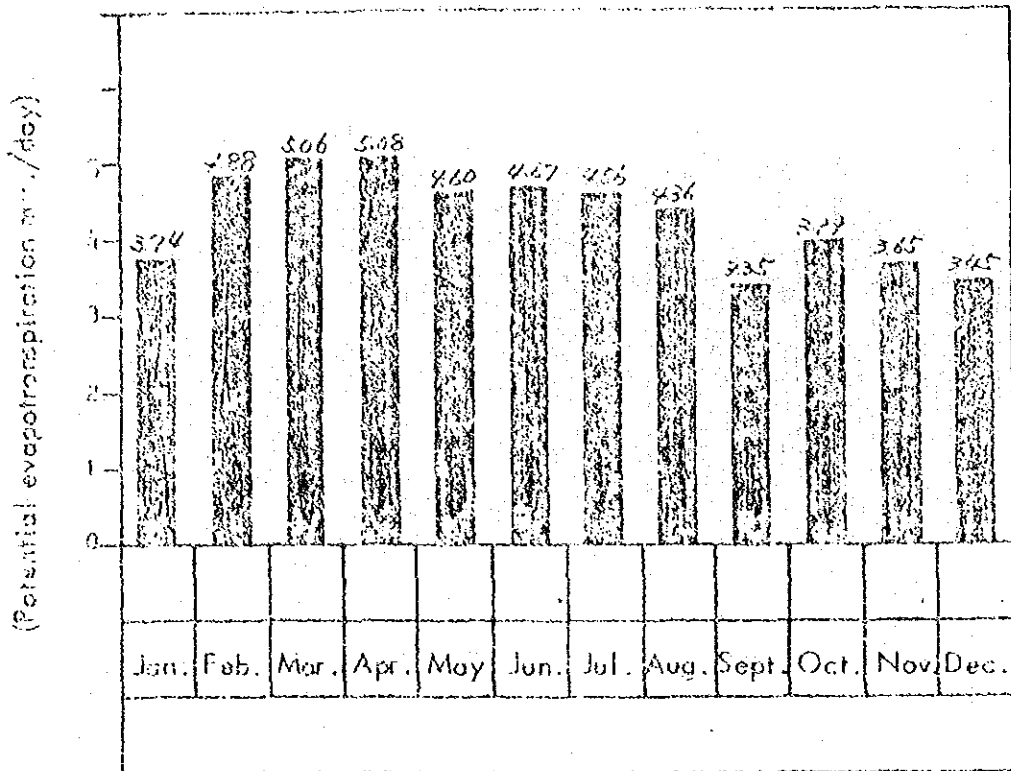
41

Province : Chumphon



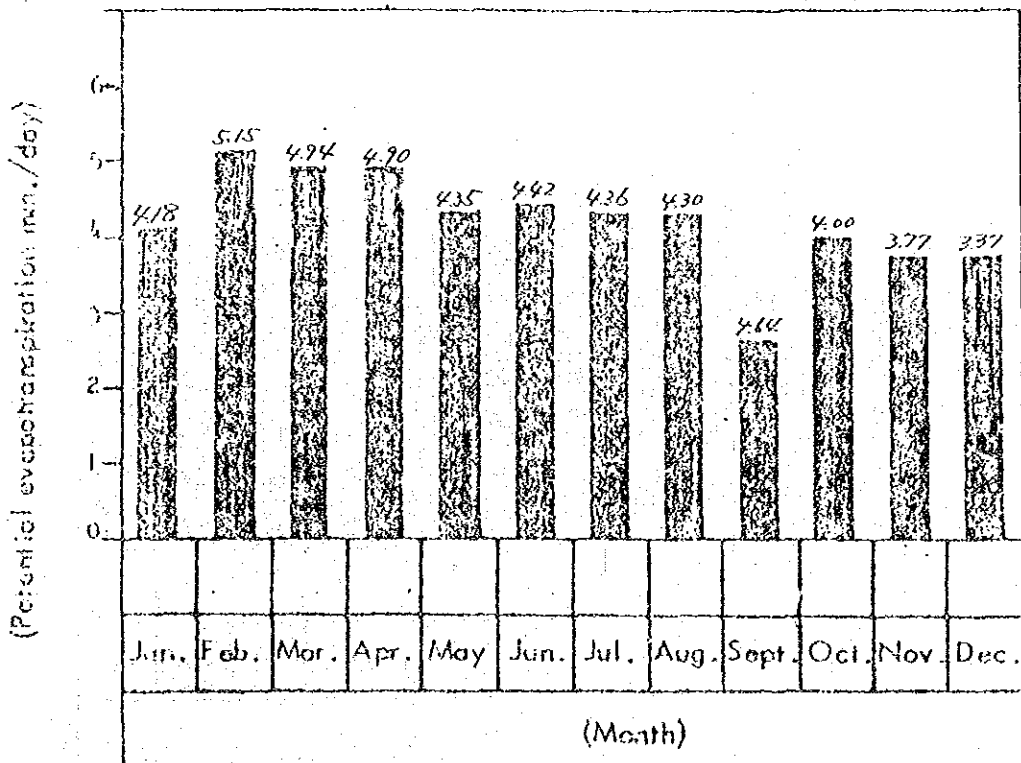
42

Province : Surat Thani



4.3

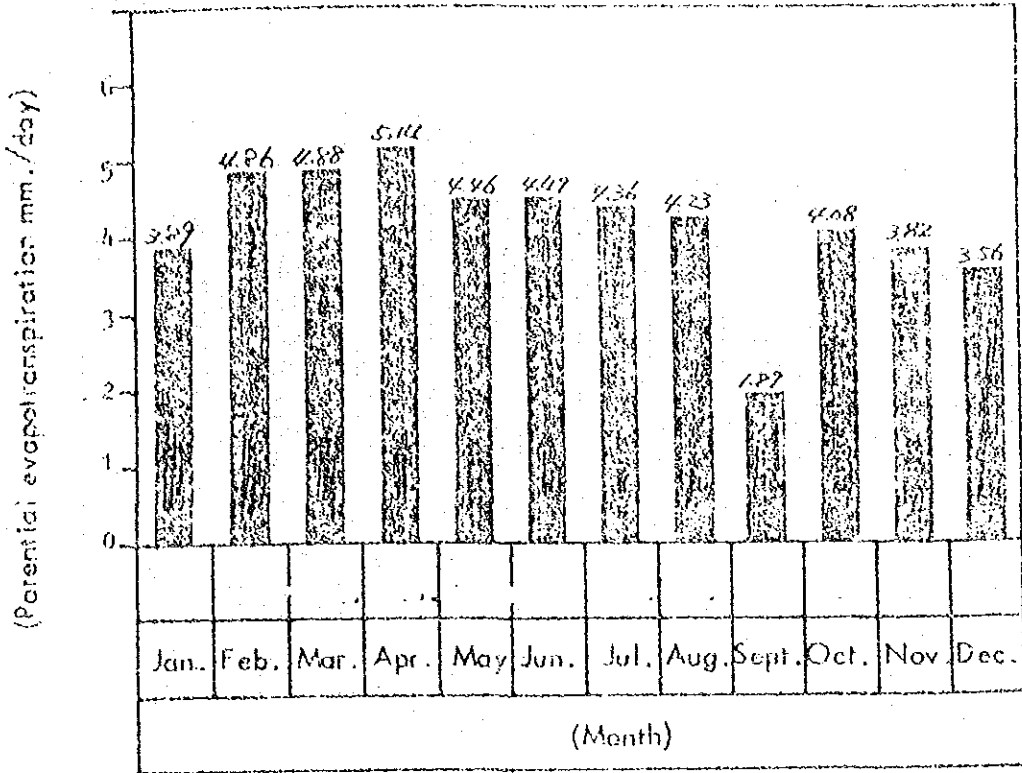
Province : Nakhon Si Thammarat



4.4

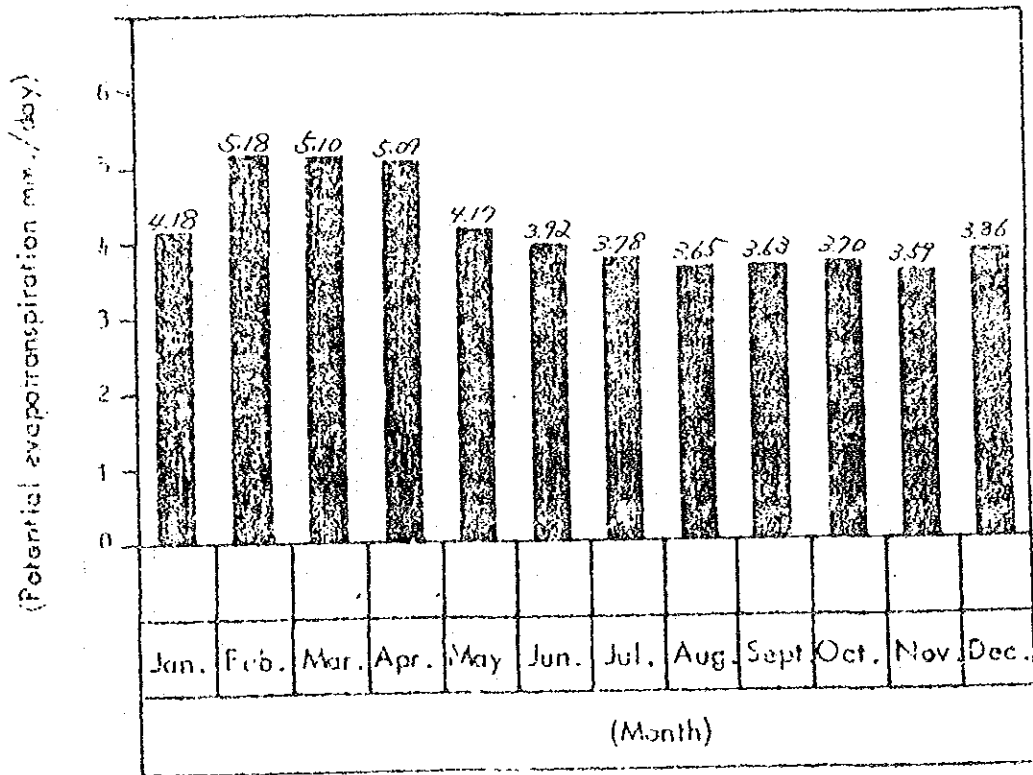
Province : Songkhla





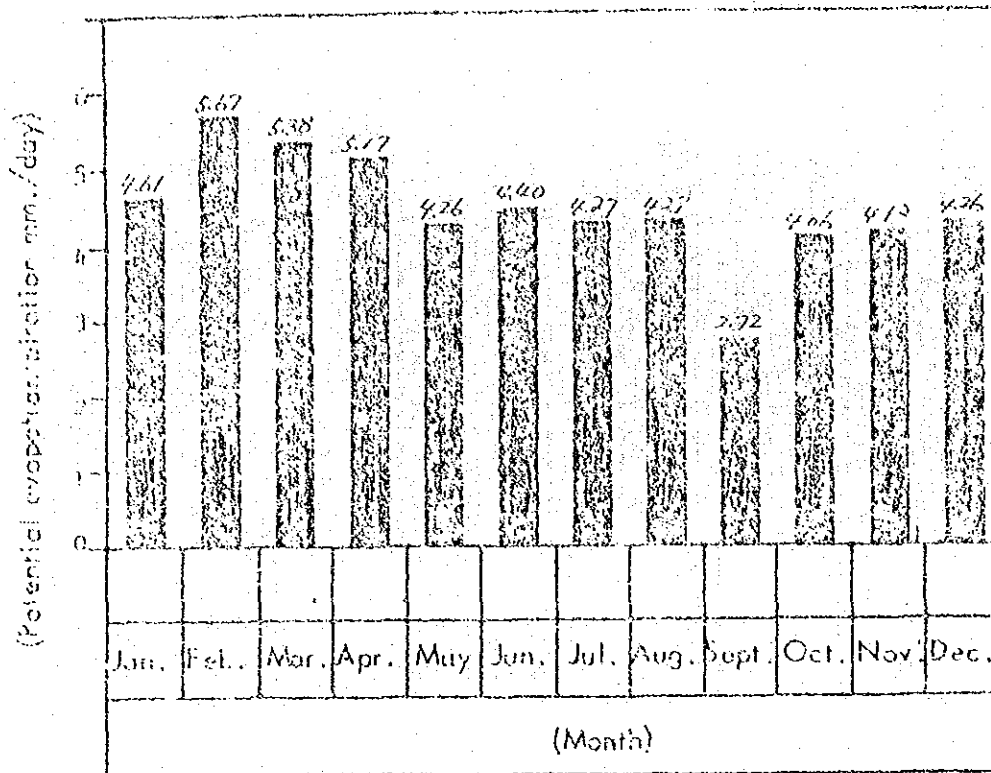
45

Province : Narathiwat



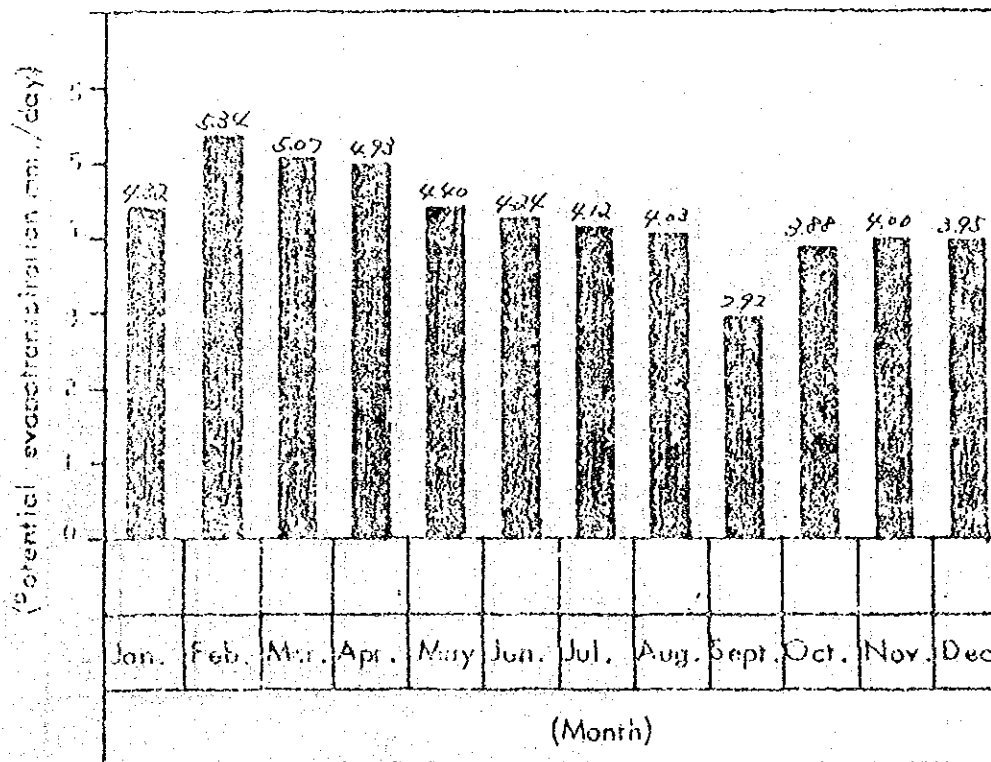
46

Province : Ranong



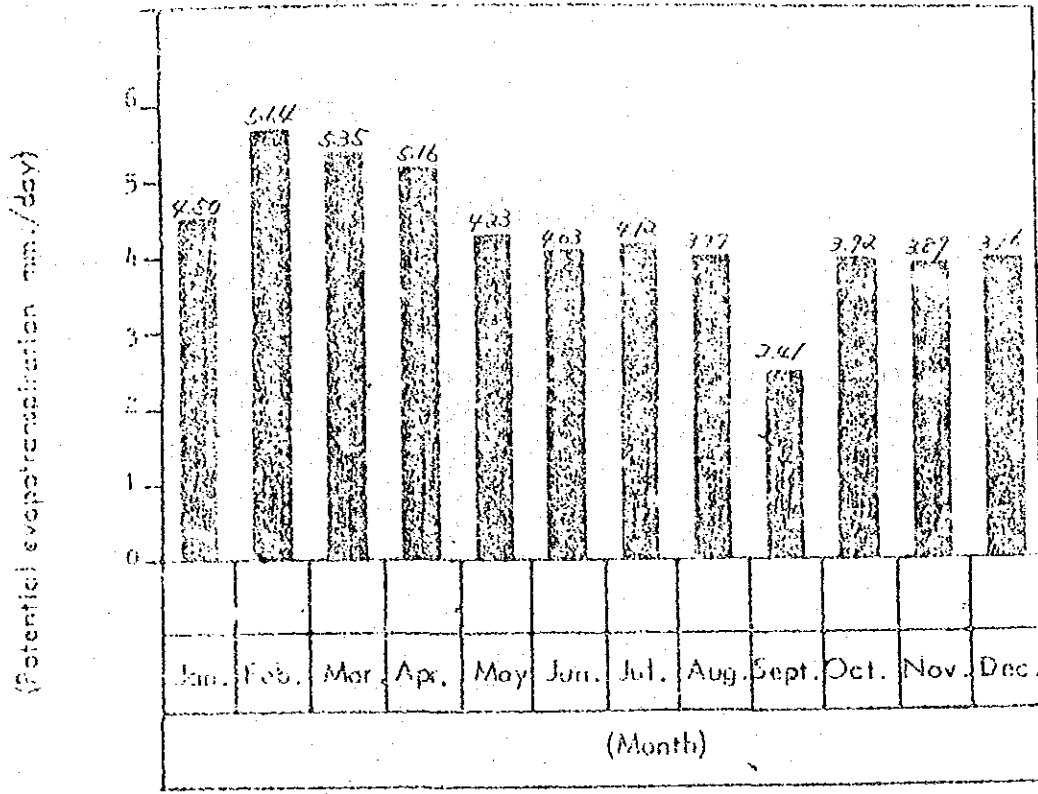
(17)

Province : Phuket



(18)

Phuket Air Port



49

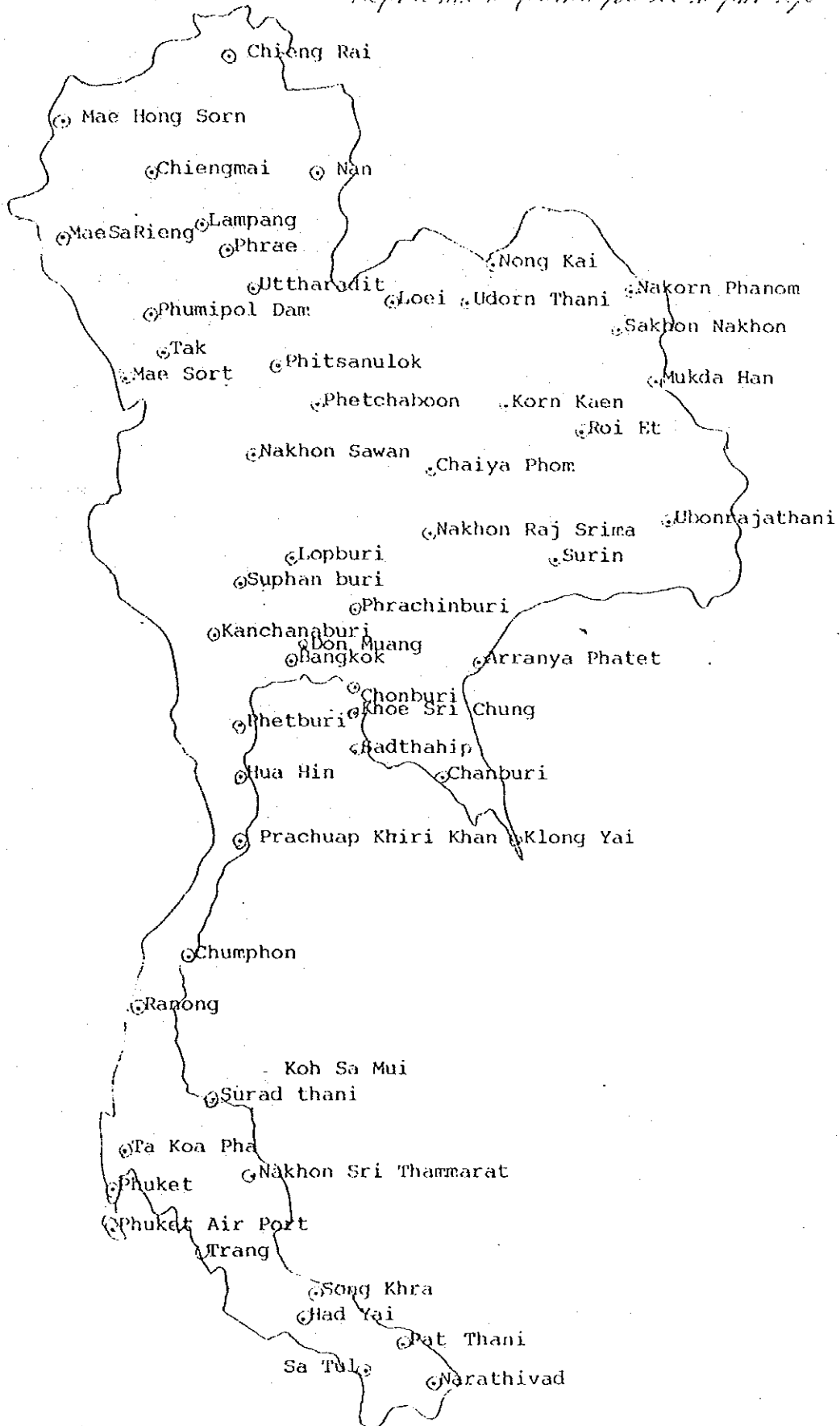
Province : Trong

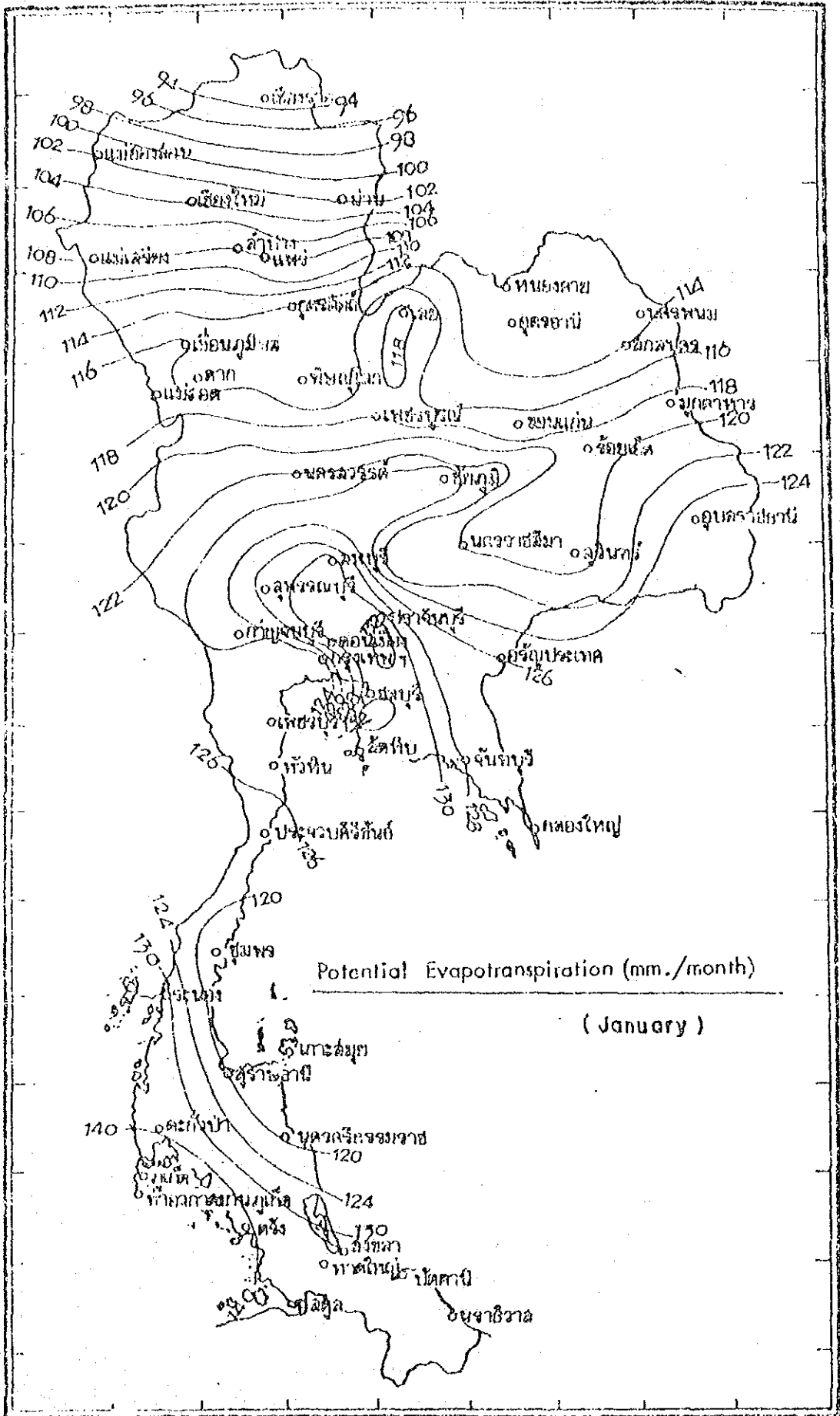
1-6 付図-C

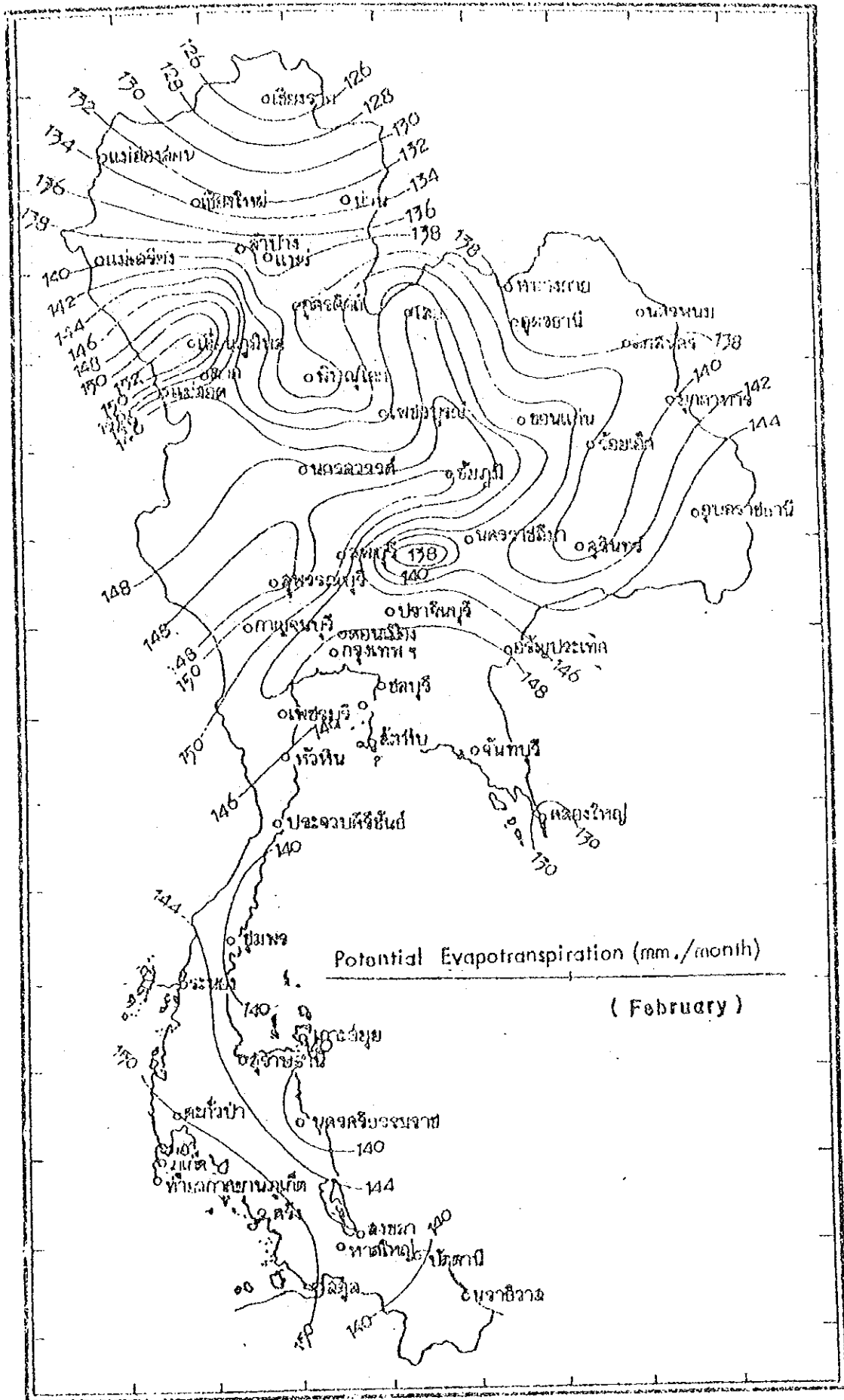
Appendices C

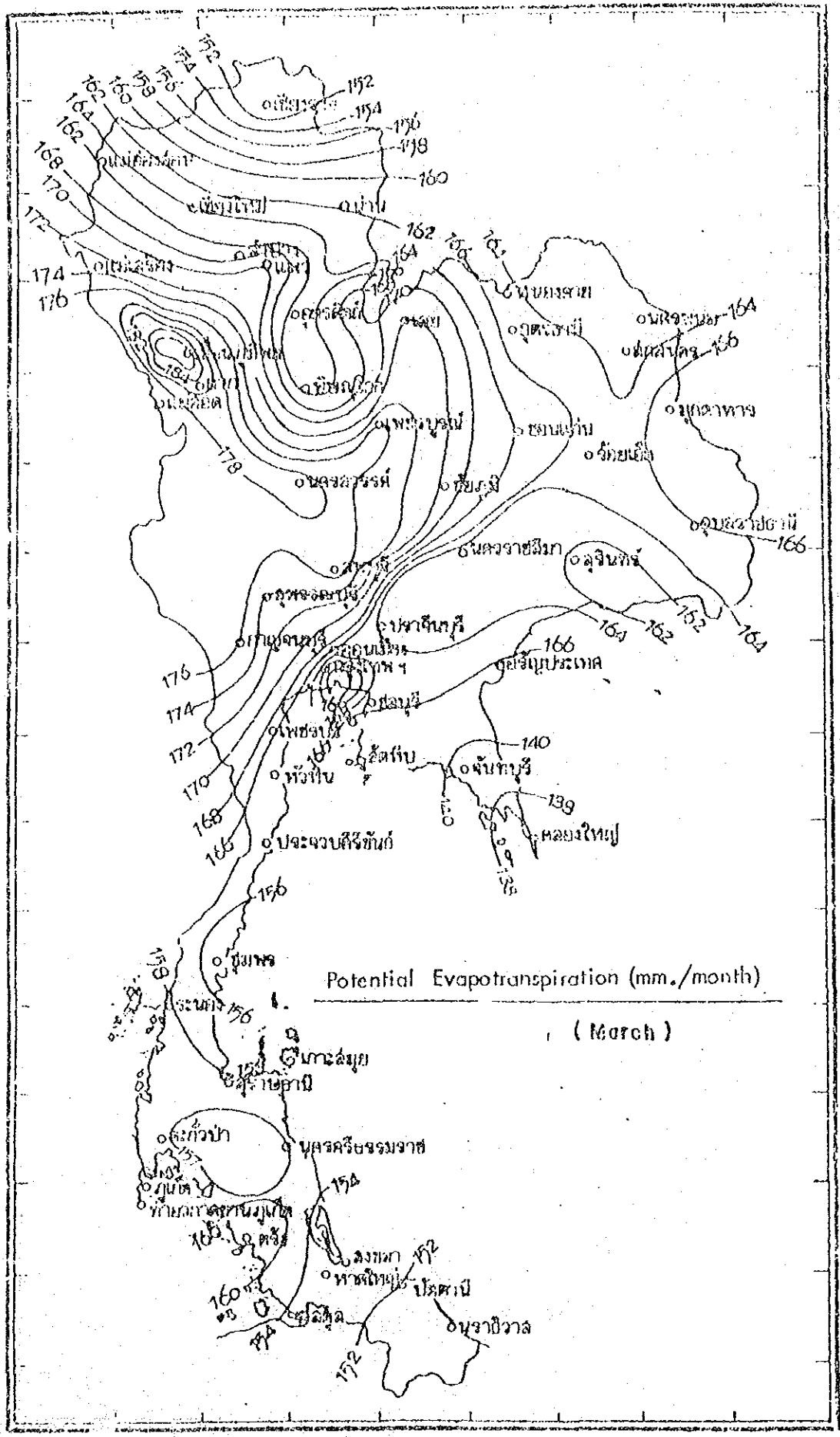
Potential evapotranspiration elevation, mm/month

Refer to this map when you see the following:

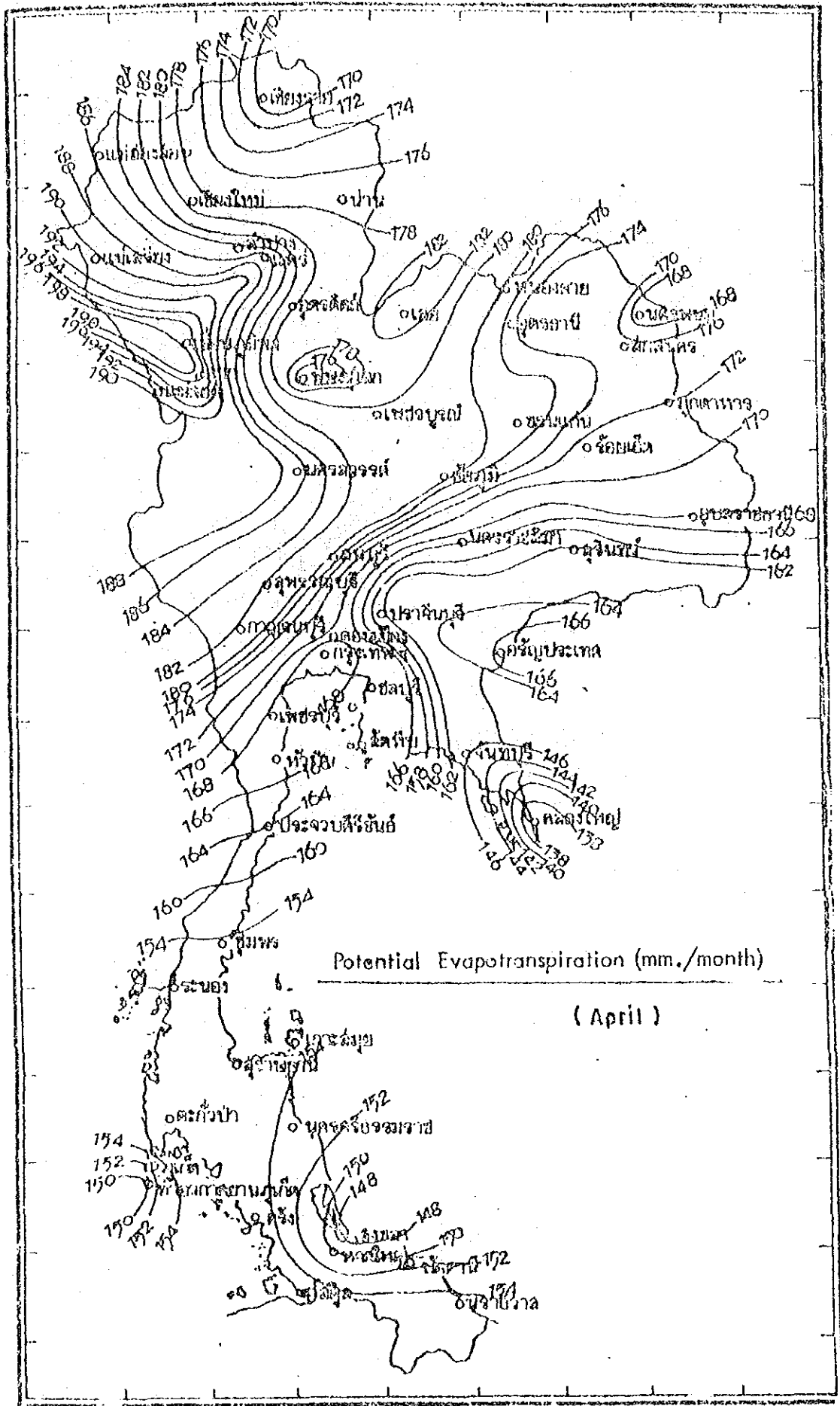


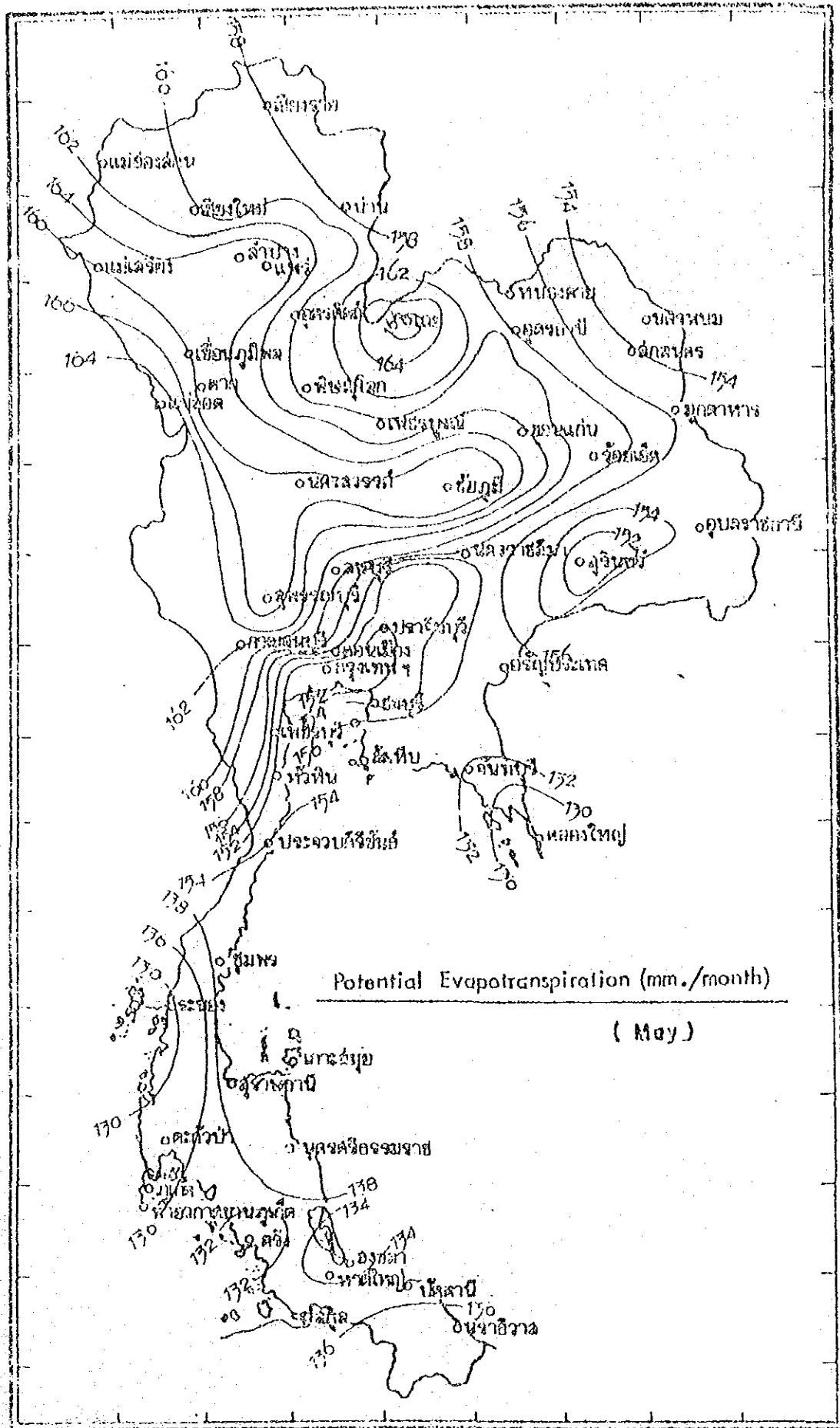


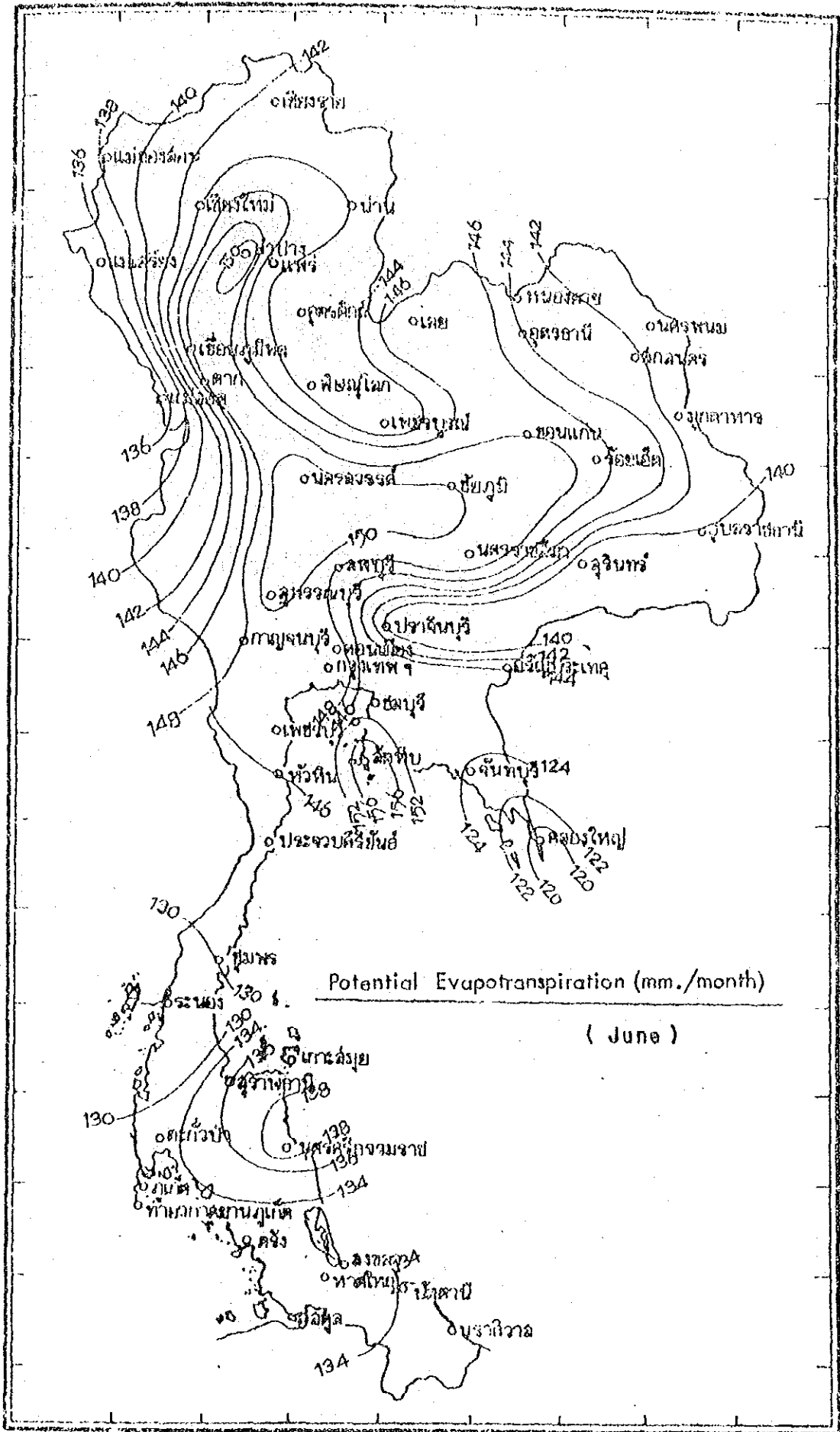


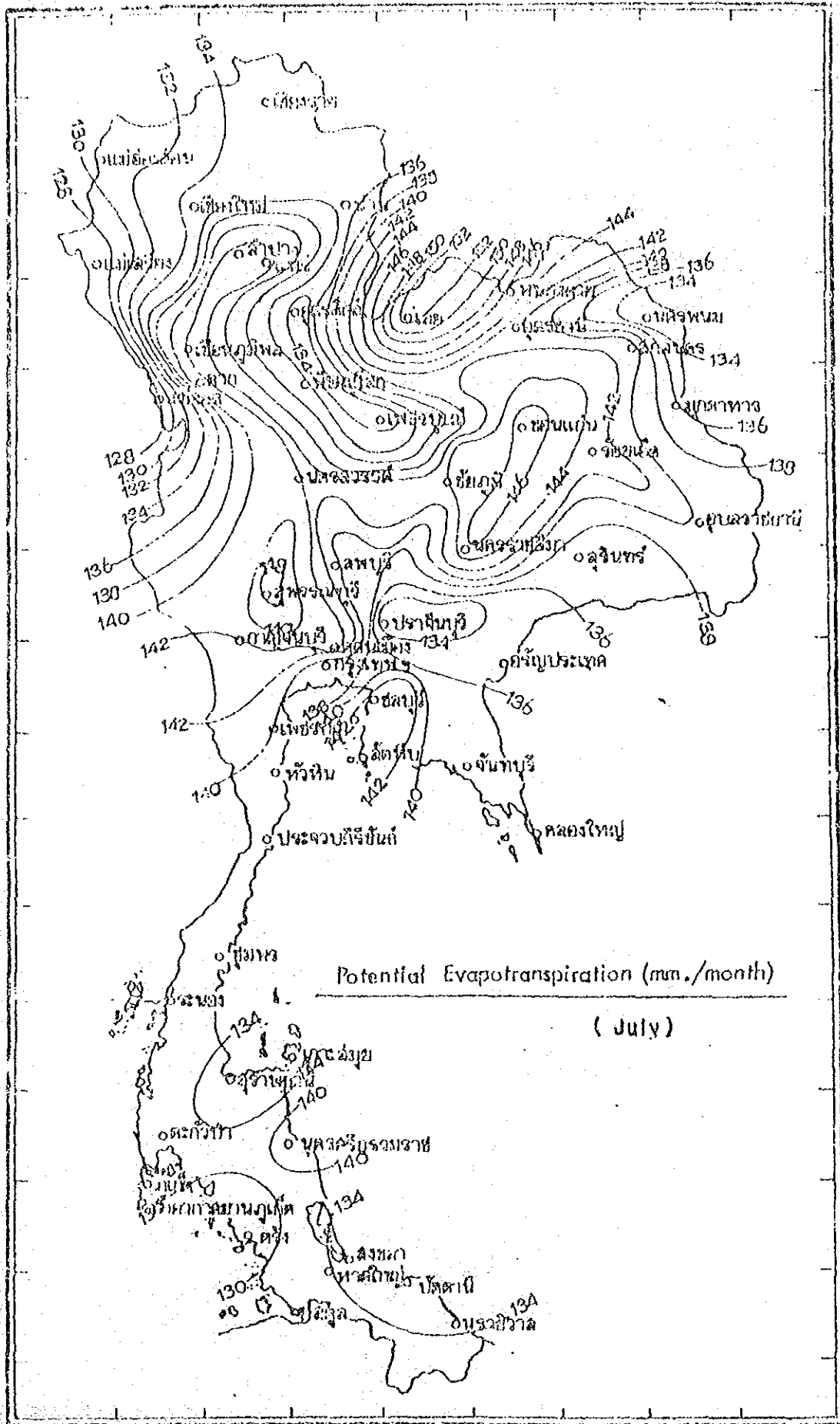


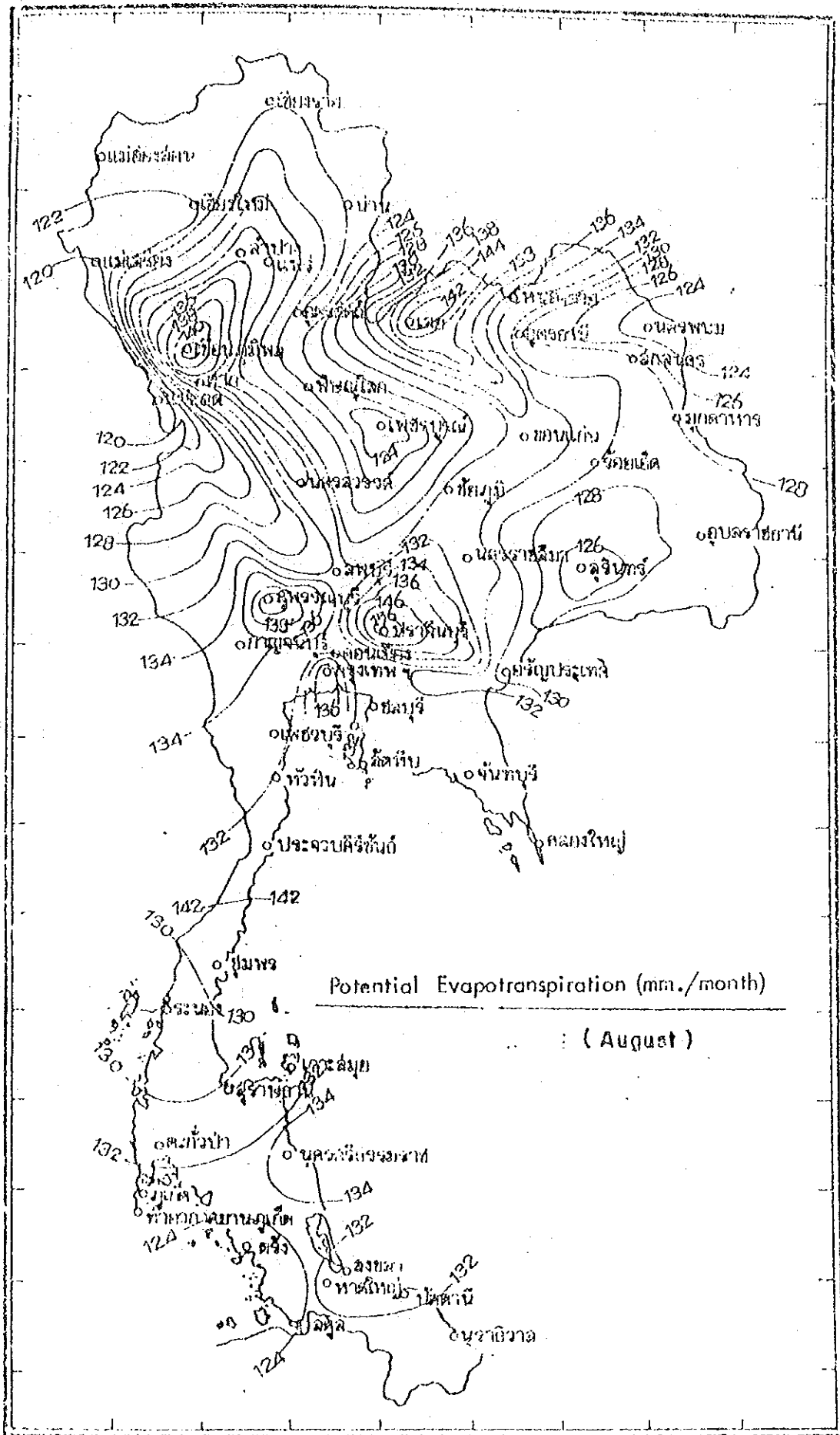


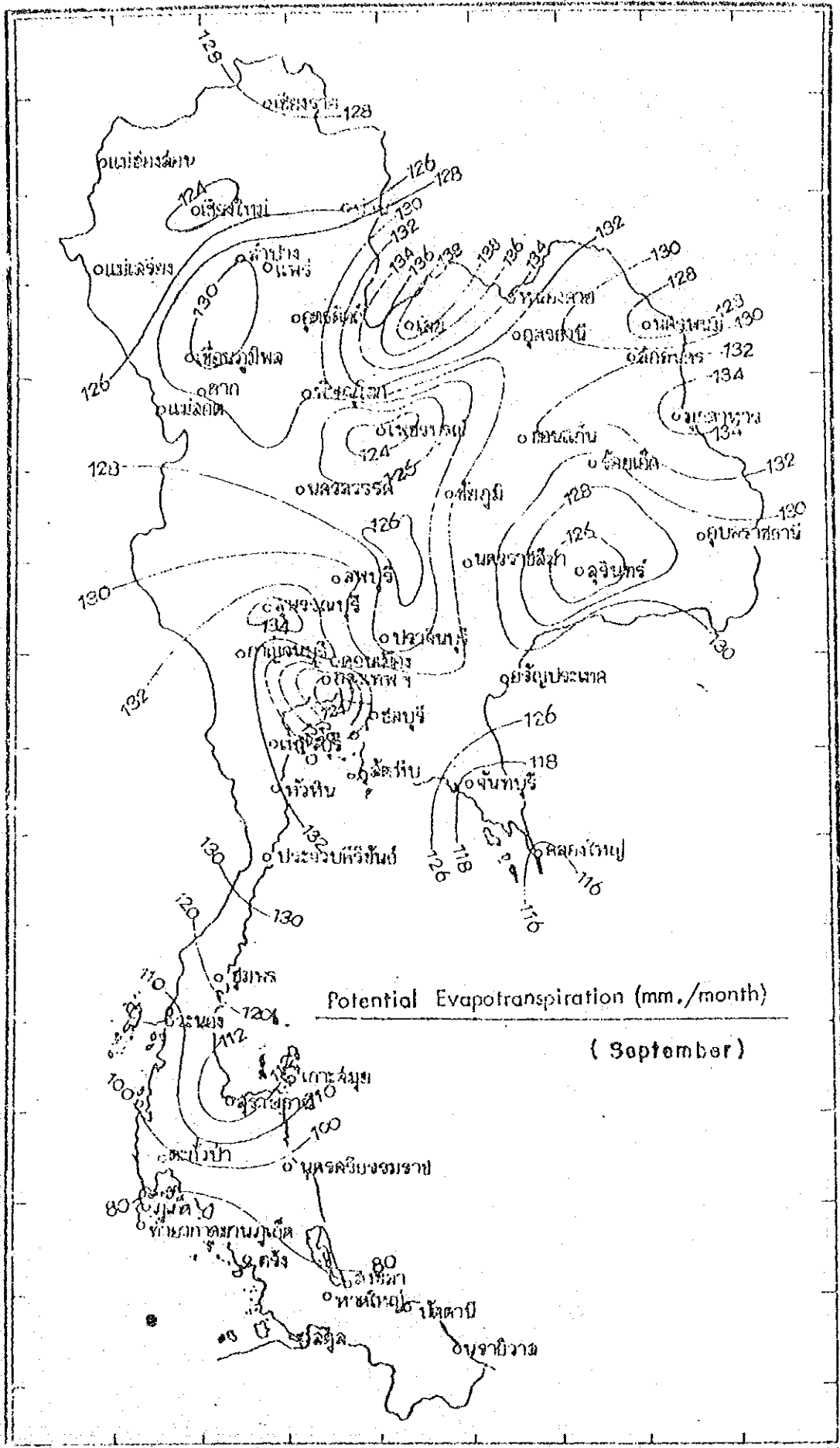


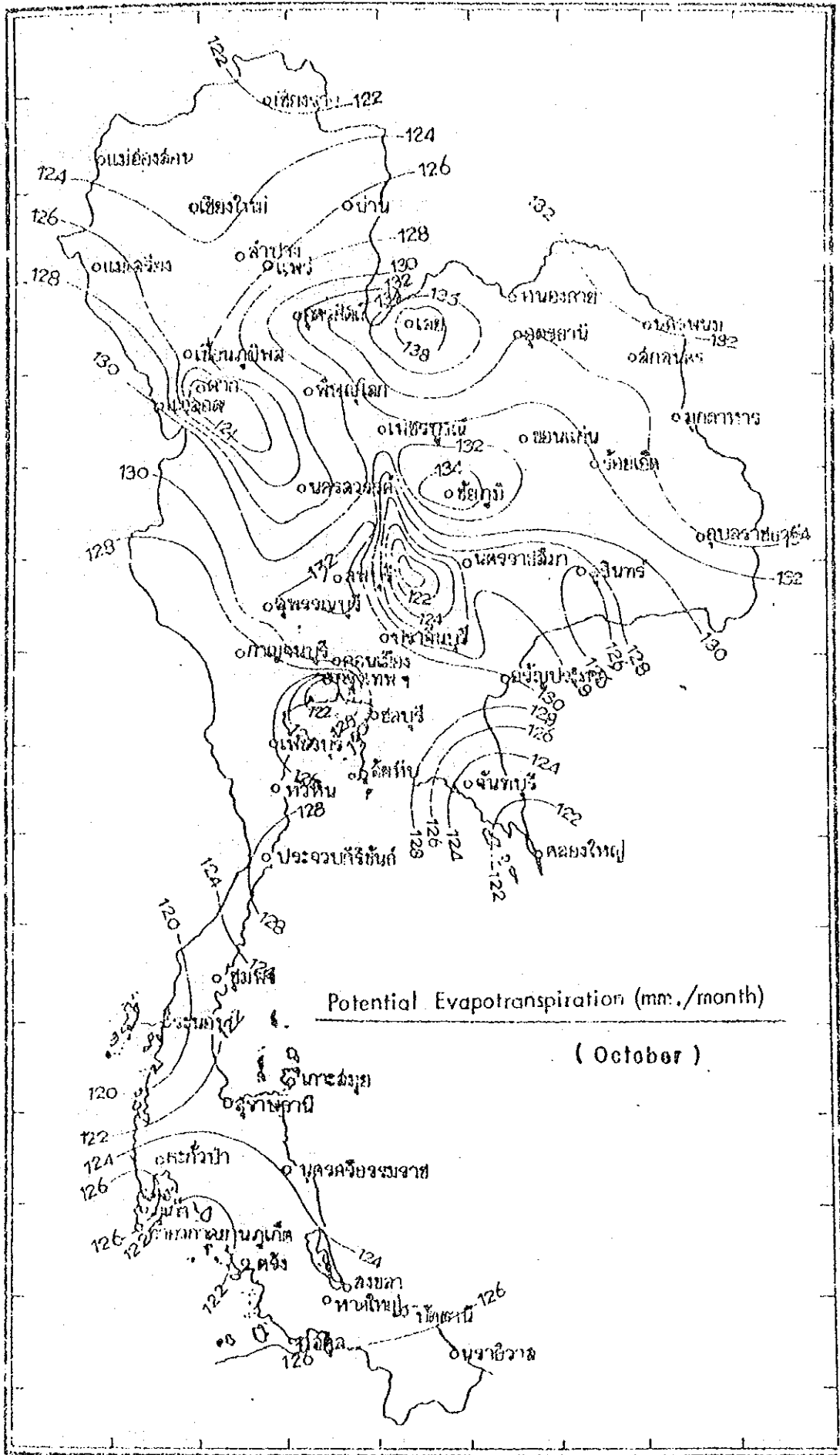


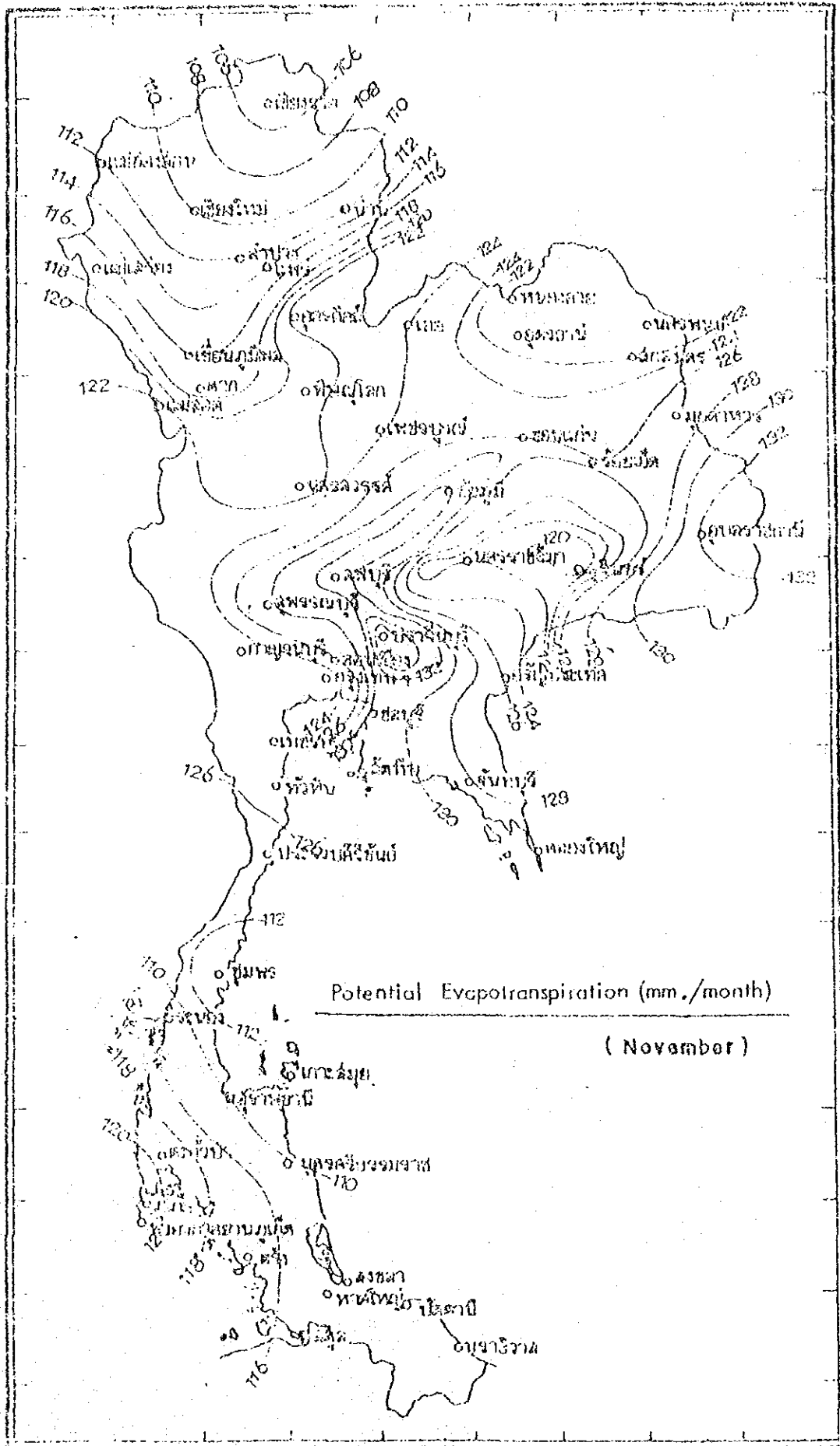




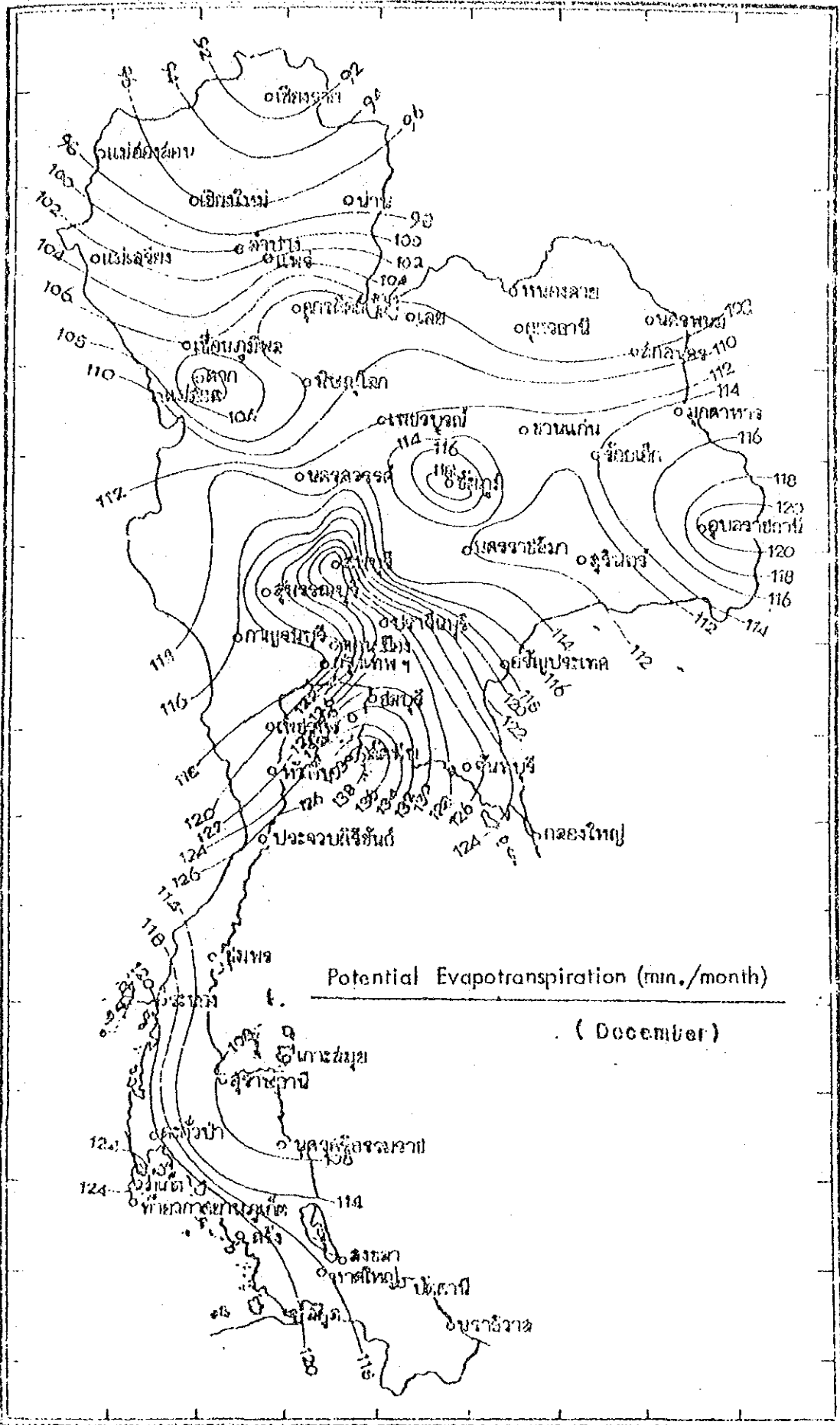








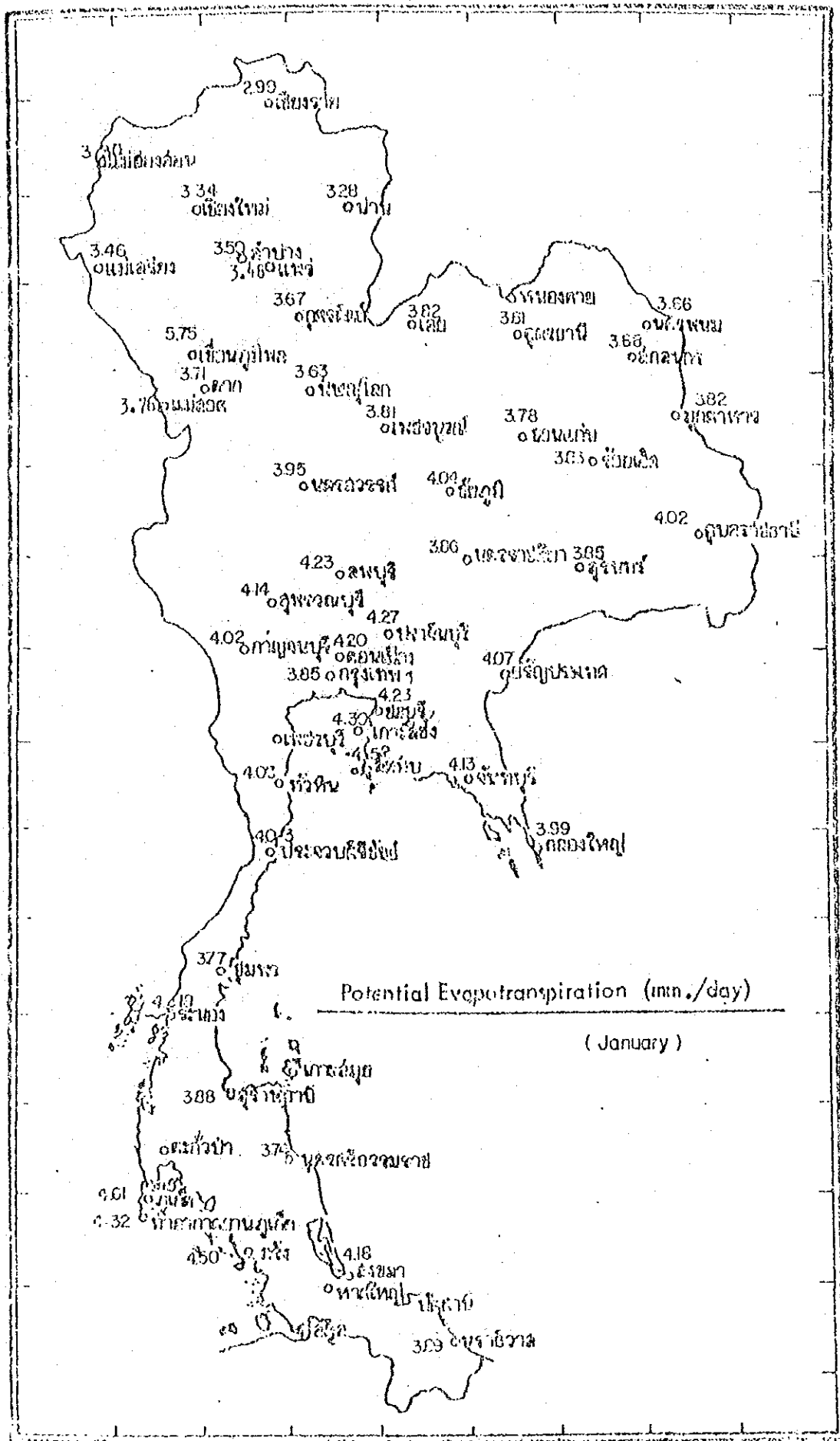


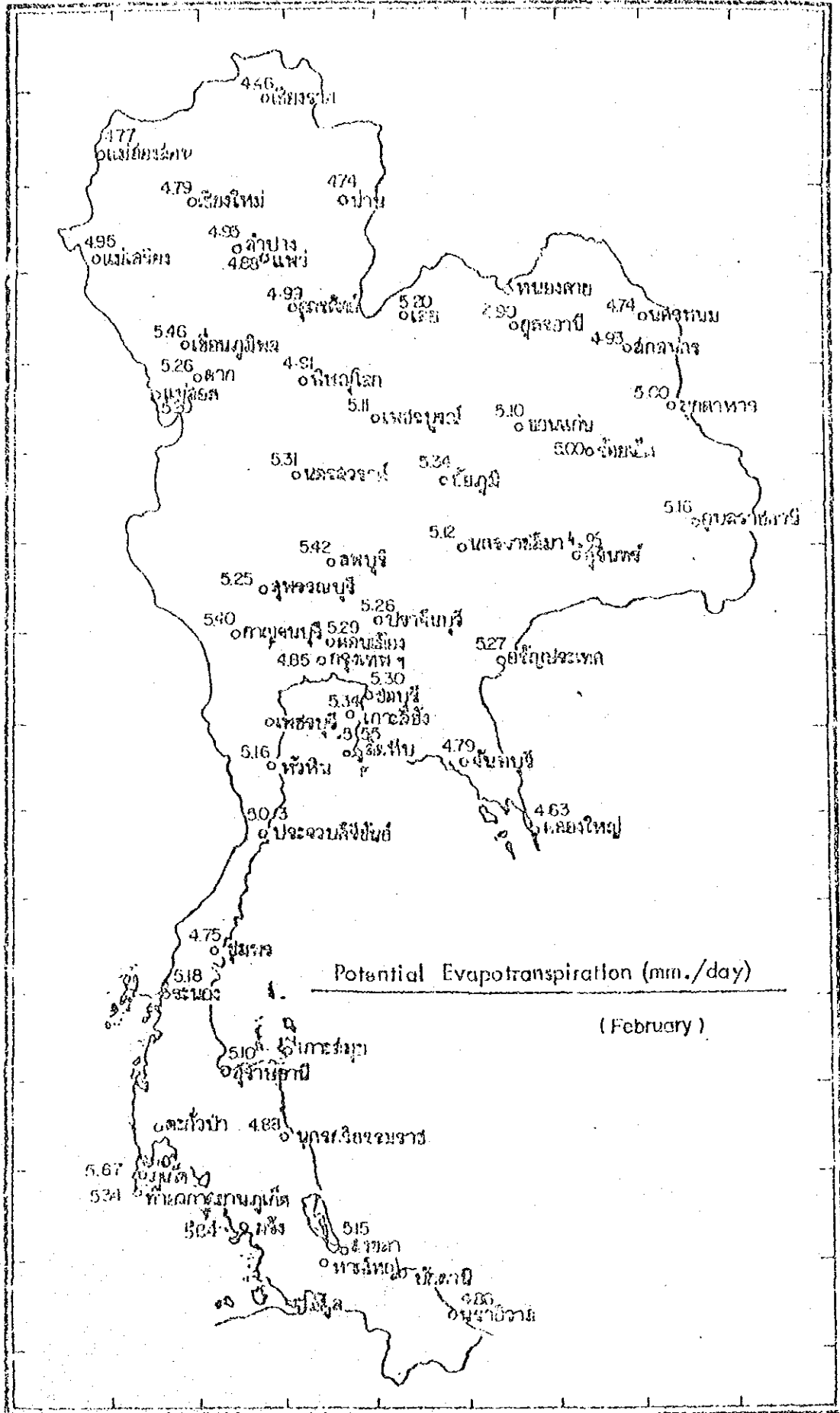


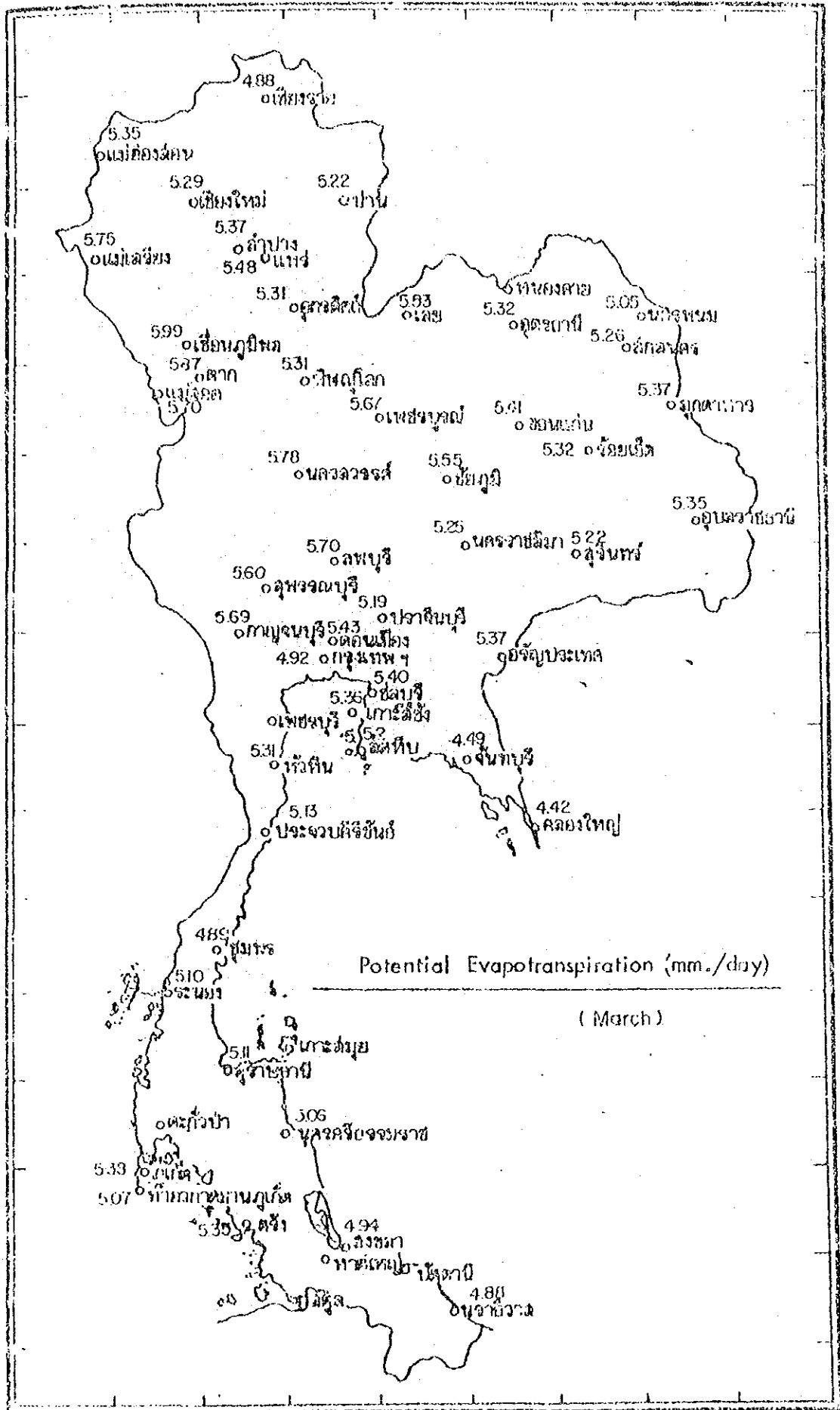
17 附圖-D

Appendices D

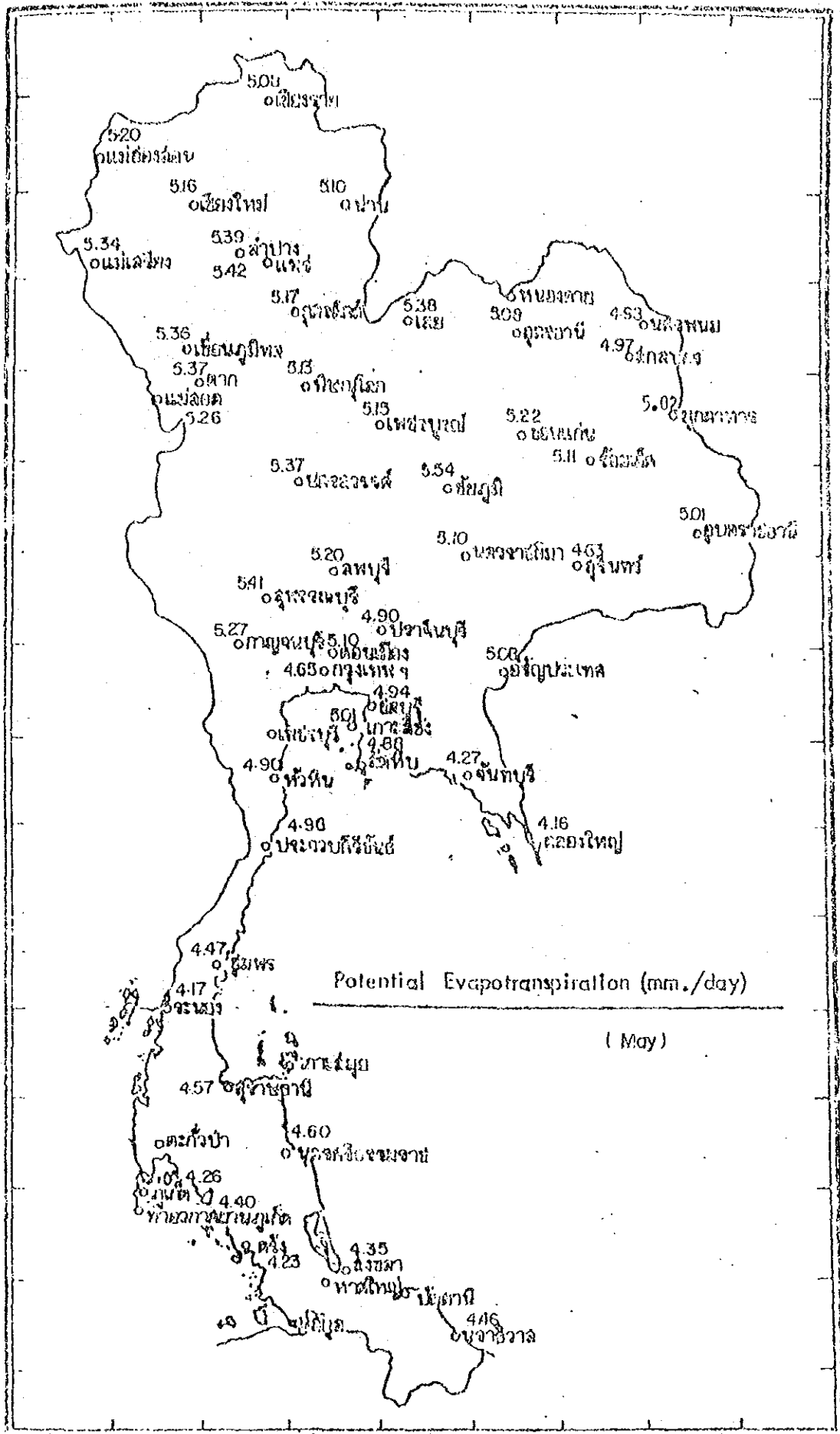
Potential evapotranspiration in each area mm/day

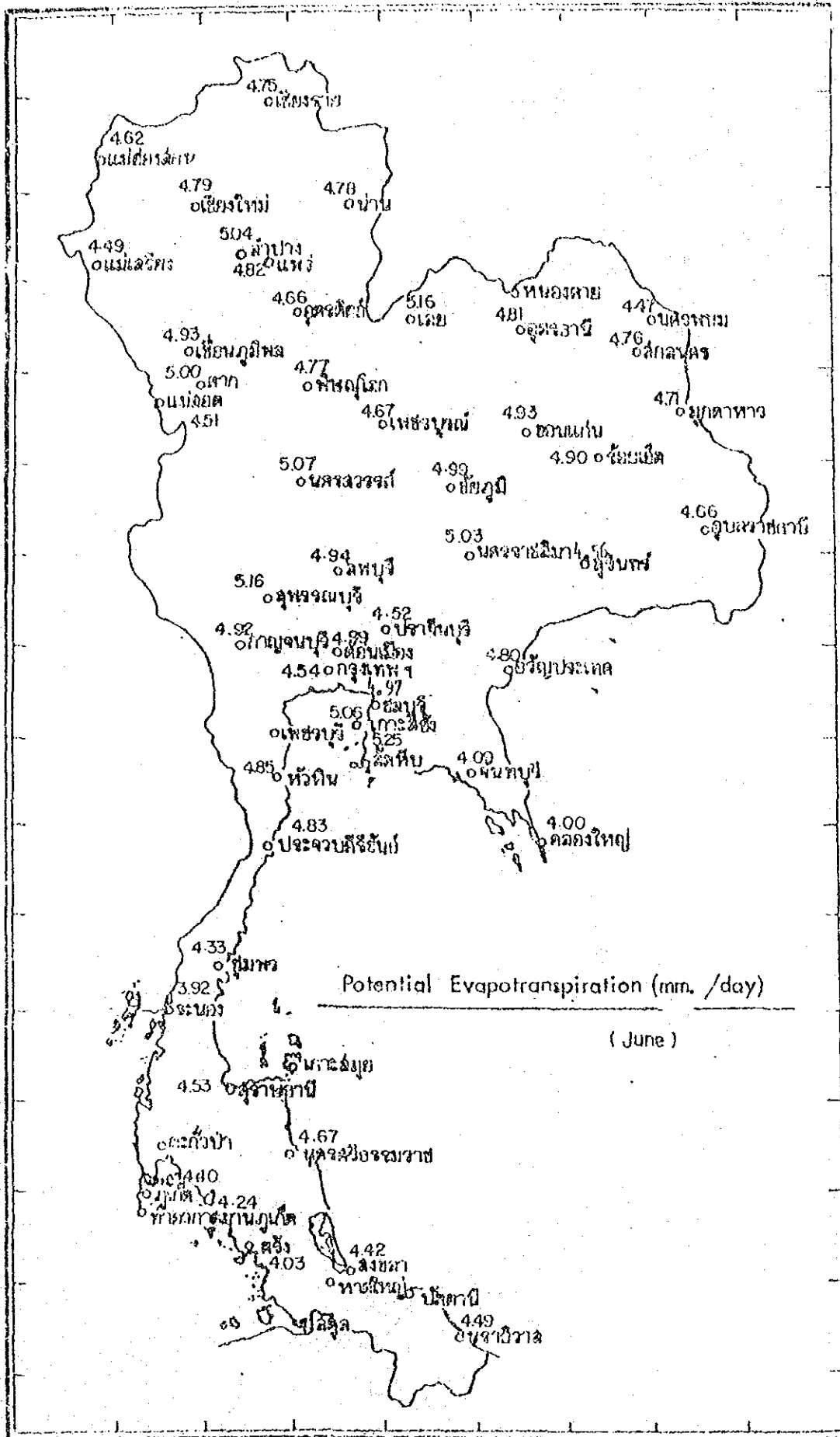




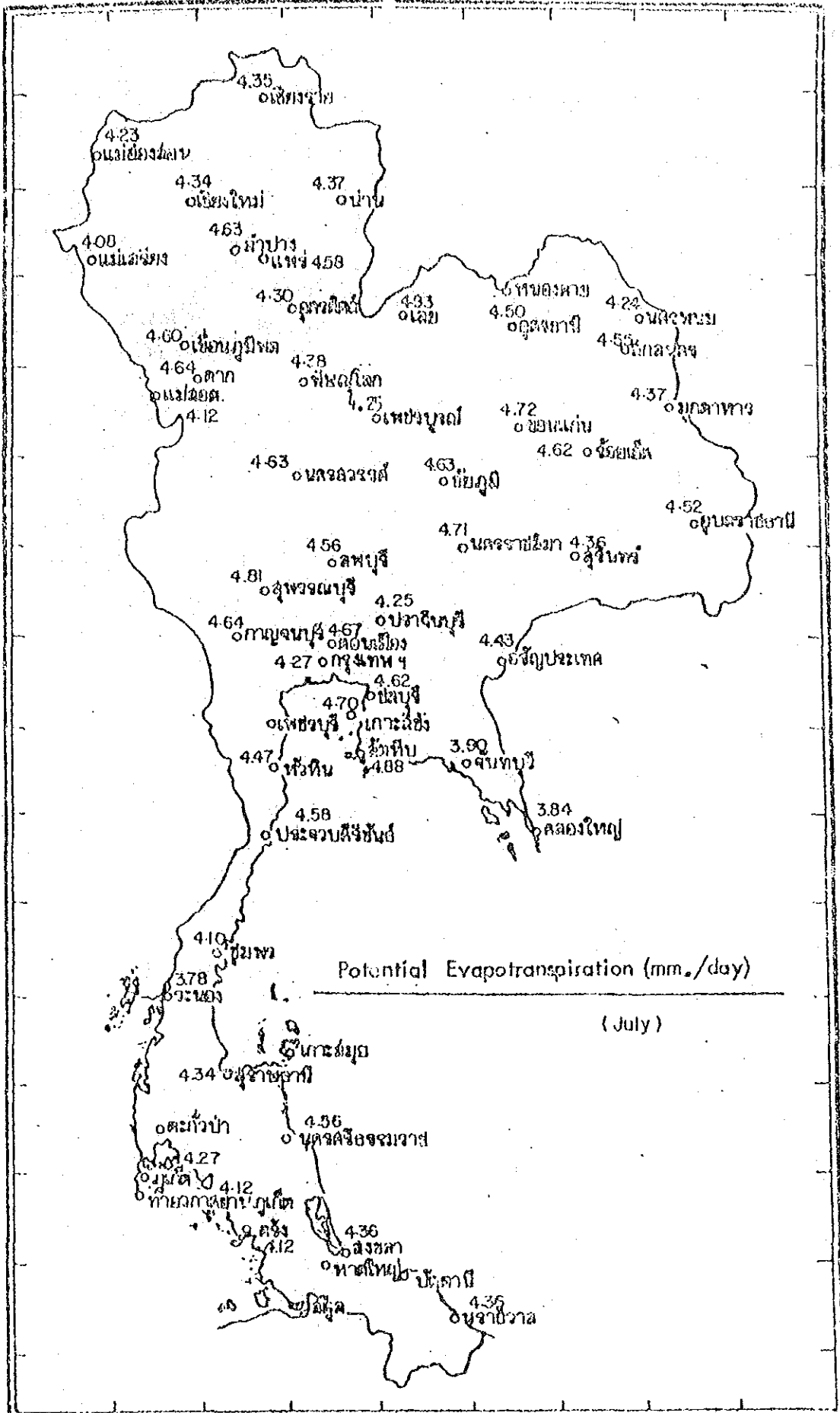


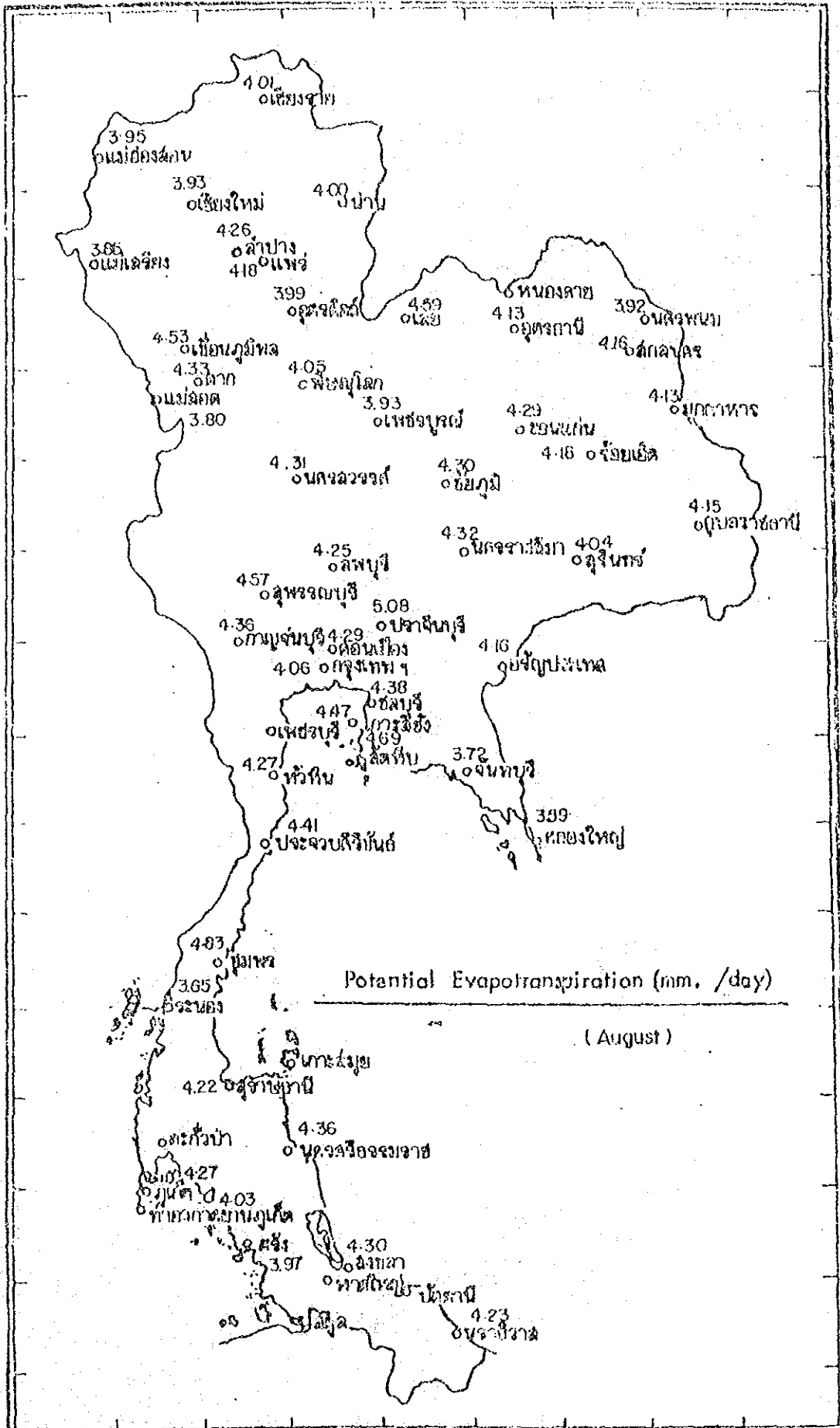


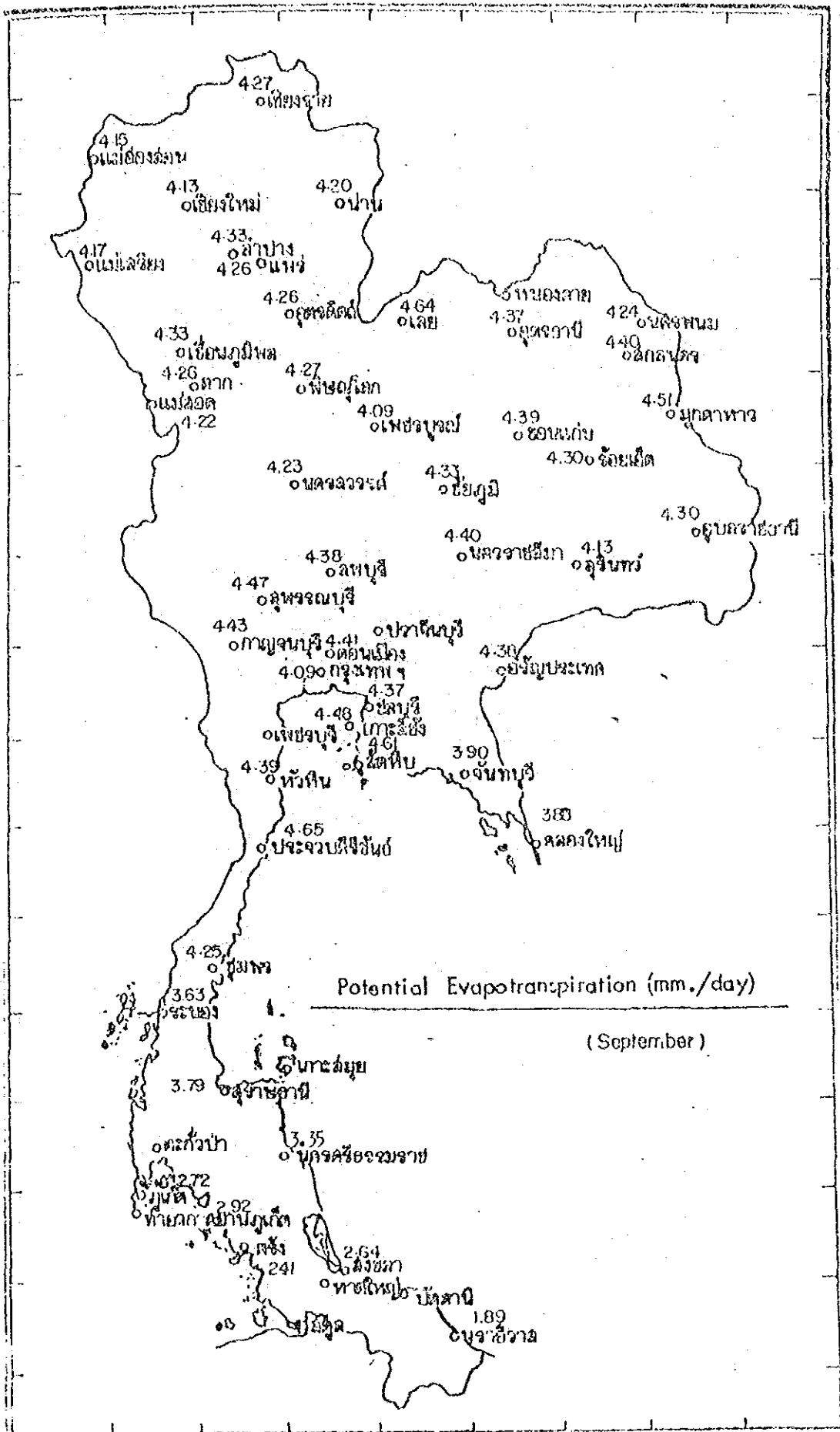


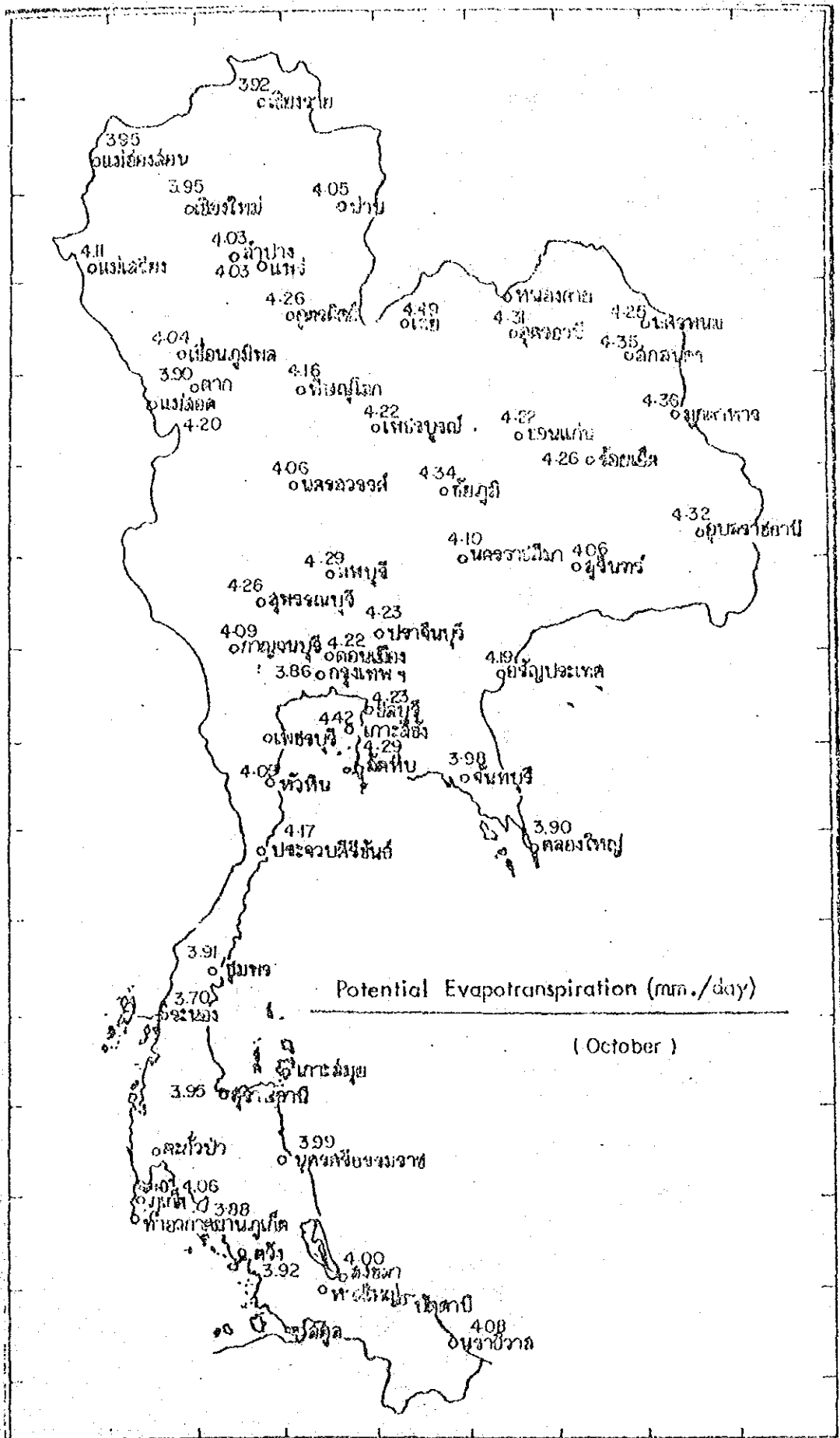


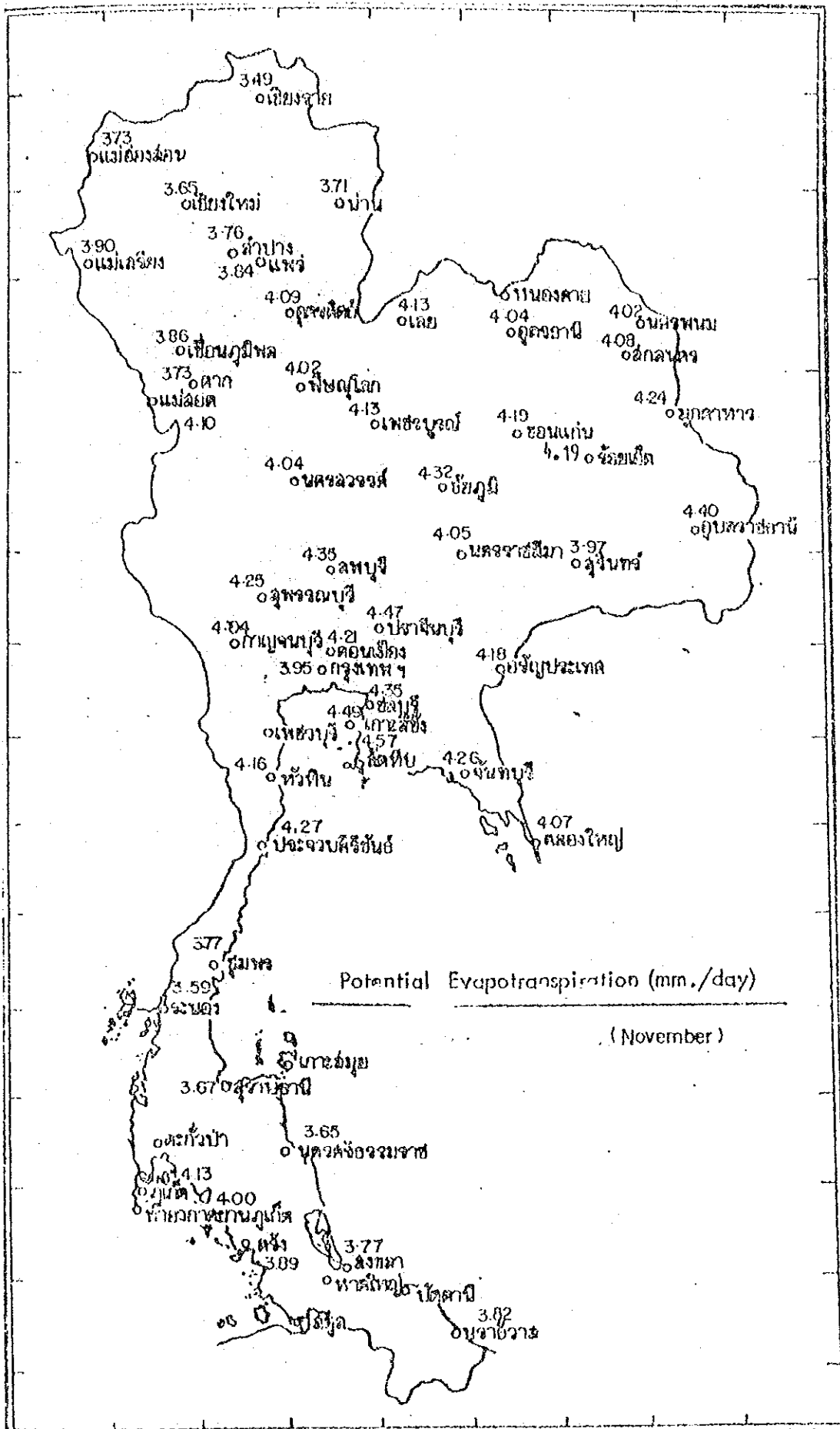


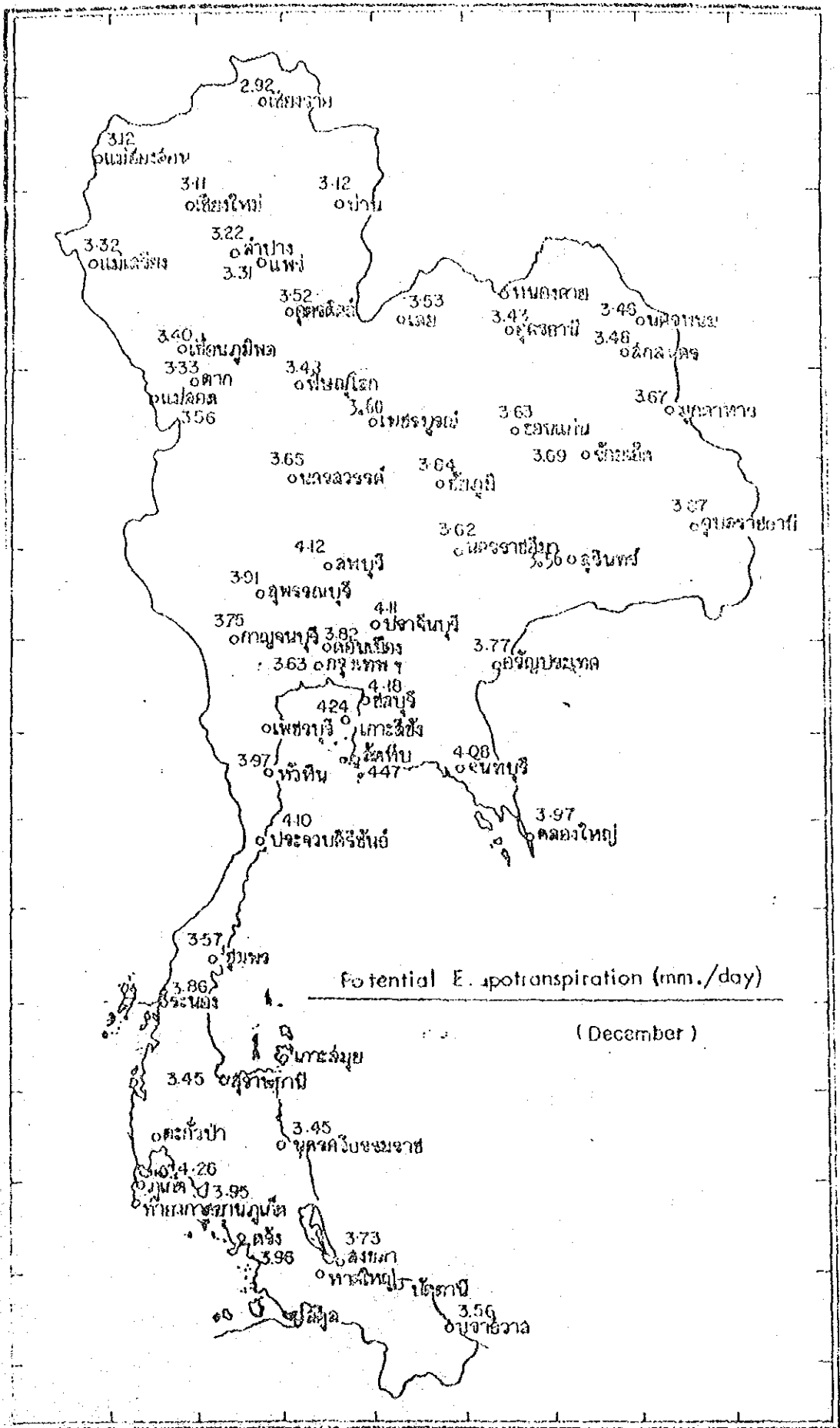












1-8 附表-E

Appendices E

Crop coefficient for rice by Penman method

(from the first and second phases of the experimentation)

Table 1 Crop coefficient for rice by Penman method

Growing month	First phase (wet season 1978 - dry season 1979)					Second phase (wet season 1979 - dry season 1980 - wet season 1980)													
	1	1.05	0.90	1.22	0.93	1.12	1.04	0.75	1.04	0.99	0.75	0.94	1.09	0.92	1.39	1.04	0.86	0.88	0.47
2	0.97	1.16	1.08	1.22	1.19	1.12	0.88	1.06	1.39	1.42	1.17	0.97	1.19	1.30	1.14	1.38	1.27	1.20	1.16
3	1.18	1.26	1.31	1.27	1.31	1.27	1.35	1.49	1.42	1.73	1.59	1.52	1.53	1.52	1.49	1.27	1.53	1.49	1.37
4	0.98	1.22	1.45		1.07	1.18	1.56	1.36	1.43	1.35		1.52	1.15	1.42	1.20		1.30	1.36	1.27
5		0.98				1.15	1.44											1.25	1.20
	Mae Tang (Wet season 1978)	Sam Chuk (Wet season 1978)	Mae Tang (Dry season 1979)	Sam Chuk (Dry season 1979)	Petburi (Dry season 1980)	Average : 4 months for the first phase	Mae Tang (Wet season 1979)	Sam Chuk (Wet season 1979)	Petburi (Wet season 1979)	Mae Tang (Dry season 1980)	Sam Chuk (Dry season 1980)	Petburi (Dry season 1980)	Mae Tang (Wet season 1980)	Huai Ban Yang (Wet season 1980)	Sam Chuk (Wet season 1980)	Mae Klong Yai (Wet season 1980)	Petburi (Wet season 1980)	Average: 4 months for the second phase	Average of both phase



19 附表-F

Appendices F

Rice evapotranspiration by lysimeter, mm/day

Table 1-5 obtained from the second phase

Table 6-8 obtained from the first phase

Table 1 : Rice evapotranspiration by lysimeter mm/day  
Mae Tang experimental station , Amphur Mae Tang, Cheingmai  
(second phase)

Data	Monthly			Growth Period		
	Month	Days	Evapotranspiration (mm/day)	Growth Stage	days	Evapotranspiration (mm/day)
RD 6 Wet season 1979	Jul.	9	3.62	Transplanting- Tillering	43	3.59
	Aug.	31	3.46	Tillering - Booting	25	6.12
	Sep.	30	5.99	Booting - Heading	25	6.44
	Oct.	31	6.60	Heading - Ripening	20	6.29
	Nov.	12	5.84	Average	113	5.26
	Average	113	5.26			
RD 9 Dry season 1980	Mar.	21	3.91	Transplanting- Tillering	38	5.15
	Apr.	30	8.55	Tillering - Booting	18	11.01
	May	31	9.37	Booting - Heading	20	9.94
	Jun.	18	6.12	Heading - Ripening	24	6.11
	Average	100	7.39	Average	100	7.39
RD 6 Wet season 1980	Aug.	13	3.79	Transplanting- Tillering	33	4.26
	Sep.	30	4.96	Tillering - Booting	20	5.73
	Oct.	31	5.83	Booting - Heading	18	6.25
	Nov.	17	4.19	Heading - Ripening	20	4.12
	Average	91	4.95	Average	91	4.95

Table 2 : Rice evapotranspiration by lysimeter mm/day

Sam Chuk experimental station, Amphur Sam chuk, Suphanburi.  
(second phase)

Data	Monthly			Growth Period		
	Month	Days	Evapotranspiration (mm/day)	Growth Stage	days	Evapotranspiration (mm/day)
RD 11 Wet season 1979	Jul.	11	5.26	Transplanting- Tillering	38	5.10
	Aug.	31	5.18	Tillering - Booting	24	6.61
	Sep.	30	6.70	Booting - Heading	16	6.71
	Oct.	26	6.25	Heading - Ripening	20	6.12
	Average	98	5.94	Average	98	5.94
RD 9 Dry season 1980	Feb.	11	5.14	Transplanting- Tillering	30	5.63
	Mar.	31	6.70	Tillering - Booting	12	7.92
	Apr.	24	9.78	Booting - Heading	12	9.33
	Average	66	7.55	Heading - Ripening	12	10.22
	Average	66	7.55	Average	66	7.55
RD 11 Wet season 1980	Aug.	17	4.62	Transplanting- Tillering	45	4.82
	Sep.	30	4.86	Tillering - Booting	19	5.44
	Oct.	31	5.70	Booting - Heading	16	5.84
	Nov.	20	5.48	Heading - Ripening	18	5.39
	Average	98	5.21	Average	98	5.21

Table 3 : Rice evapotranspiration by lysimeter mm/day  
 Petburi experimental station , Amphur Ta-Yang, Petburi.  
 (second phase)

Data	Monthly			Growth Period		
	Month	Days	Evapotranspiration (mm/day)	Growth Stage	days	Evapotranspiration (mm/day)
RD 11 Wet season 1979	Aug.	26	4.54	Transplanting- Tilling	36	5.26
	Sep.	30	6.25	Tilling - Booting	19	5.91
	Oct.	31	6.79	Booting - Heading	19	6.77
	Nov.	7	6.93	Heading - Ripening	20	6.74
	Average	94	6.01	Average	94	6.01
	RD 11 Dry season 1980	Jan.	9	5.15	Transplanting- Tilling	37
Feb.		29	5.74	Tilling - Booting	23	9.16
Mar.		31	9.49	Booting - Heading	18	10.81
Apr.		25	9.81	Heading - Ripening	15	8.84
Average		93	8.02	Average	93	8.02
RD 11 Wet season 1980		Aug.	20	3.93	Transplanting- Tilling	38
	Sep.	30	5.62	Tilling - Booting	16	6.60
	Oct.	31	6.52	Booting - Heading	20	6.29
	Nov.	13	5.21	Heading - Ripening	20	5.82
	Average	94	5.50	Average	94	5.50

Table 4 : Rice evapotranspiration by lysimeter mm/day

Huai Ban Yang experimental station, Amphur Muang, Nakorn Ratchasima.  
(second phase)

Data	Monthly			Growth Period		
	Month	Days	Evapotranspiration (mm/day)	Growth Stage	days	Evapotranspiration (mm/da)
RD 9 Wet season 1980	Aug.	26	6.52	Transplanting- Tillering	36	6.37
	Sep.	30	5.43	Tillering - Booting	14	5.46
	Oct.	31	5.95	Booting - Heading	16	5.34
	Average	87	5.94	Heading - Ripening	21	5.97
				Average	87	5.94
				Transplanting- Tillering Tillering - Booting Booting - Heading Heading - Ripening Average		
				Transplanting- Tillering Tillering - Booting Booting - Heading Heading - Ripening Average		

Table 5 : Rice evapotranspiration by lysimeter mm.day

Mae Klong Yai experimental station, Amphur Kampaengsaen, Nakorn Phato  
(second phase)

Data	Monthly			Growth Period		
	Month	Days	Evapotranspiration (mm/day)	Growth Stage	days	Evapotranspiration (mm/day)
RD 7 Wet season 1980	Jul.	9	3.97	Transplanting- Tillering	40	5.85
	Aug.	31	6.37	Tillering - Booting	16	5.49
	Sep.	30	5.67	Booting - Heading	17	5.76
	Oct.	20	4.87	Heading - Ripening	17	4.79
	Average	90	5.56	Average	90	5.56
				Transplanting- Tillering Tillering - Booting Booting - Heading Heading - Ripening Average		
				Transplanting- Tillering Tillering - Booting Booting - Heading Heading - Ripening Average		

Table 6 : Rice evapotranspiration by lysimeter mm/day  
 Mae Tang experimental station, Amphur Mae Tang, Chiangmai.  
 ( first phase)

Data	Monthly			Growth Period		
	Month	Days	Evapotranspiration (mm/day)	Growth Stage	days	Evapotranspiration (mm/day)
RD 6 Wet season 1978	Aug.	20	3.50	Transplanting- Tillering	41	3.68
	Sep.	30	3.99	Tillering - Booting	15	4.38
	Oct.	31	4.64	Booting - Heading	16	4.80
	Nov.	15	4.18	Heading - Ripening	24	4.28
	Average	96	4.13	Average	96	4.13
RD 9 Dry season 1979	Jan.	16	4.37	Transplanting- Tillering	38	5.10
	Feb.	28	5.93	Tillering - Booting	14	6.85
	Mar.	26	7.54	Booting - Heading	15	9.34
	Apr.	25	9.33	Heading - Ripening	28	9.71
	Average	95	7.38	Average	95	7.38
				Transplanting- Tillering Tillering - Booting Booting - Heading Heading - Ripening Average		

Table 7 : Rice evapotranspiration by lysimeter mm/day

Sam Chuk experimental station, Amphur Sam Chuk, Suphanburi.

(First phase)

Data	Monthly			Growth Period		
	Month	Days	Evapotranspiration (mm/day)	Growth Stage	days	Evapotranspiration (mm/day)
RD 9 Wet season 1978	Jul.	6	3.88	Transplanting- Tillering	47	4.77
	Aug.	31	4.77	Tillering - Booting	23	5.55
	Sep.	30	5.45	Booting - Heading	13	5.34
	Oct.	31	5.14	Heading - Ripening	21	4.72
	Nov.	6	9.33	Average	104	5.00
	Average	104	5.00			
RD 9 Dry season 1979	Feb.	22	5.74	Transplanting- Tillering	27	5.87
	Mar.	31	8.76	Tillering - Booting	14	7.18
	Apr.	23	8.49	Booting - Heading	10	7.18
	Average	76	7.80	Heading - Ripening	25	8.63
	Average			Average	76	7.80
				Transplanting- Tillering		
				Tillering - Booting		
				Booting - Heading		
				Heading - Ripening		
				Average		



Table 8 : Rice evapotranspiration by lysimeter mm/day  
 Petburi experimental station, Amphur Ta yang, Petburi.  
 (first phase)

Data	Monthly			Growth Period		
	Month	Days	Evapotranspiration (mm/day)	Growth Stage	days	Evapotranspiration (mm/day)
RD 11 Dry season 1979	Feb.	24	7.26	Transplanting- Tillering	35	7.65
	Mar.	31	8.63	Tillering - Booting	21	8.65
	Apr.	30	9.31	Booting - Heading	16	9.48
	May	16	7.68	Heading - Ripening	29	8.37
	Average	101	8.36	Average	101	8.36
				Transplanting- Tillering Tillering - Booting Booting - Heading Heading - Ripening Average		
				Transplanting- Tillering Tillering - Booting Booting - Heading Heading - Ripening Average		

## Reference

1. Mr. Direk Tongaram. 1979  
" Potential Evapotranspiration for varieties of rice.
2. Mr. Direk Tongaram. 1981  
" A Comparison on Rice Evapotranspiration & Effective Rainfall in the Rice Field
3. Mr. Direk Tongaram. 1980  
" Water Requirement for Saving Planting "
4. Mr. Direk Tongaram  
" Estimation of Water Requirement for Rice in Thailand "
5. The Meteorological Department. 1975  
" Region Weather Statistics of Thailand "
6. Mr. Charin Atthayothin, Mr. Sa-art Kruitpun, Mr. Peter Kun. 1973  
" Water Requirement Control of rice " RID
7. Mr. Suree Sornsomboon . 1975  
" Irrigated Agriculture Pocket Book " RID.
8. Mr. Viboon Boonyatharokul. 1974  
" RID's Principle , Engineering section "
9. Mr. Prerawat Pumthong, Mr. Thanongsuk Srivilai. 1977  
" Water Balance Study in Nong Wai Irrigation Project. "
10. Mr. Prasert Kanoksing. 1978  
" Water Requirement of Rice in farming and growing period "
11. Consumption Use of Water and Irrigation Water Requirement. 1973. A Report Prepared by the Technical Committee on Irrigation Water Requirement of the Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineer, October, 1973.
12. Israelsen, O.W. and V.E. Hansen. 1962. Irrigation Principle and Practices. Third Edition, John Wiley and Sons, Inc.
13. Palayasoot, Paitoon. 1965. Estimation of Pan Evaporation and Potential Evapotranspiration of Rice in the Central Plain of Thailand by using Various Formulas based on Climatological Data, M.S. Thesis, Department of Irrigation Engineering, Utah State University.
14. Soil Conservation Service. 1964. National Engineering Handbook Section 15. Irrigation Chapter 1 Soil-plant-water Relationships. U.S. Department of Agriculture.
15. Wiboon Boonyatharokul. 1975. Estimation of Potential Evapotranspiration in Thailand by using Formulas Based on Climatological Data. Kasersart Journal 9:26-33.
16. Wang, Jaw-Kai. 1977. Irrigated Rice Production System Planning and Design, Paper Presented at the East-West Center Workshop on Water Management at Hawaii, March 1977.

## V 水田かんがいに於ける最大用水量算定方式



## 水田かんがいにおける最大用水量算定方法

配水（連続かんがい、間断かんがい、又は農民が必要とするとき）やかんがい用水の使用法については当然のことであるが、用水量の計算を基礎として行われるべきである。

水計算公式又は方法は次の如くである。

### (A) 一般式

毎場にかんがいされる用水は次式で計算される。

$$Q = \frac{A \cdot D}{86,400} \times \frac{1}{(E \text{ FF})_1} \dots\dots\dots(1)$$

毎場取入口点に於ては  $Q = \frac{A \cdot D}{86,400} \times \frac{1}{(E \text{ FF})_1 (E \text{ FF})_2} \dots\dots\dots(2)$

水路分土工に於ては  $Q = \frac{A \cdot D}{86,400} \times \frac{1}{(E \text{ FF})_1 (E \text{ FF})_2 (E \text{ FF})_3} \dots\dots\dots(3)$

$Q$  = 流量 ( $m^3 / \text{sec}$ )

$A$  = かんがい面積 ( $m^2$ )

$D$  = 減水深 - 有効雨量 ( $\frac{mm}{1,000}$ ), ( $m / \text{day}$ )  
 $= ET + P - R$

$P$  = 浸透量 ( $\frac{mm}{1,000}$ ), ( $m / \text{day}$ )

$ET$  = 蒸発散量 ( $\frac{mm}{1,000}$ ), ( $m / \text{day}$ )

$R$  = 有効雨量 ( $\frac{mm}{1,000}$ ), ( $m / \text{day}$ )

$E \text{ FF}$  = 効率 =  $1 - L$  (小数)

$(E \text{ FF})_1$  = 毎場効率 (小数)

$(E \text{ FF})_2, (E \text{ FF})_3$  = 水路効率 (小数)

$L$  = 損失 (小数)

水田の代掻用水の1日当りの水深( $D$ )は次式により算出しうる。

$$D = \frac{C - R_1 + (P + E) N}{N} \dots\dots\dots(4)$$

$E$  = 蒸発量 ( $m / \text{day}$ )

$N$  = 代掻日数(日)

$R_1$  = かんがい期間中の降雨量 (有効) ( $m$ )

$C$  = 代掻用水量 ( $m$ )

ローテーションかんがい

$$Q = \frac{A \cdot D_r}{T} \cdot \frac{1}{E P_r} \dots\dots\dots(5)$$

Q = 流量 ( m<sup>3</sup>/sec )

A = かんがい面積 ( m<sup>2</sup> )

D<sub>r</sub> = 時期別適応水深 ( m )

$$= D \cdot D_r = ( E T + P - R ) P_r$$

P<sub>r</sub> = ローテーション間隔 ( 日 )

T = ぼ場までの送水時間

R = ローテーション期間中の有効雨量 ( m/day )

かんがい用水路のための設計流量は最大の効率と結果を導くため次の各式より計算しうる。

(B) 一般式

(1) 台湾公式

台湾の県水管理局 ( Provincial water Conservancy Bureau ) により使用されている一般式は、

$$Q_{max} = \left( \frac{A D_s}{N} + A D_t \right) \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(6)$$

$$Q_{max} = \left( \frac{A D_s}{N T} + \frac{A D_t}{T} \right) \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(6 a)$$

Q<sub>max</sub> = 設計流量 ( m<sup>3</sup>/day )

A = かんがい面積 ( m<sup>2</sup> )

D<sub>t</sub> = 田植後の用水量 ( 今後はメンテナンス用水と言う ) ( m/day )

D<sub>s</sub> = 耕起及び代掻のための適応湛水深 ( m )

$$= D_{s s} + D_{s t}$$

D<sub>s s</sub> = 土壌を湿潤 ( 軟化 ) にするための用水量 ( m )

D<sub>s t</sub> = 湛水するための用水量 ( m )

N = 面積 A の代掻日数 ( days )

T = 1 日の秒数 ( 86,400 秒 )

L = 水路損失 ( 小数 )

(6)式より、用水量が最大である代掻最終日まで用水量は毎日増加する。その後は苗への配水となり、ぼゞ大きな変化はなくなる。

$$Q_t = A \cdot D_t \left( \frac{1}{1-L} \right)$$

若し、かんがいが(6)式で行われるとすると、流量は毎日増加する。

特定の日に対する流量は次式より計算される。

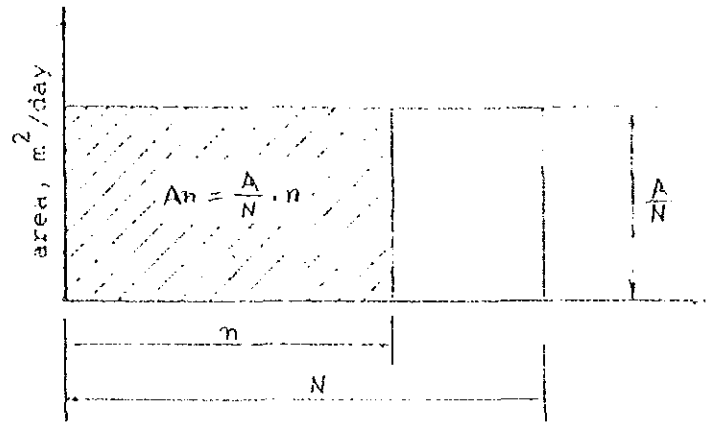
$$Q_n = \left( \frac{A \cdot D_s}{N} + \frac{A \cdot D_t \cdot n}{N} \right) \frac{1}{1-L}$$

$Q_n$  = N日に於ける流量

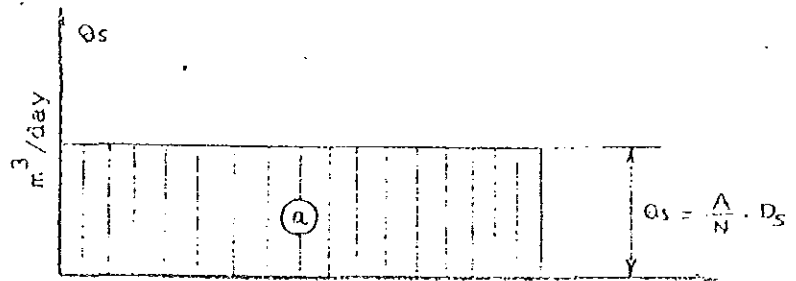
N = 用水量が最大になる日

上記を模式図にすると下記の如くなる。

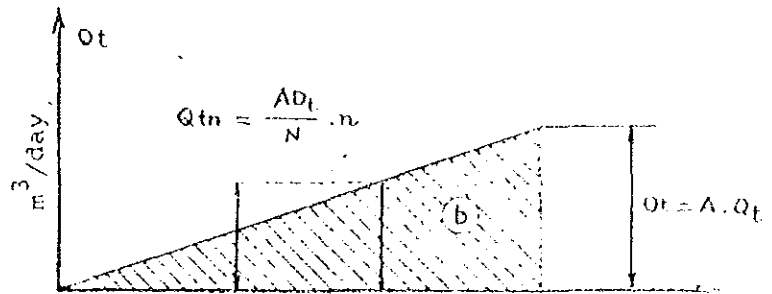
N日に於ける準備面積



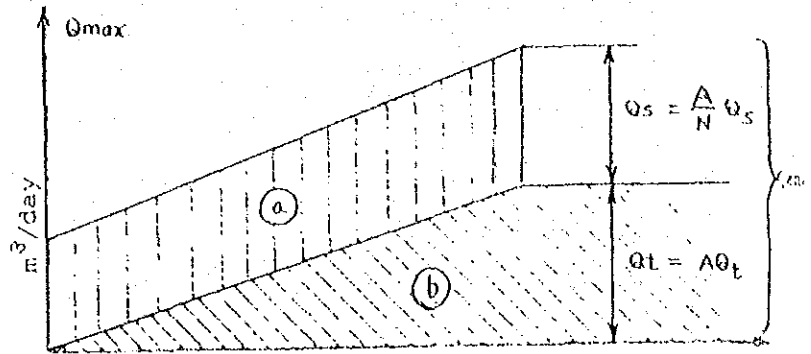
準備用水



メンテナンス用水



全 休 用 水 量



(2) チョウ公式 (Chow's formula)

チョウは(6)式の修正公式を出した。

$$Q = \frac{A}{8.64} \left( \frac{ds}{ps} + \frac{dr}{pr} \right) \cdot \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(7)$$

Q = 流 量 (m³/s)

A = かんがい面積, ka (10,000 m²)

ds = 適応耕起及湛水深, (m)

dr = メンテナンス用水 (m)

pr = ローテーション間隔 (日)

ps = 代掻日数 (日)

L = 水路損失 (小数)

dr = Dt × pr (6)式=(7)式

(3) 日本公式 (Japan's formula)

$$R_{max} = \frac{10A}{n} (S + (n-1)d) \cdot \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(8)$$

Rmax = 最大流量 (m³/day)

A = 面積, ka · (10,000 m²)

d = 日減水深 (mm/day)

S = 代掻用水量 (mm)

n = 代掻日数 (日)

L = 水路損失 (小数)



(C) Goor-Zijlstra-Wen 公式

(1) Van de Goor - Zijlstra 公式

Goor と Zijlstra は FAO で 1971 年 10 月から 1973 年 4 月までマレーシアで働いている間に次の公式を作り 1978 年に発表した。

$$I = \frac{M \cdot e^{-MT/S}}{e^{-MT/(S-1)}} \dots\dots\dots(9)$$

I = 代掻用水量 (mm/day)

M = 用水量 (mm/day)

T = 代掻日数 (日)

S = 代掻用水量 (mm)

e = 自然対数の底 = 2.7183

(2) Wen 公式

Wen は 1972 年に次の公式を発表した。

$$Q_m \text{ (m}^3\text{/day)} = \frac{A \cdot Dt}{\{1 - e^{-(Dt/Ds) \cdot N}\}} \cdot \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(10)$$

$$Q_m \text{ (m}^3\text{/day)} = \frac{A \cdot Dt}{T \{1 - e^{-(Dt/Ds) \cdot N}\}} \cdot \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(10a)$$

Q<sub>m</sub> = 面積 A に対する代掻用水量 = Q<sub>s</sub> + Q<sub>t</sub>  
= 最大用水量

Q<sub>s</sub> = 代掻用水量

Q<sub>t</sub> = メンテナンス用水量

A = かんがい面積 (m<sup>2</sup>)

Dt = ET + P (m/day)

Ds = 代掻用水量 (m/day)

N = 代掻日数 (日)

T = 1 日の秒数 = 86,400 sec

L = 水路損失 (小数)

e = 自然対数の底 = 2.718282

主用水は代掻のために初日に使用される。その後面積は減少し、用水の一部は苗代用水として配水される。

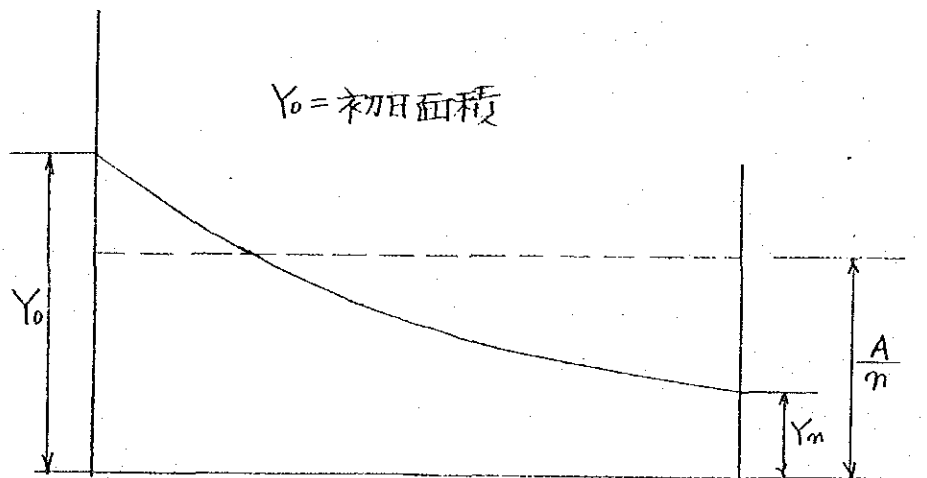
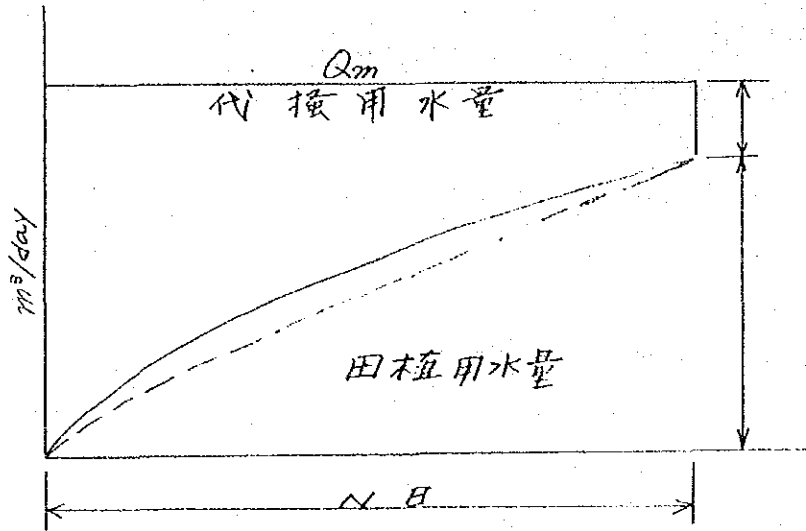
Y<sub>0</sub> = 初日の面積

$$= \frac{A \cdot Dt}{D_s \{1 - e^{-(Dt/D_s) \cdot N}\}}$$

$Y_n = n$  日目の面積

$$= Y_0 \cdot \frac{1}{e(Dt/Ds) \cdot N}$$

Wen の考え方に基く用水量



(3) チェン公式 (Cheng's formula)

$$Q = \frac{A}{8.64} \left( \frac{d}{1-K^n} \right) \frac{1}{1-L} \dots \dots \dots (1)$$

$Q =$  流量 (  $m^3/sec$  )

$A =$  かんがい面積 (  $m^2$  )

$d =$  日用水量 (  $m/day$  )

$$K = \frac{D/r - d/2}{D/r + d/2}$$

D = 代播用水量 (m/day)

r = 各面積に対する代播日数 (日)

n = 面積 A の代播日数 (日)

L = 水路損失 (小数)

若し r = 1 ならば(1)式の結果は(10)式の結果と同じになる。

#### (D) 改良公式

J. K. Wang 公式

$$Q = \frac{A \cdot Dt}{1 - \left(1 - \frac{Dt \cdot S}{Ds}\right)^n} \cdot \frac{1}{1-L} \dots\dots\dots(12)$$

Q = 流量 (m<sup>3</sup>/day)

A = かんがい面積 (m<sup>2</sup>)

Dt = 代播のための日用水量 (m)

Ds = 代播全用水量 (m)

= 耕起準備用水 + 代播用湛水用水

S = ローテーション間隔 (日)

n = ローテーション期間数 (日)

N/S = 整数とする。

N = 代播に用する時間 (日)

#### (E) まとめ

かんがい計画に際しては下記事項に留意すること

##### (1) 配分方法

- 1.1 常時配水
- 1.2 間断配水
- 1.3 農民の必要に応じた配水

##### (2) 用水量算出に際しての留意事項

- 2.1 消費水量 = 蒸発散量及浸透量
- 2.2 代播用水量
  - 蒸発量
  - 浸透量
  - 土壌湿潤用水量

一 湛水量

2.3 代掻については下記次第である。

一 苗令

一 農民が毎月どの位の早さで実施出来るか

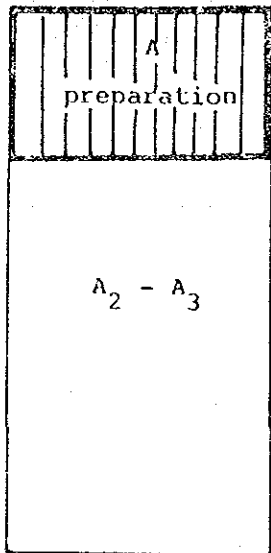
3. 水路規模の設計では、代掻の最大用水量は代掻の最終日に生じる。

Chalong の考え方

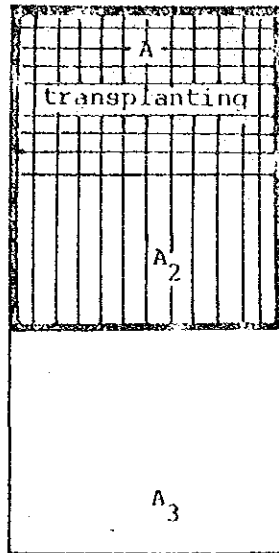
一 準備用水量は田植の用水量と同じである。

一 区域は3ブロックに分け、各分割ブロックは(セントラリジョンでは)完了するには2週間を要し、代掻完了までに要する日数は42日間である。

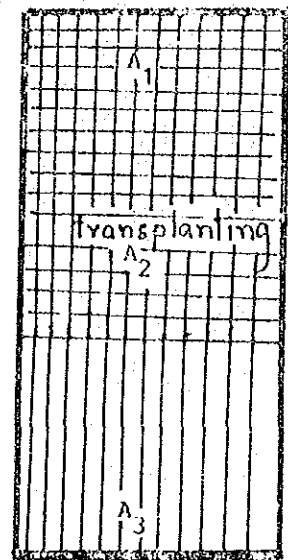
一 田植は各区域に於て代掻完了後開始する。



2 週間



2 週間



2 週間

各式の特質について

式 (6), (7), (8) 一 準備期間に於ける面積の増加割合は一定であり、この間の有効雨量はない。

式 (6), (7) 一 初日よりメンテナンス用水を見込む

しかし 式 (8) 一 次の日よりメンテナンス用水を見込む

式 (9), (10) 一 代掻面積は指数曲線で次第に減少し、メンテナンス用水は初日より見込む

式 (11) 一 準備面積は式(9), (10)と同様であるが間断かんがいと附加している。

式 (12) — 実際の準備進行状況の趨勢に基き、2回目からのかんがいから  
メンテナンス用水を見込む

各式即ち台湾式、Wenの式、Wangの式、KertpitakとKayan Kannaveeの式の比較から得られた結果は、KertpitakとKayan Kannaveeの式が他のものより良かった  
というのは他は用水量の算定に際し水稻の生育段階に於て気候データや他の係数を使用し  
ているからである。

設 計 流 量 計 算 比 較

代 掻 用 水 量 (mm)	① 最大 用水量 台湾式 (m <sup>3</sup> /s)	② ウェン 式		③ チャロン式(Chalong)			④ ワ ン 式 (Wang)				備 考
		m <sup>3</sup> /s	②/①%	m <sup>3</sup> /s	③/①%	③/②%	m <sup>3</sup> /s	④/①%	④/②%	④/③%	
200	0.254	0.196	77.2	0.179	70.5	91.3	0.185	72.8	94.4	103.4	A=1,000ไร่ (160ha) N=42 日 Dt=6.89mm/日 Ec=1-L =0.85
250	0.280	0.219	78.2	0.201	71.8	91.8	0.207	73.9	94.5	103.0	
300	0.306	0.243	79.4	0.224	73.2	92.2	0.230	75.2	94.7	102.7	
350	0.332	0.267	80.4	0.248	74.7	92.9	0.254	76.5	95.1	102.4	
400	0.357	0.292	81.8	0.273	76.5	93.5	0.279	78.2	95.5	102.2	

計 算 例

i) ウェンの式 (Wen's formula)

$$Q_m = \frac{A_n \times D_t}{8.64 E_c \{1 - e^{- (D_t/D_s) \cdot N}\}}$$

$Q_m$  = 設計流量 (m<sup>3</sup>/s)

$A_n$  = かんがい面積 (ha) = 160ha

$D_s$  = 代掻用水量 (mm) = 350mm

$D_t$  = 日減水深 = 0.00689 m/日

$N$  = 代掻日数 (日) = 42日

$e$  = 自然対数の底 = 2.718

$E_c$  = 乾期に於ける用水効率 = 0.85

$$Q_m = \frac{160 \times 0.00689}{8.64 \times 0.85 \{1 - e^{- (0.00689/0.350) \times 42}\}}$$

$$= 0.267 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$A = A_1 + A_2 + A_3 \dots\dots\dots (5)$$

式(1)=式(2)=式(3)≥式(4)

若し式(1)=式(2)ならば

$$A_1 WL + A_1 WD = A_2 WL + A_1 WE_1 + (A_1 + A_2)WD$$

$$A_1 = \frac{A_2 (WL+WD)}{(WL-WE_1)} \dots\dots\dots (6)$$

若し式(2)=式(3)ならば

$$A_2 WL + A_1 WE_1 + (A_1 + A_2)WD = A_3 WL + A_1 WE_3 + A_2 WE_1 + (A_1 + A_2 + A_3)WD$$

$$A_3 (WL+WD) = A_2 (WL-WE_1) + A_1 (WE_1 - WE_3)$$

$$A_3 = \frac{A_2 (WL-WE_1)}{(WL + WD)} + \frac{A_1 (WE_1 - WE_3)}{(WL-WE_1) \cdot (WL+WD)}$$

又は

$$A_3 = \frac{A_2 (WL-WE_1)}{(WL + WD)} + \frac{A_1 (WE_1 - WE_3)}{(WL - WE_1)}$$

$$= \frac{A_2 (WL-WE_1)^2 + (WE_1 - WE_3) \cdot (WL+WD)}{(WL+WD) (WL-WE_1)} \dots\dots\dots (7)$$

式(5)に式(6)と式(7)を代入すると

$$A = \frac{A_2 (WL+WD)}{(WL-WE_1)} + A_2 + \frac{A_2 (WL-WE_1)}{(WL + WD)} + \frac{A_1 (WE_1 - WE_3)}{(WL - WE_1)}$$

$$= \frac{A_2 \{ (WL+WD) + (WL-WE_1) \cdot (WL+WD) + (WL-WE_1)^2 + (WE_1-WE_3) (WL+WD) \}}{(WL-WE_1) (WL+WD)}$$

$$A_2 = \frac{A \{ (WL-WE_1) (WL+WD) \}}{(WL+WD)^2 + (WL-WE_1) (WL+WD) + (WL-WE_1)^2 + (WE_1-WE_3) (WL+WD)}$$

$$A_1 = \frac{A (WL+WD)^2}{\{ (WL+WD) \}^2 + (WL-WE_1) (WL+WD) + (WL-WE_1)^2 + (WE_1-WE_3) (WL+WD)}$$

$$A_3 = \frac{A \{ (WL-WE_1)^2 + (WE_1-WE_3) (WL+WD) \}}{\{ (WL+WD) \}^2 + (WL-WE_1) (WL+WD) + (WL-WE_1)^2 + (WE_1-WE_3) (WL+WD)}$$

$$A_1 : A_2 : A_3 = (WL+WD)^2 : \{ (WL-WE_1) (WL+WD) \} : \{ (WL-WE_1)^2 + (WE_1-WE_3) (WL+WD) \}$$

上式に WL = 25 mm / 日

WD = 10 mm / 日

第1週の作物係数 = 0.99

第3週の " = 0.99

蒸発散位 (Potential evapotranspiration) = 5.89 mm / 日

$$A_1 : A_2 : A_3 = 43.8 : 32.3 : 23.9$$

今、かんがい面積を1,000ライ(160ha)とし、かんがい効率を85%とすれば

$$\begin{aligned} \text{設計流量} &= \frac{4.38}{0.85} \cdot (25+1.0) \times \frac{1}{1000} \times \frac{1}{86,400} \times 1,600 \text{ m}^2/\text{ライ} \\ &= \underline{\underline{0.248 \text{ m}^3/\text{s}}} \end{aligned}$$



## 参 考 文 献

1. "Estimation of water requirement for rice in Thailand"  
by Mr. Direk Thongarram  
Agricultural Section, O & M Division RID, 1978
2. "A comparison rice evapotranspiration and effective rainfall in the rice-field"  
by Mr. Direk Thongarram, 1979
3. "A calculation quantity water requirement for rice in zone and calculation quantity water requirement in sub-canal  
by Mr. Chalong Kridpitak and Mr. Chaiwat Kayannavee  
RID an Acres International Limited, 1979
4. "Water balance study "Nongwai Irrigation Project Report  
Agriculture Engineering, Khon Kaen University, 1977
5. The American Society of Civil engineers  
"Construction Use of water and Irrigation water Requirements"  
Irrigation and Drainage Division, 1973
6. "Integrated farm water management"  
by Cheong Chump Lim  
Irrigation and Drainage Paper Vol. 10  
FAO, 1971
7. "Operation and Maintenance of Irrigation System (Inland Consolidate Area)"  
by Huang, C.C  
FAO Region Office, Bangkok, 1977
8. "Farm Ditch Capacity for Paddy and Diversified Upland Crops"  
by Park, K.S.  
FAO Region Office, Bangkok, 1977
9. "Irrigation Rice production system planning and Design"  
by Wang, J.K., Hagan R.E. and Fine T.K.  
Agricultural Engineering Department, University of Hawaii
10. "The Determination of System Capacity and Management Program for Irrigation of Transplanted Rice"  
by L.J. Wen  
Journal of Chinese Atriculture Engineering Vol. 18, No. 1 1972

